

**UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**EFICIENCIA DE BIORREACTORES DE MEMBRANA EN LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES - CUMANI DE LA  
UNIDAD MINERA SAN RAFAEL 2023.**

**PRESENTADA POR:**

**FRANK ALEXIS CURASI ATENCIO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PUNO - PERÚ**

**2024**



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/)



10.28%

SIMILARITY OVERALL

14.96%

POTENTIALLY AI

SCANNED ON: 23 APR 2024, 9:03 PM

### Similarity report

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

● IDENTICAL  
2.57%

● CHANGED TEXT  
7.7%

### AI Detector Results

Highlighted sentences with the lowest perplexity, most likely generated by AI.

● LIKELY AI  
10.74%

● HIGHLY LIKELY AI  
4.22%

## Report #20858917

FRANK ALEXIS CURASI ATENCIO EFICIENCIA DE BIORREACTORES DE MEMBRANA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES - CUMANI DE LA UNIDAD

MINERA SAN RAFAEL 2023. RESUMEN En medio de la crisis sanitaria y los estragos del calentamiento global la presente investigación se llevó a cabo en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Unidad Minera San Rafael cuyo objetivo es evaluar la eficiencia de los biorreactores de membrana en la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumaní de la Unidad Minera San Rafael 2023.

19 La metodología o el tipo de investigación es descriptivo correlacional, el diseño de investigación no experimental transversal y el método utilizado es el cuantitativo.

12 Para poder interpretar los datos se utilizó el decreto supremo

Nº 003-2010-MINAM donde se aprueban los Límites Máximos Permisibles para

los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.

La materia de estudio estuvo conformada por el volumen total de 745.6 m<sup>3</sup>/día de agua residual que diariamente procesa la planta de tratamiento de los cuales se ha tomado 3 muestra del afluente y 3 muestras del efluente los meses de noviembre, diciembre del 2023 y enero del 2024, para realizar el proceso de análisis físico, químico y biológico con la finalidad de evaluar la eficiencia de los biorreactores de membrana. Siendo los resultados promedio de los parámetros del efluente de aceites y grasas 16.43 mg/L, coliformes

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

**EFICIENCIA DE BIORREACTORES DE MEMBRANA EN LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES - CUMANI DE LA  
UNIDAD MINERA SAN RAFAEL 2023.**

**PRESENTADA POR:**

**FRAN ALEXIS CURASI ATENCIO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:

  
Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

PRIMER MIEMBRO

:

  
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

SEGUNDO MIEMBRO

:

  
M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

ASESOR DE TESIS

:

  
Mg. ELVIRA ANANI DURAND GOYZUETA

Área: Ingeniería, Tecnología.

Sub Área: Ingeniería Ambiental.

Líneas de Investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 13 de mayo del 2024

## DEDICATORIA

Con amor, respeto y admiración a mi Padre Nestor Teovaldo Curasi Salas por aconsejarme, apoyarme en todo momento a lo largo de mi formación profesional es gracias a ti que inculcaste valores en mí. Gracias Padre por todo, sé que seguirás siendo mi soporte y guía para poder continuar adelante.

A mi hermana María Curasi Atencio, por alentarme y aconsejarme a cumplir mis objetivos trazados.

A mi familia quienes me apoyaron en todo momento, brindándome consejos, inculcando valores, respeto y a no rendirme ante las adversidades. Su persistencia me ha permitido ser un competitivo profesional al servicio de la sociedad.

**Frank Alexis Curasi Atencio.**

## AGRADECIMIENTO

A mi Alma Mater, la Universidad Privada San Carlos y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por inculcarme sabiduría y conocimientos en el crecimiento y formación profesional.

A los miembros del jurado: Presidente Dr. Esteban Isidro Leon Apaza; Primer Miembro Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda; Segundo Miembro M.Sc. Fredy Aparicio Castillo Suaquita, por sus consejos y sugerencias acertadas que hicieron posible esta investigación.

A la Unidad Minera San Rafael y funcionarios del área de Medio Ambiente, administrativo y personal de la planta de tratamiento que apoyaron en la realización de la presente investigación. De manera especial y particular a mi asesor Mg. Elvira Anani Durand Goyzueta quien ha orientado el desarrollo de la presente tesis infinitamente agradecido.

A todos mis amigos que me apoyaron directa o indirectamente en la realización de esta investigación.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
INDICE DE ANEXOS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	12

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>14</b>
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	16
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	16
<b>1.2. ANTECEDENTES</b>	<b>17</b>
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	17
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONAL	18
1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES	20
<b>1.3. OBJETIVOS</b>	<b>21</b>
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	21
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>2.1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>22</b>
2.1.1. LOS REACTORES BIOLÓGICOS	22

2.1.2. TIPOS DE REACTORES BIOLÓGICOS	23
2.1.3. DEFINICIÓN DE MEMBRANA	24
2.1.4. OPERACIÓN DE MEMBRANA	25
2.1.5. DISEÑO DE SISTEMAS DE BIORREACTORES DE MEMBRANA	26
2.1.6. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL	27
2.1.7. MARCO NORMATIVO	27
<b>2.2. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>28</b>
<b>2.3. HIPÓTESIS</b>	<b>29</b>
2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL	29
2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	29
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
<b>3.1. ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>30</b>
<b>3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA</b>	<b>31</b>
3.2.1. POBLACIÓN	31
3.2.2. MUESTRA	31
<b>3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS</b>	<b>32</b>
3.3.1. MÉTODO	32
3.3.2. MATERIALES	34
<b>3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES</b>	<b>35</b>
<b>3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO</b>	<b>36</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b>	
<b>4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>37</b>
4.1.1. ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE PH DEL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS MEDIANTE EL BIORREACTOR DE MEMBRANA CUMANI UMSR 2023.	37

4.1.2. ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE TEMPERATURA DE AFLUENTE Y EFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS MEDIANTE EL BIORREACTOR DE MEMBRANA CUMANI UMSR 2023.	39
4.1.3. ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE ACEITES Y GRASAS DE AFLUENTE Y EFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS MEDIANTE EL BIORREACTOR DE MEMBRANA CUMANI UMSR 2023.	42
4.1.4. ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE LA DEMANDA BIOQUÍMICO DE OXÍGENO (DBO5) DEL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS MEDIANTE EL BIORREACTOR DE MEMBRANA CUMANI UMSR 2023.	44
4.1.5. ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN EL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS MEDIANTE EL BIORREACTOR DE MEMBRANA CUMANI UMSR 2023.	46
4.1.6 ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN EL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS MEDIANTE EL BIORREACTOR DE MEMBRANA CUMANI UMSR 2023.	48
4.1.7. ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE COLIFORMES FECALES EN EL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS MEDIANTE EL BIORREACTOR DE MEMBRANA CUMANI UMSR 2023.	50
4.1.8. ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE COLIFORMES TOTALES EN EL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS MEDIANTE EL BIORREACTOR DE MEMBRANA CUMANI UMSR 2023.	52



<b>CONCLUSIONES</b>	<b>55</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>58</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>63</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 01:</b> Operaciones de membrana para tratamiento de aguas	25
<b>Tabla 02:</b> Coordenadas UTM de los puntos de muestreo	32
<b>Tabla 03:</b> Operacionalización de variables.	35
<b>Tabla 04:</b> Resultados de pH del afluente y efluente correspondiente a las tres muestras comparados con límites máximos permisibles (LMP).	37
<b>Tabla 05:</b> Resultados de temperatura del afluente y efluente correspondiente a las tres muestras comparados con límites máximos permisibles (LMP)	39
<b>Tabla 06:</b> Resultados de aceites y grasas del afluente y efluente correspondiente a las tres muestras comparados con límites máximos permisibles (LMP).	42
<b>Tabla 07:</b> Resultados de DBO del afluente y efluente correspondiente a las tres muestras comparados con límites máximos permisibles (LMP)	44
<b>Tabla 08:</b> Resultados DQO del afluente y efluente correspondiente a las tres muestras comparados con límites máximos permisibles (LMP).	46
<b>Tabla 09:</b> Resultados de sólidos totales en suspensión del afluente y efluente correspondiente a las tres muestras comparados con límites máximos permisibles (LMP).	48
<b>Tabla 10:</b> Resultados de coliformes fecales del afluente y efluente correspondiente a las tres muestras comparados con límites máximos permisibles (LMP).	50
<b>Tabla 11:</b> Resultados de coliformes totales del afluente y efluente correspondiente a las tres muestras comparados con límites máximos permisibles (LMP).	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 01:</b> Ubicación geográfica de la PTAR San Rafael	31
<b>Figura 02:</b> Resultados de potencial de hidrógeno (pH).	38
<b>Figura 03:</b> Resultados de temperatura.	40
<b>Figura 04:</b> Resultados de aceites y grasas.	43
<b>Figura 05:</b> Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5).	45
<b>Figura 06:</b> Demanda Química de Oxígeno.	47
<b>Figura 07:</b> Sólidos Totales en Suspensión.	49
<b>Figura 08:</b> Resultados de coliformes fecales del afluente y efluente correspondiente a las tres muestras.	51
<b>Figura 09:</b> Resultados de coliformes totales del afluente y efluente correspondiente a las tres muestras.	53
<b>Figura 10:</b> Diagrama de flujo de agua residual y distribución de cámaras de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael.	75
<b>Figura 11:</b> Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas San Rafael 2023.	76
<b>Figura 12:</b> Cámara de biorreactores de membrana	77
<b>Figura 13:</b> Lecho de secado donde se evacua el exceso de lodo formado en los reactores.	78
<b>Figura 14:</b> Punto de monitoreo de agua residual afluente R-1.	79
<b>Figura 15:</b> Punto de monitoreo de agua Efluente R-2.	80
<b>Figura 16:</b> Afluente de agua tratada.	81

## INDICE DE ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo 01:</b> Matriz de consistencia.	64
<b>Anexo 02:</b> Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.	66
<b>Anexo 03:</b> Informe de ensayo por parte de ALS del afluente y efluente de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael del mes de noviembre del 2023.	67
<b>Anexo 04:</b> Resultados de muestreo de parámetros fisicoquímicos del afluente y efluente de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael , evaluados el mes de noviembre del 2023 por el laboratorio ALS, certificado por INACAL.	68
<b>Anexo 05:</b> Resultados de muestreo de parámetros microbiológicos del afluente y efluente de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael, evaluados en el mes de noviembre por el laboratorio ALS, certificado por INACAL.	69
<b>Anexo 06:</b> Informe de ensayo por parte de ALS del afluente y efluente de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael del mes de diciembre del 2023.	70
<b>Anexo 07:</b> Resultados de muestreo de parámetros fisicoquímicos del afluente y efluente de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael , evaluados el mes de diciembre del 2023 por el laboratorio ALS, certificado por INACAL.	71
<b>Anexo 08:</b> Resultados de muestreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael , evaluados el mes de diciembre del 2023 por el laboratorio ALS, certificado por INACAL.	72
<b>Anexo 09:</b> Informe de ensayo por parte de ALS del afluente y efluente de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael del mes de enero del 2024.	73
<b>Anexo 10:</b> Resultados de muestreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael , evaluados el mes de enero del 2024 por el laboratorio ALS, certificado por INACAL.	74
<b>Anexo 11:</b> Panel fotográfico de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael.	75
<b>Anexo 12:</b> Plano de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael.	82

## RESUMEN

En medio de la crisis sanitaria y los estragos del calentamiento global la presente investigación se llevó a cabo en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Unidad Minera San Rafael cuyo objetivo es evaluar la eficiencia de los biorreactores de membrana en la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la Unidad Minera San Rafael 2023. La metodología o el tipo de investigación es descriptivo correlacional, el diseño de investigación no experimental transversal y el método utilizado es el cuantitativo. Para poder interpretar los datos se utilizó el decreto supremo N° 003-2010-MINAM donde se aprueban los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. La materia de estudio estuvo conformada por el volumen total de 745.6 m<sup>3</sup>/día de agua residual que diariamente procesa la planta de tratamiento de los cuales se ha tomado 3 muestra del afluente y 3 muestras del efluente los meses de noviembre, diciembre del 2023 y enero del 2024, para realizar el proceso de análisis físico, químico y biológico con la finalidad de evaluar la eficiencia de los biorreactores de membrana. Siendo los resultados promedio de los parámetros del efluente de aceites y grasas 16.43 mg/L, coliformes termotolerantes 1800 NMP/100 mL, demanda bioquímica de oxígeno 20 mg/L, demanda química de oxígeno 17.66 mg/L, pH 7.77 unidad de pH, sólidos totales en suspensión 5.33 mL/L y temperatura 13.23 °C todos los parámetros cumplen y no exceden con los LMP. Se concluye que el biorreactor de membrana representa una alternativa potencial de solución que contribuye a obtener agua tratada cumpliendo con los límites máximos permisibles en la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la Unidad Minera "San Rafael" 2023.

**Palabras clave:** Aguas residuales, Biorreactores, Eficiencia, Membrana, Planta.

## ABSTRACT

In the midst of the health crisis and the ravages of global warming, this research was carried out in the wastewater treatment plant of the San Rafael Mining Unit, the objective of which is to evaluate the efficiency of the membrane bioreactors in the wastewater treatment plant. wastewater - Cumani de la Unidad Minera San Rafael 2023. The methodology or type of research is descriptive correlational, the research design is non-experimental cross-sectional and the method used is quantitative. In order to interpret the data, supreme decree No. 003-2010-MINAM was used, which approves the Maximum Permissible Limits for effluents from Domestic or Municipal Wastewater Treatment Plants. The subject of study was made up of the total volume of 745.6 m<sup>3</sup>/day of wastewater that the treatment plant processes daily, from which 3 samples of the influent and 3 samples of the effluent were taken in the months of November, December 2023 and January 2024. , to carry out the physical, chemical and biological analysis process in order to evaluate the efficiency of membrane bioreactors. The average results of the oil and grease effluent parameters being 16.43 mg/L, thermotolerant coliforms 1800 NMP/100 mL, biochemical oxygen demand 20 mg/L, chemical oxygen demand 17.66 mg/L, pH 7.77 pH unit, total solids in suspension 5.33 mL/L and temperature 13.23 °C, all parameters meet and do not exceed the LMP. It is concluded that the membrane bioreactor represents a potential alternative solution that contributes to obtaining reuse water in compliance with the maximum permissible limits in the wastewater treatment plant - Cumani of the “San Rafael” Mining Unit 2023.

**Keywords:** Wastewater, bioreactors, efficiency, membrane, plant.

## INTRODUCCIÓN

La calidad del agua en la última década ha sufrido una disminución drástica debido al incremento de la actividad humana, el desarrollo industrial y el crecimiento de las ciudades. La contaminación inorgánica como orgánica causada por el mal tratamiento de las aguas residuales que son vertidas directamente a los cauces provocan un impacto negativo en los ecosistemas.

El Perú tiene un déficit en el tratamiento de las aguas residuales en su mayoría estas son vertidas a los ríos, lagos o arroyos, lo que ocasiona que la calidad ambiental del recurso hídrico sea afectada drásticamente. En el 2015, los resultados de un monitoreo realizado a 98 de las 159 cuencas hidrográficas mostraron que más del 40 % (41 de 98) no cumplían con los estándares de calidad ambiental exigidos por la Autoridad Nacional del Agua.(ANA, 2016).

El tratamiento de las aguas residuales es de vital importancia para evitar la contaminación, al medio ambiente, poder reutilizar el agua es de vital importancia ante la creciente crisis hídrica que se está manifestando a nivel global por ello el uso de tecnologías permiten obtener agua tratada de calidad, por ello unidad minera San Rafael tiene una política de sostenibilidad ante este compromiso cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales de biorreactores de membrana.

El propósito del trabajo de investigación es evaluar la eficiencia de los biorreactores de membrana en la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la Unidad Minera San Rafael 2023.

El contenido de la investigación está dividido de la siguiente manera:

Capítulo I, planteamiento del problema donde describiremos las causas que han dado inicio a la problemática de la investigación, también los antecedentes locales, nacionales e internacionales que son investigaciones previas relacionadas con la investigación y finalmente los objetivos de la investigación.

Capitulo II, marco teórico, conceptual e hipótesis de la investigación que permiten enfocarnos en la importancia del trabajo y el propósito de la investigación.

Capítulo III, metodología de investigación. Se identifica la zona de estudio, la población, la muestra, también los métodos, técnicas aplicadas, variables, método o diseño estadístico.

Capítulo IV, exposición y análisis de los resultados a través de tablas y figuras así también las conclusiones y recomendaciones.



## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El buen manejo de los recursos hídricos es de vital importancia para la supervivencia y sin un saneamiento adecuado, las condiciones de las poblaciones principalmente en materia de salud, van en decadencia, por ello se busca nuevas tecnologías para el tratamiento del agua residual.

En las últimas décadas el consumo del agua se ha visto afectado por el uso constante por la población humana principalmente para el consumo industrial minero, esta actividad se ha incrementado en diversas partes del mundo su uso en grandes proporciones en sus distintas etapas de producción por ello las empresas mineras han adoptado planes de gestión del agua.

Para el funcionamiento de las empresas mineras existen tecnologías en la que pueden reciclar el agua de diversas maneras, pero por el afán de lucro no tienen la responsabilidad de destinar recursos para el manejo racional y tratamiento técnico de las aguas que utilizan para la purificación de los metales, en áreas urbanas en muchas ciudades se vierte las aguas servidas directamente a los ríos, lagos y mares, no destinan recursos económicos para el tratamiento correspondiente.

La preocupación por la calidad del agua para el consumo es anunciada en diversas partes del mundo por los pobladores que aman a las plantas y animales quienes sienten padecen y protestan por la pérdida de la calidad del agua fuente vital para la existencia,

pero contrariamente a las personas y empresas que contaminan con los compuestos químicos no les interesa que los ríos, mares y lagunas se sigan contaminando.

Las descargas mineras dominan el panorama de la contaminación de las aguas superficiales en la región Puno, constituyen la principal causa de contaminación de sus recursos hídricos superficiales. En toda la rivera del lago recorrido el agua es utilizado para el consumo humano, pero como se encuentra contaminado ya no pueden consumir ni los animales, los pobladores se ven obligados a abandonar y migrar hacia las ciudades donde se genera otros problemas y se incrementa los escasos del agua.

En el mundo contemporáneo han surgido movimientos sociales que están tratando de mitigar la contaminación principalmente aguas residuales urbanas e industriales que por motivos de salubridad se convierten en plataforma de lucha para mejorar y hasta lograr que las empresas tomen su responsabilidad.

El tratamiento de las aguas servidas requiere del compromiso responsable de los gobernantes quienes deben tener como política de gobierno garantizar el consumo de la buena calidad de agua para sus pobladores, deben ser promotores de la implementación de las plantas de tratamiento del agua en diferentes partes para garantizar el agua potable para el consumo humano, agrícola y ganadero.

La unidad minera "San Rafael"-Puno ha implementado una planta de tratamiento aguas residuales mediante el proceso de membranas que está en pleno funcionamiento donde se obtiene agua apta para riego y mantenimiento de áreas verdes con los que contribuye a la conservación y mantenimiento del equilibrio ecológico ambiental de la unidad minera como los alrededores de la zona minera (Maguiña, 2020).

Salta a la vista en la región Puno de manera simple y sencilla como es el tratamiento de las aguas residuales mineros en cada una de las empresas como también en los mineros artesanales donde la disposición del agua mezclada con los componentes químicos como el azogue, el mercurio, cianuro son vertidos directamente al afluente de los ríos los cuales eran fuente de vida para sus pobladores de toda la cuenca ahora están afectados indiscriminadamente.

Perú figura como un atractivo dentro de los países de América latina en el cual se invierte dinero para la exploración y explotación de la materia prima por su potencial geológico y otros factores favorables para los inversionistas la unidad minera San Rafael es una de las mineras que extrae estaño situada en el distrito de Antauta, provincia de Melgar, región de Puno, Perú de 4300 msnm a 5800 msnm.

La unidad minera San Rafael es uno de los principales productores de estaño con una producción actual del 12% de estaño lo que lo sitúa como uno de los principales productores de estaño ubicándose en el tercer productor en el mundo. Sus aguas residuales son vertidas al río Antauta y esta desemboca en el río Carabaya el cual desemboca en el lago Titicaca, por lo que se hace necesario conocer cuál es la calidad del agua tratada en la Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas – Cumani.

#### **1.1.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es la eficiencia de los biorreactores de membrana en la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la Unidad Minera “San Rafael” 2023?.

#### **1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿En qué medida los biorreactores de membrana representan una alternativa potencial de solución de contaminantes en la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la unidad minera San Rafael 2023?
- ¿Cuál es la ventaja que ofrecen los biorreactores de membrana con respecto a otras tecnologías el cual permite obtener agua tratada que cumpla con los límites máximos permisibles en la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la unidad minera San Rafael 2023?
- ¿Cómo la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la unidad minera San Rafael realizará un proceso eficiente de depuración de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos del efluente?

## 1.2. ANTECEDENTES

### 1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

(Celis Rodríguez, 2023) en su tesis doctoral “ Poblaciones e interacciones microbianas en biorreactores de membrana (MBR): desarrollo de herramientas biológicas para el control del bioensuciamiento en sistemas de depuración de aguas residuales”, su principal objetivo es la caracterización de la estructura y las dinámicas de los microorganismos que habitan en los biorreactores de membrana de las plantas de tratamiento de aguas residuales, la investigación concluye que la taxonomía microbiana que se estudió es muy similar a otras plantas de tratamiento de aguas residuales con sistema de membrana se tiene comunidades microbianas que influyen en los procesos de tratamiento. La temperatura cumple un rol fundamental para el desarrollo de los microorganismos ya que sus biopelículas que se forman en la superficie de los reactores depende mucho de este factor, la importancia de la investigación es dar a conocer, controlar la formación de biopelículas en las membranas los efectos que estas causan sobre las membranas lo cual afectaría a un mayor ensuciamiento afectando el proceso de depuración de las aguas residuales.

En el artículo científico de (Díaz et al., 2019), titulado el “Modo de operación basado en el control dinámico del ensuciamiento: Optimización de un biorreactor de membrana”, cuyo objetivo fue determinar las condiciones óptimas de operación que impliquen un menor costo de instalación y operación de un sistema por membranas como tratamiento terciario de un efluente de un sistema convencional de depuración de aguas residuales domésticas, se concluye que los costos de operación dependen mucho de los factores como el filtrado, retrolavado y la aireación, provocando un mayor consumo energético las mejores condiciones de operación se realiza cuando se tiene los flujos de filtración moderados y flujos de retrolavado bajos , esto permite que a esas condiciones el ensuciamiento de la membrana sea mucho menor para la investigación la mejor condición de operación se ha establecido en un flujo de filtración de 50 L/h·m<sup>2</sup>, con retrolavado de

35 L/h·m<sup>2</sup> y una aireación solo cuando se esté retrolavado. esto permitiría un ahorro en los costos de los biorreactores de membrana.

(Chávez-Lizárraga, 2018) en su artículo titulado “Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales: Avances, ventajas y desventajas”, su objetivo es ofrecer una visión del avance de la nanotecnología en el tratamiento de aguas residuales domésticas, sobre todo en el campo del uso de nanomateriales que puedan ser usados en la fabricación a gran escala de membranas para filtración y el uso de nanopartículas para catálisis y fotocátalisis en conclusión se busca realizar mejoras en este campo para un buen proceso de tratamiento de aguas residuales, ofrecer mejoras en el costo de operación, la selectividad del material filtrante entre otros.

Haza & Hernández, (2022) en su artículo científico titulado “Tendencias en la modelación matemática de biorreactores con membranas sumergidas para el tratamiento de aguas residuales”, cuyo objetivo es optimizar el sistemas de biorreactores, busca una modelación apropiada para los sistemas que pueda reducir los costos de operación la influencia que tiene la colmatación de las membranas la investigación concluye que aún no se ha logrado una modelación adecuada que pueda describir completamente la fenomenología del sistema biológico que pueda afectar directamente al proceso de colmatación de la membrana.

### **1.2.2. ANTECEDENTES NACIONAL**

Huaman, (2022), en su trabajo de tesis: Mejoramiento del Efluente de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con Implementación de Biorreactor de Membrana – Provincia de Junín, cuyo objetivo es la implementación de biorreactores de membranas (MBR) para el mejoramiento del efluente y posterior tratamiento de agentes químicos que permita obtener un efluente de buena calidad de agua tratada, para lo cual se da inicio con el muestreo del efluente del PTAR para realizar el análisis fisicoquímico y el análisis microbiológico, la metodología empleado fue el método de investigación científica, tipo aplicativo y diseño experimental reportó como resultados sólidos totales que se representarán en unidades (mg/L) 382.53, los sólidos que se encuentran en suspensión

se representar con las unidades (mg/L) 133.53, los sólidos disueltos serán representadas en las unidades (mg/L) 249, Turbidez NTU 29.13, después de la implementación de biorreactor obtuvo en el análisis fisicoquímico en los sólidos en su totalidad y esta se representará en las unidades (mg/L) 378.07, los sólidos en suspensión se presentarán en unidades (mg/L) 166.53, los sólidos disueltos Unidades (mg/L) 221, Turbidez NTU 29.07, en el análisis microbiológico se obtuvo en la muestra patrón cantidad de coliformes de 275.5. Se concluye que los biorreactores son muy eficientes para mejorar la calidad del agua que sale por el efluente del PTAR y así poder utilizarlo en los sectores agrícolas y rectores urbanos del distrito de Junín.

Cruz (2019) en su trabajo de tesis: "Efectividad de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales en la remoción de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos antes del vertido al río huallaga, en la localidad de Pacaypampa, distrito de santa maría del valle, Huánuco, junio - setiembre 2018" el objetivo es evaluar la efectividad de operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la remoción de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos antes del vertido al río Huallaga se obtiene el resultado que los valores de los parámetros son mayores que  $\alpha = 0.05$ ; por lo que, se rechaza la H1 y se acepta la H0: La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales no reduce los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

Briones (2019) en su trabajo de tesis: "Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la remoción de coliformes totales, fecales y escherichia coli, en Celendín – Cajamarca" el trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la eficiencia de remoción de coliformes totales, fecales y Escherichia coli de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín se obtuvo como resultado coliformes totales:  $35 \times 10^6$ ;  $35 \times 10^6$ ;  $92 \times 10^6$ ;  $35 \times 10^6$ ; coliformes fecales:  $92 \times 10^5$ ;  $92 \times 10^5$ ;  $54 \times 10^6$ ;  $40 \times 10^5$  y E. coli:  $92 \times 10^5$ ;  $92 \times 10^5$ ;  $54 \times 10^6$ ;  $40 \times 10^5$ . Para efluente: coliformes totales:  $35 \times 10^6$ ;  $54 \times 10^5$ ;  $35 \times 10^4$ ;  $11 \times 10^5$ ; coliformes fecales:  $35 \times 10^6$ ;  $35 \times 10^4$ ;  $17 \times 10^4$ ;  $21 \times 10^4$  y E. coli:  $11 \times 10^6$ ;  $35 \times 10^4$ ;  $13 \times 10^4$ ;  $21 \times 10^4$ . Se concluye que la eficiencia obtenida para coliformes totales

alcanzó un valor de 78.76 %; para coliformes fecales 53,23%; y para E. coli 84.70%, con esto podemos comprobar que dicha planta es ineficiente.

En su trabajo de tesis Novoa (2023) “Aprovechamiento de aguas residuales procedentes de una PTAR para la obtención de agua de riego mediante tecnologías de membranas” cuyo objetivo es la obtención de agua de riego a partir del aprovechamiento de las aguas residuales procedentes de la PTAR de una industria de refinación de aceite mediante técnicas de tecnología de membranas como tratamiento, en el cual se propone un biorreactor de membrana de ultrafiltración como la alternativa más adecuada para el tratamiento terciario propuesto que permita cumplir con la calidad exigida por la legislación nacional vigente.

### **1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES**

En el trabajo de tesis de Membrillo (2022), determinación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la planta Cumani – Antauta septiembre 2019, cuyo objetivo es analizar los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales que ingresan y egresan de la Planta Cumani; asimismo comparar los resultados de los parámetros analizados de las aguas residuales domésticas con los parámetros establecidos por el D.S. N° 003-2010-MINAM obteniendo como resultados pH con un valor de 7.8, temperatura con un valor de 10.8, aceites y grasas con un valor de 7.859 mg/L, DBO con un valor de <2 mg/L, DQO 19 mg/L, sólidos totales en suspensión 57 mg/L y coliformes termotolerante con un valor de <1.8 NMP/100 mL.

Mamani & Chavez (2018) en su trabajo de tesis “Evaluación de la remoción de materia orgánica a través de un sistema aerobio con microorganismos eficientes (EM) en aguas residuales domésticas - Puno, 2018” cuyo objetivo de esta investigación fue evaluar la remoción de materia orgánica a través de un sistema aerobio con microorganismos eficientes (EM) en aguas residuales domésticas. Los resultados fueron los siguientes: con 0 L de EM fue de 62%, con 3 L de 75% y con 4 L de 80% de remoción. Los tratamientos 3 y 4 L muestran un incremento significativo respecto al testigo (0 L) ( $p < 0.05$ ), y la frecuencia de evaluación no influyó en los parámetros de SST, CTT excepto en la DBO<sub>5</sub>,

además hubo diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) se llega a la conclusión que los microorganismos eficientes en un sistema aerobio logran una mejor remoción de materia orgánica, así el tratamiento con 4 L de EM y el sistema aerobio demostraron mejores resultados logrando lo establecido en los Límites Máximos Permisibles.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la eficiencia de los biorreactores de membrana en la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la Unidad Minera "San Rafael" 2023.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar si los biorreactores de membrana representan una alternativa potencial de solución de contaminantes en la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la unidad minera San Rafael 2023.
- Evaluar las ventajas que ofrecen los biorreactores de membrana con respecto a otras tecnologías el cual permite obtener agua tratada que cumpla con los límites máximos permisibles en la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la unidad minera "San Rafael" 2023.
- Determinar si la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la Unidad Minera San Rafael se encuentra operando de la mejor manera para realizar un buen proceso de depuración de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos del efluente.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1. LOS REACTORES BIOLÓGICOS

Para el estudio de Lopez & Herrera (2019) los biorreactores son recipientes o sistemas que mantienen un lugar de biología activa. En algún caso los biorreactores son recipientes en el que se realizan procesos químicos que implican a los organismos o sustancia química activa que se derivan de otras especies orgánicas. El reactor biológico es donde se dan las reacciones donde la materia orgánica es degradada por los microorganismos. También los biorreactores son recipientes en él se llevan a cabo los procesos químicos que involucran a los microorganismos donde se encuentra en constante participación en los procesos metabólicos. Un biorreactor es un recipiente o sistema con condiciones ambientales controladas propicias para el crecimiento de microorganismos que se cultivan como: temperatura, pH, oxigenación, concentración de gases ( $O_2/CO_2$ ), presión, agitación, entre otras, Un biorreactor es un recipiente (dorna) o sistema con condiciones controladas (de temperatura, oxigenación, presión, pH, concentración de gases y agitación) y propicias para el crecimiento del microorganismo que se cultiva.

Los reactores biológicos de membranas (MBR) es la tecnología biológica convencional de lodos activados (utilización de microorganismos) con la micro y ultrafiltración, siendo este aspecto el que antecede y conlleva a su aplicación para el tratamiento de aguas residuales los tratamientos avanzados como los reactores biológicos con membrana combina tecnologías de lodos activados con membranas (Carrera, 2021), uno de los

procedimientos más utilizado para tratar las aguas residuales domésticas en un sistema convencional es el de lodos activados (RLA) al cual también se le conoce como tratamiento secundario el cual consiste en un tratamiento biológicamente activo en donde la materia orgánica es degradada por microorganismos al estar ambos en contacto bajo condiciones óptimas de aireación este proceso requiere de un reactor biológico llamado tanque de aireación también debe tener un sedimentador secundario y un sistema de recirculación de lodos (Granados et al., 2019).

El tratamiento por lodos activados está constituido mínimamente por un reactor biológico y un sedimentador secundario. El proceso se realiza en el reactor biológico donde se produce la oxidación de la materia orgánica del agua residual mediante el crecimiento y metabolismo de los microorganismos (Proschle, 2017).

### 2.1.2. TIPOS DE REACTORES BIOLÓGICOS

Los reactores operan como procesos de flujo continuo con un afluente y efluente que se da en el periodo de tratamiento. Las características y equipos del reactor determinan la trayectoria del flujo de acuerdo a esto se tienen los reactores biológicos ideales para el tratamiento de agua residual son según (Romero, 2018).

- **Reactor de cochada con mezcla completa:** Este tipo de reactor se caracteriza por la inexistencia de un afluente y efluente el cual se mezcla completamente en el tanque tiene un sistema cerrado el cual es muy usado a nivel de escala piloto de laboratorio, las reacciones se dan en el reactor su composición y distribución de los reactantes y productos tiende a cambiar con el tiempo. La concentración de reactantes y productos de la mezcla es uniforme en todo el reactor
- **Reactor de flujo continuo y mezcla completa:** Estos tipos de reactores es ideal cuando el afluente se mezcla instantáneamente con el sustrato del reactor las partículas del afluente se dispersan al entrar en contacto con el reactor este tipo tanques tienen un contenido homogéneo por lo tanto su volumen tiene una composición uniforme al tener esta característica hace que la concentración del efluente se ha igual al del licor mezclado del reactor.

- **Reactor de flujo en pistón:** Estos reactores son ideales cuando las partículas de fluido viajan en el reactor sin mezclarse por lo tanto la dispersión es nula. En práctica estos tipos de reactores tienen tanques largos para así poder mantener la dispersión longitudinal cuyo valor es mínimo.
- **Reactor de flujo con dispersión longitudinal:** En práctica es imposible poder detener la mezcla que se da entre las partículas de fluido y se tiene una de alguna manera la mezcla longitudinal. Por esto se da la remoción del sustrato del reactor en el cual se da la oxidación de la materia orgánica.

Según Trujillo & Valdez, (2019) para realizar un diseño de un biorreactor difieren distintos factores hoy en día se tiene nuevas estrategias esto permite obtener y cumplir con los elevados estándares de calidad y la normatividad vigente. En los últimos diez años el diseño ha mejorado y también ha aumentado el uso de biorreactores desechables esto principalmente para eliminar los costos que se generan en la limpieza del procesamiento que se realiza esto conlleva en la disminución de los costos.

### 2.1.3. DEFINICIÓN DE MEMBRANA

Según Briones (2019) sostiene que para definir la membrana esta no es una materia pasiva por el contrario es un compuesto activo funcional. La capacidad de rendimiento de la membrana estará sujeta a los elementos contenidos del tratamiento que se realizará si los residuos procedentes de conjuntos habitacionales son completamente distintos a los que proceden de las fábricas, mineras y otros, las fuerzas directrices que se aplicará será diferente en la procedencia de agua residual que se trata. La membrana se define como la lámina delgada que separa las fases y actúa como una barrera física que separa la parte sólida de la líquida (permeado).

Para Caro (2018) otra definición de biorreactor de membrana es considerada como un sistema convencionalmente establecida para el tratamiento de las aguas servidas, que mediante el tratamiento de las membranas se aligera costos, accesibilidad y garantía en el funcionamiento del sistema que puede ser adaptado en cualquier parte del mundo puesto que esta tecnología ha sido implementada más de cien años en los cuales sus

resultados son muy buenos. Usando la membrana en el tratamiento de agua residual también son utilizados para separar la sal de las aguas marinas logrando el agua depurada.

#### 2.1.4. OPERACIÓN DE MEMBRANA

Para Pichardo (2019) la operación de membrana es aquella que tiene una membrana el cual separa la parte sólida de la líquida, la parte sólida es retenida y la líquida es filtrada por medio de la membrana la cual funciona como una barrera semipermeable selectiva que permite obtener un fluido limpio.

Para Ocampo (2018) la membranas sumergidas aeróbicos de ultrafiltración se ubican en el interior del reactor biológico, para la operación se tiene una corriente de alimentación la cual se encuentra dividida en dos el permeado que es la parte donde se encuentra el material que ha pasado a través de la membrana y una parte sólida retenida que no logra atravesar.

**Tabla 01:** Operaciones de membrana para tratamiento de aguas

Operación de membrana	Fuerza directora	Mecanismo de separación
Microfiltración	Presión	Cribado
Ultrafiltración	Presión	Cribado
Nanofiltración	Presión	Cribado(solución/difusión+exclusión)
Osmosis inversa	Presión	solución/ difusión + exclusión
Evaporación	Actividad (presión parcial)	Solución – difusión
Arrastre de membranas	Actividad (presión parcial)	Evaporación
Destilación de membranas	Actividad (Temperatura)	Evaporación
Diálisis	Actividad (Concentración)	Difusión
Electrodiálisis	Potencial eléctrico	Intercambio iónico

**FUENTE:** Ocampo (2018).

### **2.1.5. DISEÑO DE SISTEMAS DE BIORREACTORES DE MEMBRANA**

Según Iglesias et al., (2018). En los últimos años la operación y diseño de los biorreactores de membrana ha ido en aumento el cual permite mejorar el proceso de lodos activados convencionales, donde sustituye en muchos casos el decantador por un sistema de microfiltración o ultrafiltración el cual permite obtener efluentes de muy buena calidad libre de microorganismos o sólidos.

Para Jerez (2019), el ensuciamiento de las membranas de ultrafiltración es el principal inconveniente que se tiene el cual ocasiona costes de operación entre estos factores de influyen la principal son las sustancias poliméricas extracelulares, por este motivo se viene estudiando la posibilidad de utilizar agentes adsorbentes en este caso el carbón activo para poder reducir el ensuciamiento y alargar la vida útil de las membranas.

Según Sadhwani & Río-Gamero (2018). Los contaminantes emergentes como los plaguicidas, pesticidas, etc. Afectan a los recursos hídricos y esto conlleva a un posible efecto a la salud humana como también al medio ambiente es por ello que tienden a acumularse en el agua residual, las plantas convencionales no tienen un diseño adecuado para eliminar dichos contaminantes por ello se busca evaluar la eficiencia, diseño y operación mediante la tecnología de membranas para la remoción de estos contaminantes emergentes.

Igualmente Díaz et al., (2019), el ensuciamiento de la membranas es un problema que se tiene en los biorreactores de membrana el cual aumenta los costos de operación y disminuye la productividad, por tal motivo busca evaluar la condiciones apropiadas utilizando modelos matemáticos, el cual permite la optimización de los sistemas MBR dando un menor costo de operación e instalación.

Para La Iglesia (2018), caracterizar el agua, conocer el caudal de ingreso (población), agua a tratar y conocer los parámetros que caracterizan a las aguas residuales son muy importantes para el diseño y dimensionamiento de los diferentes reactores biológicos para poder utilizar un sistema apropiado para el tratamiento de aguas residuales.

En el tratamiento de aguas residuales Lara (2022) mediante membranas de micro y ultrafiltración, busca llevar a cabo qué tan eficientes son a la hora de eliminar nutrientes característicos de este tipo de agua como el nitrógeno y fósforo, para el riego de vegetales que tan factible es el uso de membranas que al reutilizar el aguas tratada para riego agrícola estas no tengan algún efecto sobre la salud humana o el desarrollo de las plantas.

#### **2.1.6. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL**

Para López Ramírez et al., (2021), una de las alternativas para el tratamiento de aguas residuales es la oxidación avanzada, este proceso es útil en contaminantes refractarios que son muy resistentes a los tratamientos convencionales, pero los costos de operación son altos a comparación de otras tecnologías.

También Rosero et al., (2019), el avance de la tecnología en el tratamiento de agua residual ha provocado que cada vez mayor consumo energético, por esto se busca alternativas que puedan dar solución como los sistemas combinados de humedales acoplados a celdas de combustión microbiana que busquen generar una mayor eficiencia energética y poder aprovechar la energía que generan los microorganismos en los procesos metabólicos.

Según Chávez-Lizárraga (2018), se busca el cuidado del medio ambiente la nanotecnología es una alternativa para el tratamiento de agua residual, el uso de esta tecnología tiene un gran potencial de eficiencia en el tratamiento de agua, aún se tiene un amplio campo de estudio y problemas por resolver en cuanto a los costos de operación y fomentar como una alternativa de solución a escala global utilizando nanopartículas.

#### **2.1.7. MARCO NORMATIVO**

- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.
- Ley N° 29338.- Ley de los Recursos Hídricos.
- Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM - Decreto Supremo que aprueba límites máximos permisibles para los efluentes de planta de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

- Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.
- Resolución Jefatural N° 274-2010-ANA - Que dicta medidas para la implementación del programa de adecuación de vertimientos y reúso de agua residual.

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

**Aguas residuales domésticas:** Son aguas residuales que tienen origen de zonas residenciales, instituciones y centros comerciales que contienen desechos biológicos otros provenientes de la actividad antrópica (ANA, 2016).

**Aguas residuales:** Son aguas cuyas características iniciales han sufrido cambios en su composición esto debido a actividades antropogénicas, por ello necesita un tratamiento previo antes de ser vertidas a un cuerpo natural de agua o reusadas (OEFA, 2014).

**El Programa de monitoreo:** Los titulares de las plantas de tratamiento de agua residual están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, en conformidad con el programa de monitoreo y saneamiento por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El programa de monitoreo especificará la ubicación de los puntos de control, métodos y técnicas adecuadas. así como los parámetros y frecuencias de muestreo para cada uno de ellos (MINAM, 2010).

**Límite máximo permisible (LMP):** Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (MINAM, 2010).

**Frecuencia de monitoreo:** Se establece para medir los cambios sustanciales en la calidad del recurso hídrico que ocurren en determinados periodos (ANA, 2016).

**Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas:** Infraestructura y/o procesos que tienen la finalidad de depuración de las aguas residuales domésticas o municipales (MINAM, 2010).

## **2.3. HIPÓTESIS**

### **2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL**

Los biorreactores de membrana en la planta de tratamiento de aguas residuales Cumani, no son eficientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la Unidad Minera “San Rafael” 2023.

### **2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS**

- El biorreactor de membrana no representa una alternativa potencial de solución que contribuya con la descontaminación de agua residual en la planta de tratamiento de la Unidad Minera San Rafael 2023.
- El biorreactor de membrana no ofrece un resultado positivo con respecto a otras tecnologías en las cuales se podría obtener agua tratada que cumpla con los límites máximos permisibles en la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la Unidad Minera “San Rafael” 2023.
- La planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la Unidad Minera San Rafael no se encuentra operando de la mejor manera esto hace que no se pueda realizar un buen proceso de depuración contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos del efluente.



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

La unidad minera San Rafael es una operación minera de estaño situada en el distrito de Antauta, provincia de Melgar, región de Puno, Perú a 4500 msnm con el punto más alto sobre los 5500 msnm. La Unidad Minera San Rafael es el tercer productor mundial de estaño que produce actualmente el 12% del estaño del mundo. Cuyas aguas residuales son vertidas al río Antauta y esta desemboca en el río Carabaya está a la vez desemboca en el lago Titicaca, por lo que se hace necesario conocer cuál es la calidad del agua tratada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas de la unidad Minera San Rafael siendo sus coordenadas UTM 357280 E y 8422130 N (WGS84) (MINSUR, 2020).



**Figura 01:** Ubicación geográfica de la PTAR San Rafael

**Fuente:** Google Earth Pro.

## **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.2.1. POBLACIÓN**

La población de estudio está conformada por el volumen que trata la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas con sistema MBR (745.6 m<sup>3</sup>/día) de agua residual que diariamente se procesa de la cual se tomó la muestra en el efluente punto R-2.

### **3.2.2. MUESTRA**

Para la toma de muestras se efectuó de acuerdo al Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad de Aguas aprobado mediante R.J. N<sup>o</sup> 010-2016-ANA, en el cual se estandariza la metodología para el desarrollo del monitoreo de la calidad de los recursos hídricos en los cuerpos naturales de agua superficial que contiene criterios técnicos y procedimientos para establecer parámetros de evaluación, frecuencia, puntos de monitoreo, conservación, preservación y transporte de muestras, para asegurar la calidad del desarrollo del monitoreo, de acuerdo al protocolo se tiene 2 puntos de monitoreo afluente R-1 y efluente R-2 en el cual conjuntamente con el personal de laboratorio acreditado se procede a ingresar a la PTAR, previamente en coordinación con el área de Medio

Ambiente de MINSUR que es el sponsor responsable se procede a tomar muestras en los puntos ya establecidos para el muestreo y registro de campo, la medición de caudales, la frecuencia de monitoreo, pautas de muestreo, preservación, conservación y envío de las muestras al laboratorio de análisis, en ambos puntos se toman 15 litros los cuales estarán divididos en ensayos en campo ( in situ), ensayos fisicoquímicos, ensayos de metales, ensayos microbiológicos y ensayos hidrobiológicos, las muestras son llenadas en frascos de plástico y/o vidrio que son de distinto diámetro y altura de acuerdo al parámetro que se analizara en laboratorio en total se tomaran 6 muestras divididos en 2 por cada mes tanto del afluente y efluente.

**Tabla 02:** Coordenadas UTM de los puntos de muestreo

UBICACIÓN DE PUNTOS	COORDENADAS UTM WGS84 19L		
	ESTE	NORTE	ALTURA
PUNTO R-1	357280	8422130	4328
PUNTO R-2	357200	8421958	4325

### 3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

Tipo de investigación: Descriptivo.

Diseño de investigación: No experimental – transversal.

Método: Cuantitativo.

#### 3.3.1. MÉTODO

El método utilizado es el cuantitativo puesto que nos permite cumplir con cada objetivo propuesto en la investigación por lo cual este tipo de investigación trae consigo realizar análisis y profundizar nuestra investigación.

##### 3.3.1.1. Metodología

El enfoque de monitoreo para la investigación se realizó de acuerdo al plan de monitoreo de calidad de agua el Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad de Aguas aprobado

mediante R.J. N° 010-2016-ANA, en el cual estandariza la metodología para el desarrollo del monitoreo de la calidad de los recursos hídricos en los cuerpos naturales de agua superficial que contiene criterios técnicos y procedimientos para establecer parámetros de evaluación, frecuencia, puntos de monitoreo, conservación, preservación y transporte de muestras, para así asegurar la calidad del monitoreo.

El proceso de investigación se realizó de acuerdo a los objetivos que se han propuesto.

Se identificaron los puntos de monitoreo afluente punto R1 y efluente punto R2.

**Objetivo específico 1. Determinar si los biorreactores de membrana representan una alternativa potencial de solución de contaminantes en la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la unidad minera San Rafael 2023.**

Se realizará una visita técnica a la PTAR Cumani de la Unidad Minera San Rafael, en busca de información técnica y operativa sobre la tecnología de biorreactores de membrana que se ha implementado en el tratamiento de aguas residuales.

Se procede a analizar los datos y se recopila la información obtenida durante la visita in situ, donde se generan ideas y se obtienen distintos resultados a analizar.

El instrumento que se aplicará será la ficha de observación de la recolección mensual de muestras durante tres meses.

**Objetivo específico 2. Evaluar las ventajas que ofrecen los biorreactores de membrana con respecto a otras tecnologías el cual permite obtener agua tratada que cumpla con los límites máximos permisibles en la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la unidad minera "San Rafael" 2023.**

La investigación sobre las tecnologías usadas en el tratamiento de aguas residuales en la unidad minera San Rafael se busca obtener mayor información posible de la nueva tecnología que se está empleando en el tratamiento de aguas residuales con un sistema de biorreactores de membrana y verificar los beneficios que trae su implementación.

El instrumento que se aplicará será la ficha de observación de la recolección mensual de las muestras durante tres meses.

Objetivo específico 3. **Determinar si la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la Unidad Minera San Rafael se encuentra operando de la mejor manera para realizar un buen proceso de depuración de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos del efluente.**

Se realizará un análisis comparativo de las tecnologías de la unidad minera San Rafael con el historial de registros del año 2018 y los resultados al 2023 con la tecnología de sistema de biorreactores de membrana para el tratamiento de aguas residuales.

Resaltar la importancia que tienen los biorreactores de membrana como proceso en el tratamiento de aguas residuales.

#### **3.3.1.2. Toma de muestras**

De acuerdo al protocolo de monitoreo de aguas se tiene 2 puntos de monitoreo afluente R-1 y efluente R-2 en el cual conjuntamente con el personal de laboratorio acreditado se procede a ingresar a la PTAR, previamente en coordinación con el área de Medio Ambiente de MINSUR que es el sponsor responsable se procede a tomar muestras en los puntos ya establecidos para el muestreo y registro de campo, la medición de caudales, la frecuencia de monitoreo, pautas de muestreo, preservación, conservación y envío de las muestras al laboratorio de análisis, en ambos puntos se toman 15 litros los cuales estarán divididos en ensayos en campo ( in situ), ensayos fisicoquímicos, ensayos de metales, ensayos microbiológicos y ensayos hidrobiológicos, las muestras son llenadas en frascos de plástico y/o vidrio que son de distinto diámetro y altura de acuerdo al parámetro que se analizara en laboratorio en total se tomaran 6 muestras divididos en 2 por cada mes tanto del afluente y efluente.

#### **3.3.2. MATERIALES**

- Equipos de laboratorio de ALS.
- Cámara fotográfica.
- Fichas de muestreo.
- Equipos de protección personal.
- Libreta de campo.

- Frascos para toma de muestras (vidrio y plástico).

### 3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 03:** Operacionalización de variables.

Variable de estudio	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Independiente			
Eficiencia de los biorreactores de membrana de la PTAR Cumani de la Unidad Minera San Rafael.	Parámetros fisicoquímicos y microbiológico	pH	Und. pH
		T°	°C
		DQO	mg/L
		SST	mL/L
		CT	NPM/100 mL
		DQO5	mg/L
		AG	mg/L
Dependiente			
Tratamiento de aguas residuales - Cumani, dimensiones, control Afluente, control efluente usando los LMP para efluentes según el D.S. 003-2010-MINAM	Físicos - LMP	pH	Und. pH
		T°	°C
	Químicos - LMP	SST	mg/L
		T°	°C
		DQO	mg/L
		DBO5	mg/L
Microbiológico - LMP	CT	NPM/100 mL	

### 3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

El diseño de investigación es de tipo descriptivo y se sustenta en la recolección de datos, con la finalidad de mostrar los acontecimientos tal y como se dan en la realidad. donde se va describiendo las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual de forma cuantitativa para compararlas con el **Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM**. Donde Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento Residuales Domésticas o Municipales.

No es un estudio experimental, porque no se realizó ninguna intervención en las variables, solo se recolectó los datos de acuerdo a la realidad como se muestran en las tablas, gráficos y resultados obtenidos. Para ello se usó el software estadístico Excel para el procesamiento de datos.

Según Torres (2006) el diseño estadístico fue de bloque completo al azar con modelo lineal.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ij}$$

Donde:

i: Puntos de muestreo (i=1,2).

j: Repeticiones expresado en mes (j=1,2).

Y<sub>ij</sub>: Variable de medición del parámetro.

μ: Media general.

A<sub>i</sub>: Efecto de i-ésimo punto de muestreo.

B<sub>j</sub>: Efecto de bloque por mes de muestreo.

E<sub>ij</sub>: Error experimental (0.05).

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### 4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1.1. ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE PH DEL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS MEDIANTE EL BIORREACTOR DE MEMBRANA CUMANI UMSR 2023.

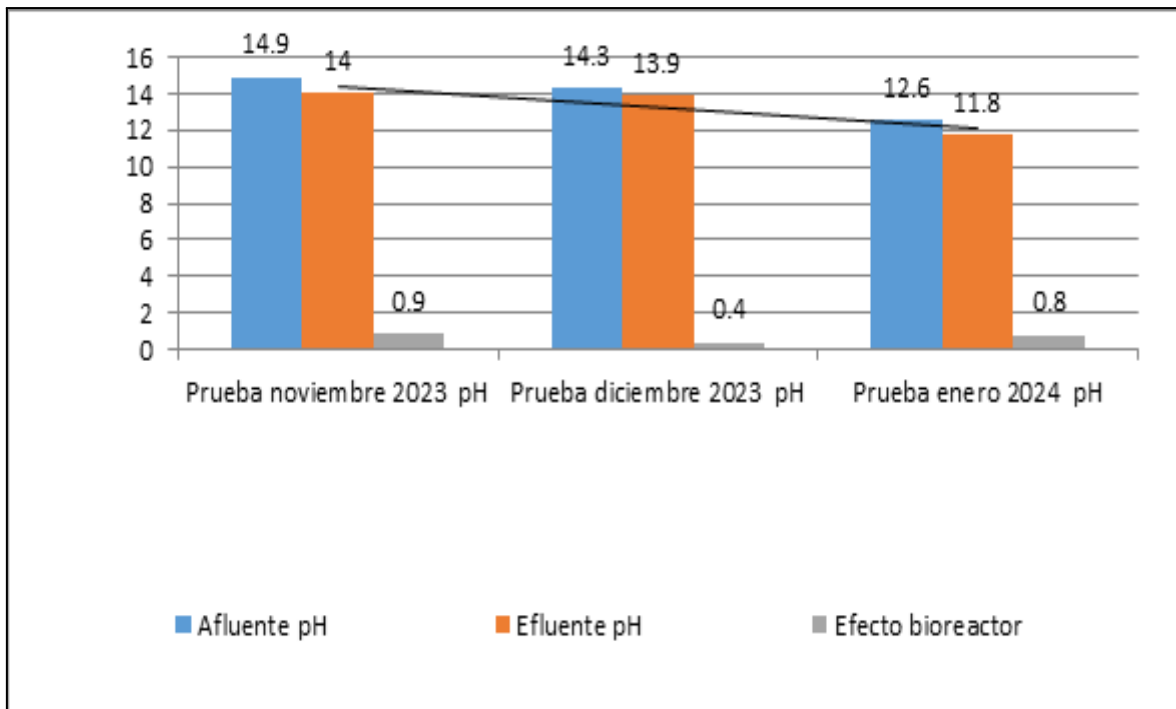
**Tabla 04:** Resultados de pH del afluente y efluente correspondiente a las tres muestras comparados con límites máximos permisibles (LMP).

Parámetros	Unidad de medida	Resultado Afluente	Resultado Efluente	Efecto	LMP	Valor Nominal
Prueba noviembre 2023	pH	9	7.85	0.15	6.5-8.5	Cumple
Prueba diciembre 2023	pH	8.87	7.74	0.26	6.5-8.5	Cumple
Prueba enero 2024	pH	8.75	7.7	0.47	6.5-8.5	Cumple

Según la Tabla 04 refleja los resultados del análisis de laboratorio del parámetro potencial de hidrógeno pH en el afluente y el efluente se verifica la eficiencia del tratamiento



mediante el biorreactor de membrana en la planta Cumani UMSR 2023. Se observa que el parámetro cumple con los límites máximos permisibles (D.S. N° 003-2010-MINAM).



**Figura 02:** Resultados de potencial de hidrógeno (pH).

En la figura 02 se verifica los resultados obtenidos en monitoreo in situ teniendo como resultado en la prueba de noviembre 2023, sobre el “pH”, realizada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 9 y en el efluente el resultado fue 7.85 pH, el efecto fue de 0.15 cumpliendo con los límites máximos permisibles “6.5-8.5”. Entonces cumplen con el D.S. 003-2010-MINAM.

Sobre la prueba diciembre 2023, referente al “pH”, realizada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 8.87 y en el efluente la derivación fue 7.74 pH, el efecto fue de 0.26 cumpliendo con los límites máximos permisibles “6.5-8.5” con el cual se cumplen con el D.S. 003-2010-MINAM

Realizada la prueba en enero 2024, concerniente al “pH”, realizada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 8.75 y en el efluente el resultado fue 7.7 Ph, el efecto fue de 0.47 cumpliendo con los límites máximos permisibles de “6.5-8.5”

por tanto mediante el método comparativo se determina que cumple con D.S. 003-2010-MINAM

Los hallazgos expuesto guarda relación con los trabajos de investigación de Vargas (2018) sobre "Tratamiento de aguas residuales domésticas con un biorreactor de membrana inmersa" presentada a la Universidad Los Andes de Bogotá; presenta el promedio de resultados entre 6.06 - 7.90 de pH monitoreado con el fin de conocer el comportamiento principal del tratamiento biológico, indica que los valores son indicadores apropiados para la remoción del carbono estos resultados cumplen con los LMP.

Otro trabajo relacionado es de Mendes (2019), en su investigación sobre el Tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación acoplada a un MBR para minimizar el ensuciamiento de la membrana y obtener efluentes de alta calidad. en sus resultados los valores de pH en el afluente, durante todas las fases de operación fluctuaron desde 6,85 hasta 7,93, en el licor mezcla desde 6,69 hasta 7,85 mientras que en el efluente desde 6,86 hasta 7,96 cumpliendo con la normativa y guardando relación con los resultados obtenidos.

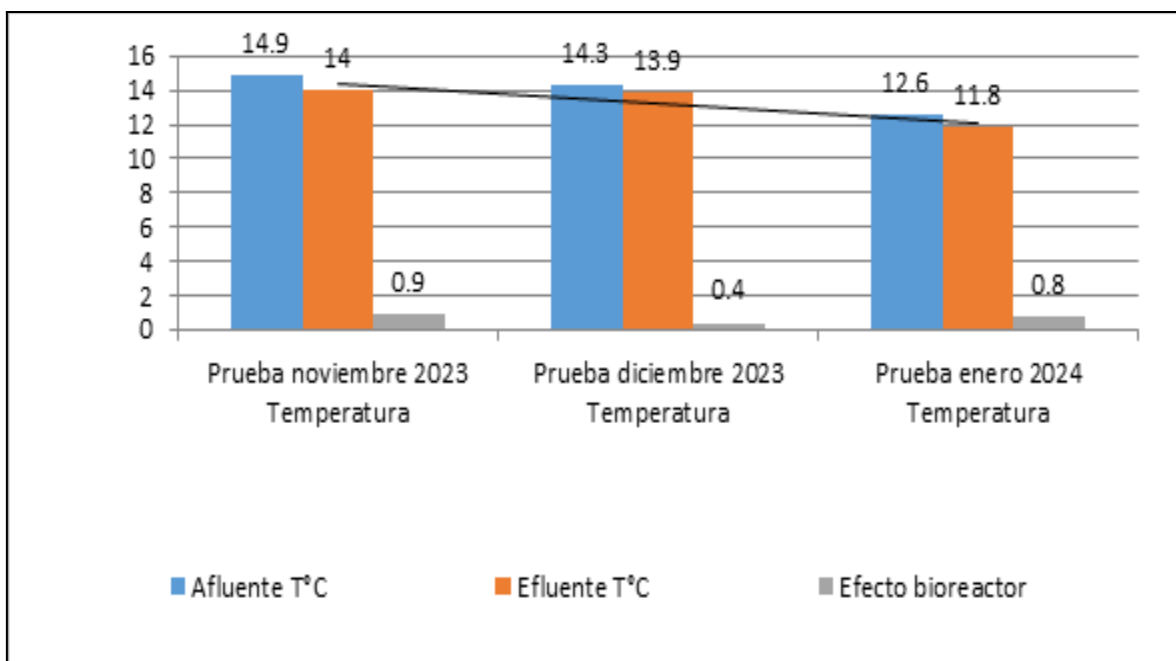
Como se observa la diferencia está en los valores del afluente que se encontraron entre 8.75 hasta 9 pH que fueron normalizados, en el registro del efluente.

#### **4.1.2. ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE TEMPERATURA DE AFLUENTE Y EFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS MEDIANTE EL BIORREACTOR DE MEMBRANA CUMANI UMSR 2023.**

**Tabla 05:** Resultados de temperatura del afluente y efluente correspondiente a las tres muestras comparados con límites máximos permisibles (LMP)

Parámetros	Unidad de medida	Resultado Afluente	Resultado Efluente	Efecto	LMP	Valor Nominal
Prueba noviembre 2023	°C	14.9	14	0.9	<35	Cumple
Prueba diciembre 2023	°C	14.3	13.9	0.4	<35	Cumple
Prueba enero 2024	°C	12.6	11.8	0.8	<35	Cumple

En la tabla 05 se observa los siguientes resultados en cuanto al parámetro de temperatura de afluente y efluente de las aguas residuales tratadas mediante el biorreactor de membrana Cumani UMSR 2023.



**Figura 03:** Resultados de temperatura.

En la figura 03 refleja los resultados in situ del parámetro Temperatura dando los siguientes resultados. En la prueba de noviembre 2023, referida a la temperatura en “°C”

realizada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 14.9 y en el efluente el resultado fue 14 °C, el efecto fue de 0.9°C cumpliendo con los límites máximos permisibles “<35°C “. Entonces cumple con el D.S. 003-2010-MINAM.

Sobre la prueba de diciembre 2023 referente a la temperatura en “°C” realizada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 14.3 y en el efluente la derivación fue 13.9 °C, el efecto fue de 0.4°C siendo el valor permisible de “<35°C” Entonces cumple con los límites máximos permisibles del D.S. 003-2010-MINAM.

Realizada la prueba de enero 2024 respecto a la temperatura en “°C” realizada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 12.6 y en el efluente el resultado fue 11.8 °C, el efecto fue de 0.8°C existiendo el valor permisible de “<35°C” por tanto mediante el método comparativo se determina que cumple con los LMP del D.S. 003-2010-MINAM.

Los hallazgos en la planta Cumani se asemejan con Satalaya (2015). Eficiencia para el tratamiento de aguas residuales municipales o domésticas de las lagunas de estabilización de Uchiza, obtuvo una temperatura de 30°C en temporada de sequías valor que es muy alto al de la presente investigación el cual es completamente diferente con la PTAR de Cumani pero estando en el rango de los LMP.

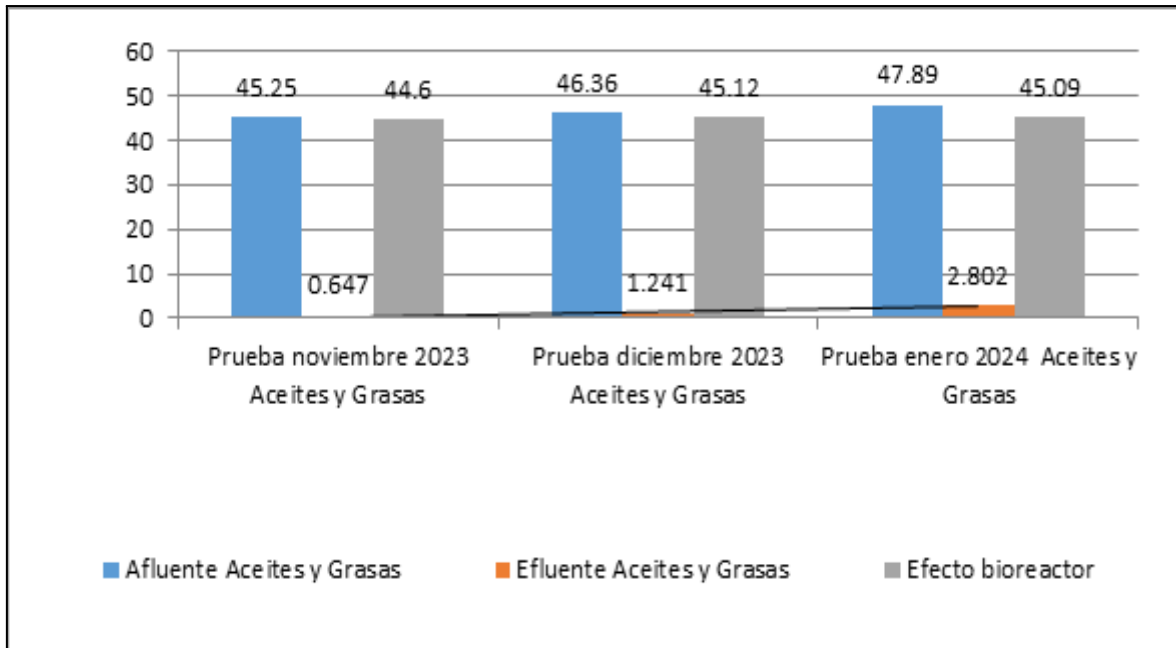
Otro trabajo que se asemeja es de Mendes (2019), en su investigación sobre Tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación acoplada a un MBR para minimizar el ensuciamiento de la membrana y obtener efluentes de alta calidad, en sus resultados los valores de temperatura ambiente (12 - 30°C) cumpliendo con los LMP , la operación del sistema EMBR se realizó en cuatro fases diferenciadas: una primera fase operando como un MBR convencional y las posteriores en la que se operó con la electrocoagulación a tres diferentes densidades de corriente

#### 4.1.3. ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE ACEITES Y GRASAS DE AFLUENTE Y EFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS MEDIANTE EL BIORREACTOR DE MEMBRANA CUMANI UMSR 2023.

**Tabla 06:** Resultados de aceites y grasas del afluente y efluente correspondiente a las tres muestras comparados con límites máximos permisibles (LMP).

Parámetros	Unidad de medida	Resultado Afluente	Resultado Efluente	Efecto	LMP	Valor Nominal
Aceites y Grasas noviembre 2023	mg/L	45.25	0.647	44.6	20	Cumple
Aceites y Grasas diciembre 2023	mg/L	46.36	1.241	45.12	20	Cumple
Aceites y Grasas enero 2024	mg/L	47.89	2.802	45.09	20	Cumple

En la tabla 06 se observa los siguientes resultados en cuanto al parámetro de aceites y grasas de afluente y efluente de las aguas residuales tratadas mediante el biorreactor de membrana Cumani UMSR 2023.



**Figura 04:** Resultados de aceites y grasas.

En la figura 04 están referidos a los resultados del control de calidad de aceites y grasas en el afluente y el efluente de las aguas residuales tratadas mediante el biorreactor de membrana en la planta de tratamiento de Cumani UMSR 2023.

En la prueba de noviembre 2023 referida a aceites y grasas en “mg/L” realizada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 45.25 y en el efluente el resultado fue 0.647 “mg/L” el efecto fue de 44.6 cumpliendo los límites máximos permisible de “20 mg/L”. Entonces cumple el valor permisible del D.S. 003-2010-MINAM.

Sobre la prueba de diciembre 2023 referente a aceites y grasas en “mg/L” realizada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 46.36 y en el efluente la derivación fue 1.241 “mg/L” el efecto fue de 45.12, también cumple con los límites máximos permisible de “20 mg/L”. Entonces cumple con el D.S. 003-2010-MINAM.

Realizada la prueba de enero 2024 respecto a aceites y grasas en “mg/L” realizada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 47.89 y en el efluente el resultado fue 2.802 “mg/L” el efecto fue de 45.09 existiendo el valor permisible de “20 mg/L” por tanto mediante el método comparativo se determina que cumple con los límites máximos permisibles.

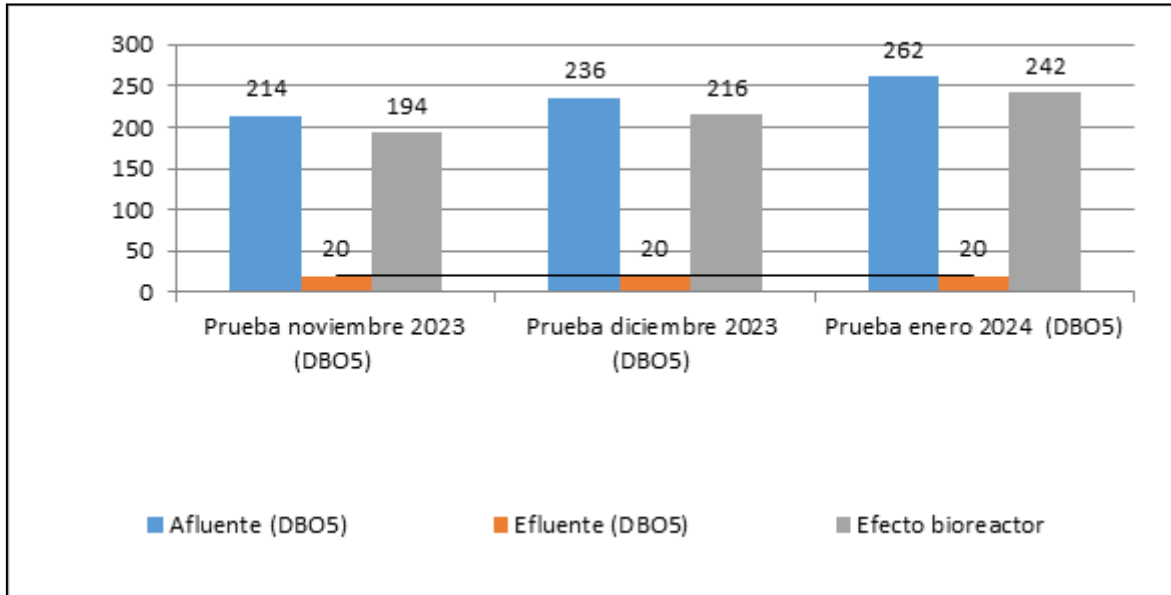
Los hallazgos descritos tienen relación al estudio de Andrade (2020), en su investigación denominada "Evaluación de la eficiencia en la planta de Tratamiento de aguas residuales del distrito de Macusani, Región Puno 2020", indica que los aceites y grasas en el afluente tuvieron como resultados un valor de 1.8 mg/L y en el efluente fue de 0.32 mg/L esto significa que si cumple con la normativa vigente del D. S. N° 003-2010-MINAM efluente para PTAR que es 20 mg/L. La diferencia es que los valores en el presente trabajo son 45.25 a 47.89. los cuales con la acción del biorreactor de membrana hasta: 2.802 a 0.647 mg/L y el valor mínimo permisibles es de 20 mg/L. Esto demuestra que la planta está trabajando en óptimas condiciones con sistemas de MBR.

#### 4.1.4. ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LA DEMANDA BIOQUÍMICO DE OXÍGENO (DBO<sub>5</sub>) DEL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS MEDIANTE EL BIORREACTOR DE MEMBRANA CUMANI UMSR 2023.

**Tabla 07:** Resultados de DBO del afluente y efluente correspondiente a las tres muestras comparados con límites máximos permisibles (LMP)

Parámetros	Unidad de medida	Resultado Afluente	Resultado Efluente	Efecto	LMP	Valor Nominal
Demanda Bioquímico de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) noviembre 2023	mg/L	214	20	194	100	Cumple
Demanda Bioquímico de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) diciembre 2023	mg/L	236	20	216	100	Cumple
Demanda Bioquímico de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) enero 2024	mg/L	262	20	242	100	Cumple

Según la tabla 07 refleja los resultados del análisis de laboratorio en cuanto al parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) tomadas en el afluente y efluente de las aguas residuales tratadas mediante el biorreactor de membrana Cumani UMSR 2023.



**Figura 05:** Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ).

Según la figura 05 refleja los resultados de los análisis de laboratorio de demanda Bioquímica de oxígeno en el afluente y el efluente de las aguas residuales tratadas mediante el biorreactor de membrana en la planta de tratamiento de Cumani UMSR 2023.

En la prueba de noviembre 2023 sobre la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) en “mg/L” realizada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 214 y en el efluente el resultado fue 20 “mg/L” el efecto fue de 194 estando el valor permisible de “100”. Entonces cumple con los límites máximos permisibles.

Sobre la prueba de diciembre 2023 sobre la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) realizada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 236 y en el efluente fue 20 “mg/L” el efecto fue de 216 siendo el valor permisible de “100” estando dentro del rango de los límites máximos permisibles.

Realizada la prueba de enero 2024 sobre la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) en “mg/L” realizada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 262 y en el efluente la consecuencia fue 20 “mg/L” el efecto fue de 242 existiendo el valor



permisible de “100” por tanto mediante el método comparativo se determina que cumple con los límites máximos permisibles.

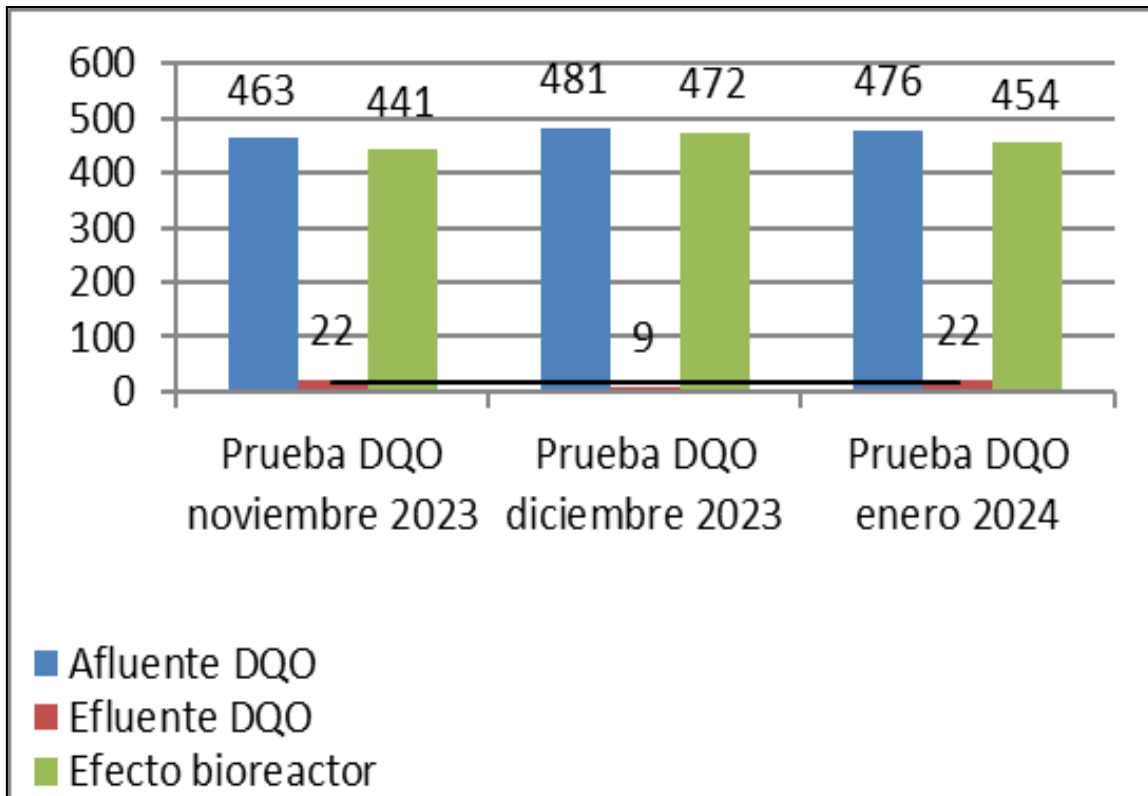
Los hallazgos presentados guarda relación con los trabajos de Vargas (2018), en su investigación presenta resultados de concentraciones de 1 a 4 mg/l de (DBO<sub>5</sub>), fueron encontrados en el efluente de un MBR estudiado para el reúso agrícola del agua residual municipal tratada cumpliendo con los LMP y guardando relación con la investigación realizada.

#### 4.1.5. ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN EL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS MEDIANTE EL BIORREACTOR DE MEMBRANA CUMANI UMSR 2023.

**Tabla 08:** Resultados DQO del afluente y efluente correspondiente a las tres muestras comparados con límites máximos permisibles (LMP).

Parámetros	Unidad de medida	Resultado Afluente	Resultado Efluente	Efecto	LMP	Valor Nominal
Demanda Química de Oxígeno noviembre 2023	mg/L	463	22	441	200	Cumple
Demanda Química de Oxígeno diciembre 2023	mg/L	481	9	472	200	Cumple
Demanda Química de Oxígeno enero 2024	mg/L	476	22	454	200	Cumple

Según la tabla 08 refleja los resultados del análisis de laboratorio en cuanto al parámetro de Demanda Química de Oxígeno en el afluente y efluente de las aguas residuales tratadas mediante el biorreactor de membrana Cumani UMSR 2023.



**Figura 06:** Demanda Química de Oxígeno.

La figura 06 está referida a ilustrar los resultados del control de demanda química de oxígeno en el afluente y el efluente de las aguas residuales tratadas mediante el biorreactor de membrana en la planta de tratamiento de Cumani UMSR 2023.

En la prueba de noviembre 2023 sobre la demanda química de oxígeno en mg/L efectuada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 463 y en el efluente el resultado fue 22 “mg/L” el efecto fue de 441 estando el valor permisible de “200”, cumpliendo con los límites máximos permisibles.

Sobre la prueba de diciembre 2023 sobre la demanda química de oxígeno en mg/L plasmada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 481 y en el efluente la derivación fue 9 “mg/L” el efecto fue de 472 siendo el valor permisible de “200”, estando dentro del rango de los límites máximos permisibles del D.S. 003-2010-MINAM.

La prueba de enero 2024 sobre la demanda química de oxígeno en mg/L ejecutada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 476 y en el efluente la consecuencia fue 22 mg/L el efecto fue de 454 el límite es de 200 mg/L por lo tanto

mediante el método comparativo se determina que cumple con los límites máximos permisibles.

La investigación de Neira (2017). El promedio de los resultados fue 3897 mg/L, con un mínimo de 2970 mg/L y un máximo de 5470 mg/L. estando muy por encima de los LMP se sabe que mientras más alto el DQO más contaminada el agua, es necesario más oxígeno para oxidar la materia orgánica por químicos, por lo que más contaminada se encuentra el agua y mayor tratamiento será necesario para estabilizar.

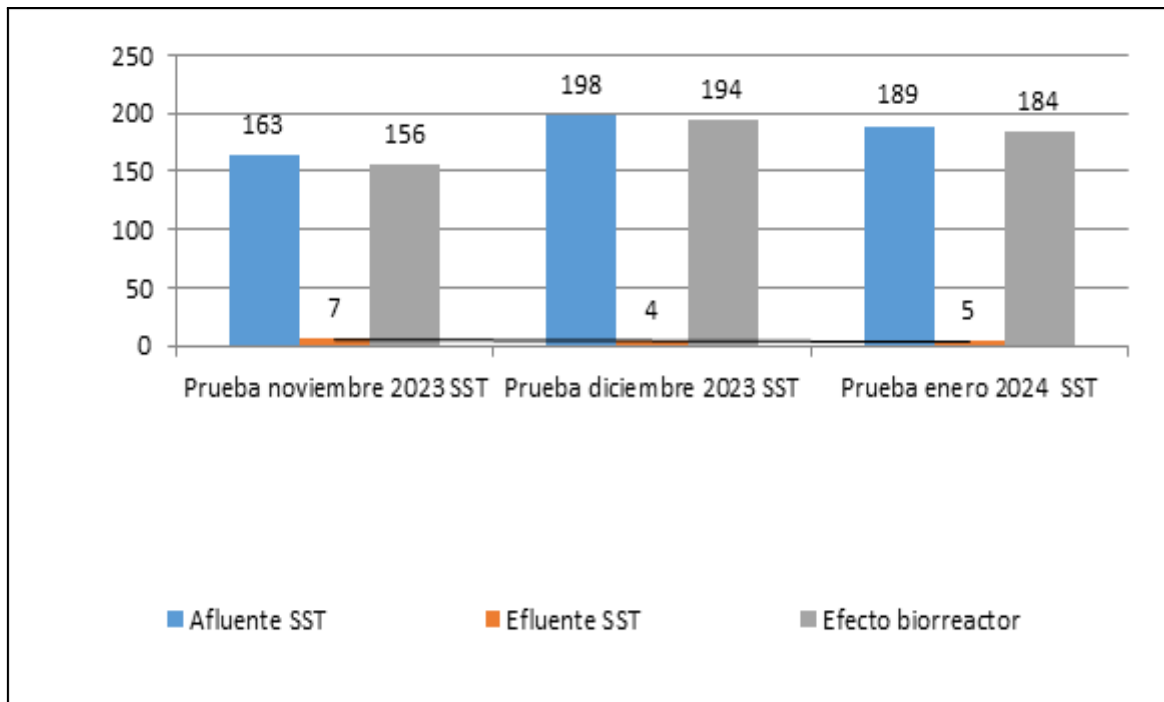
#### 4.1.6 ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN EL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS MEDIANTE EL BIORREACTOR DE MEMBRANA CUMANI UMSR 2023.

**Tabla 09:** Resultados de sólidos totales en suspensión del afluente y efluente correspondiente a las tres muestras comparados con límites máximos permisibles (LMP).

Parámetros	Unidad de medida	Resultado Afluente	Resultado Efluente	Efecto	LMP	Valor Nominal
Sólidos Totales en suspensión noviembre 2023	mL/L	163	7	156	150	Cumple
Sólidos Totales en suspensión diciembre 2023	mL/L	198	4	194	150	Cumple
Sólidos Totales en suspensión enero 2023	mL/L	189	5	184	150	Cumple

Según la tabla 09 refleja los resultados del análisis de laboratorio en cuanto al parámetro

de Sólidos Totales en suspensión en el afluente y efluente de las aguas residuales tratadas mediante el biorreactor de membrana Cumani UMSR 2023.



**Figura 07:** Sólidos Totales en Suspensión.

La figura 07 muestra los resultados del control de sólidos suspendidos totales en el afluente y el efluente de las aguas residuales tratadas mediante el biorreactor de membrana en la planta de tratamiento de Cumani UMSR 2023.

En la prueba de noviembre 2023 sobre los sólidos suspendidos totales en mL/L efectuada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 163 y en el efluente el resultado fue 7 mL/L” el efecto fue de 156 estando el valor permisible de 150 mL/L. Entonces cumple el valor permisible.

Sobre la prueba de diciembre 2021 sobre los sólidos suspendidos totales en mg/L plasmada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 198 y en el efluente la derivación fue 4 mL/L el efecto fue de 194 siendo el valor permisible de 150 mL/L. Cumpliendo con los límites máximos permisibles.

Realizada la prueba de enero 2024 sobre los sólidos suspendidos totales en mL/L ejecutada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 189 y en el efluente la consecuencia fue 5 mL/L el efecto fue de 184 siendo el valor permisible de 150

mL/L por tanto mediante el método comparativo se determina que cumple con los LMP, esto evidencia el buen desempeño que realiza los biorreactores de membrana.

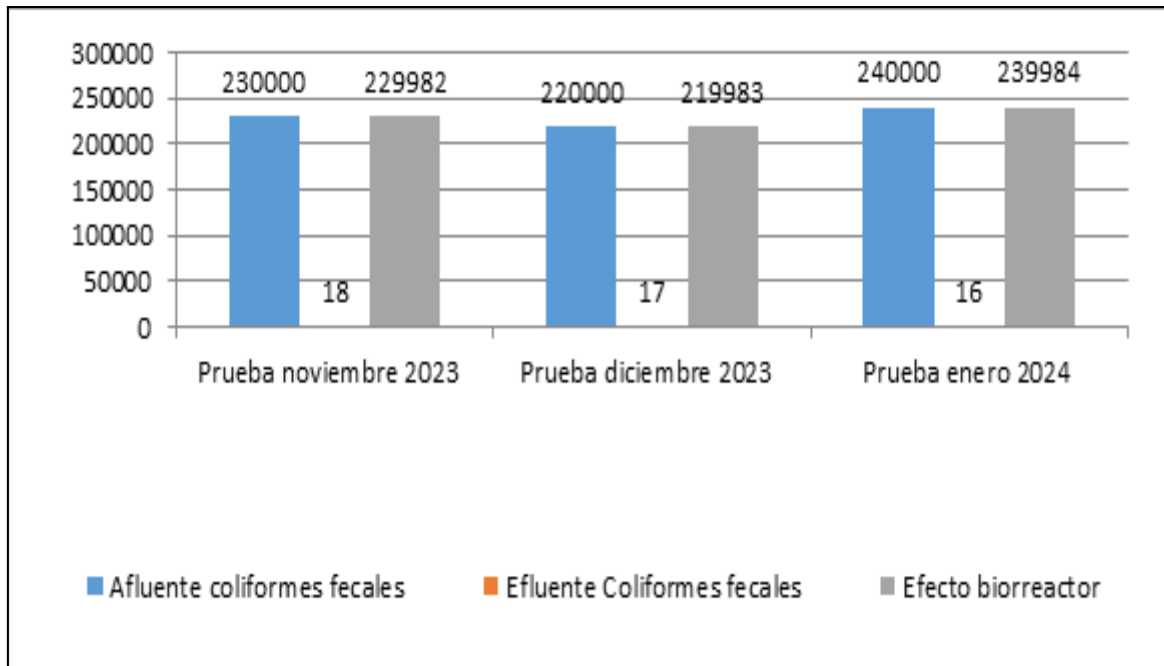
Los resultados encontrados en el presente estudio se asemejan con el trabajo de Neira (2017), el promedio de los resultados fue 90 mL/L, con un mínimo de 70 mL/L y un máximo de 102 mL/L, los cuales cumplen también con los límites máximos permisibles del D.S. 003-2010-MINAM.

#### 4.1.7. ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE COLIFORMES FECALES EN EL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS MEDIANTE EL BIORREACTOR DE MEMBRANA CUMANI UMSR 2023.

**Tabla 10:** Resultados de coliformes fecales del afluente y efluente correspondiente a las tres muestras comparados con límites máximos permisibles (LMP).

Parámetros	Unidad de medida	Resultado Afluente	Resultado Efluente	Efecto	LMP	Valor Nominal
Coliformes Fecales noviembre 2023	NMP/100 mL	230000	18	229982	10000	Cumple
Coliformes Fecales diciembre 2023	NMP/100 mL	220000	17	219983	10000	Cumple
Coliformes Fecales enero 2024	NMP/100 mL	240000	16	239984	10000	Cumple

Según la tabla 10 refleja los resultados del análisis en laboratorio en cuanto al parámetro de Coliformes Fecales en el afluente y efluente de las aguas residuales tratadas mediante el biorreactor de membrana Cumani UMSR 2023.



**Figura 08:** Resultados de coliformes fecales del afluente y efluente correspondiente a las tres muestras.

La figura 08 están referidas a mostrar los resultados del control de coliformes fecales en el afluente y el efluente de las aguas residuales tratadas mediante el biorreactor de membrana en la planta de tratamiento de Cumani UMSR 2023.

En la prueba de noviembre 2023 sobre los coliformes fecales efectuada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 230000 NMP/100 mL y en el efluente el resultado fue 18 NMP/100 mL el efecto fue de 229982 NMP/100 mL estando el valor dentro del rango de los límites máximos permisibles de 10000 NMP/100 mL. En cual cumple por mucho con lo establecido en el D.S. 003-2010-MINAM.

Sobre la prueba de diciembre 2023 sobre los coliformes fecales plasmada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 220000 NMP/100 mL y en el efluente fue 17 NMP/100 mL el efecto fue de 219983 cumpliendo por mucho con los límites máximos permisibles.

La prueba de enero 2024 dio como resultado en el afluente fue 240000 NMP/100 mL y en el efluente fue 16 NMP/100 mL el efecto fue de 239984 NMP/100 mL esto nos indica que también se cumplió con los límites máximos permisibles del D.S. 003-2010-MINAM los

resultados anteriormente mencionados dan indicios suficientes de la importancia de los biorreactores de membrana en el tratamiento de las aguas residuales.

En el trabajo de Andrade (2020) quien registra los siguientes resultados de coliformes fecales en el efluente muestreado en octubre fue de 11000 NMP/100 mL esto significa que no cumple con los LMP para efluentes de PTAR de 10000 NMP/100 mL; y para el mes de noviembre dio un valor de 2300 NMP/100 mL esto significa que si cumple con los LMP para el efluente muestreado en el mes de noviembre.

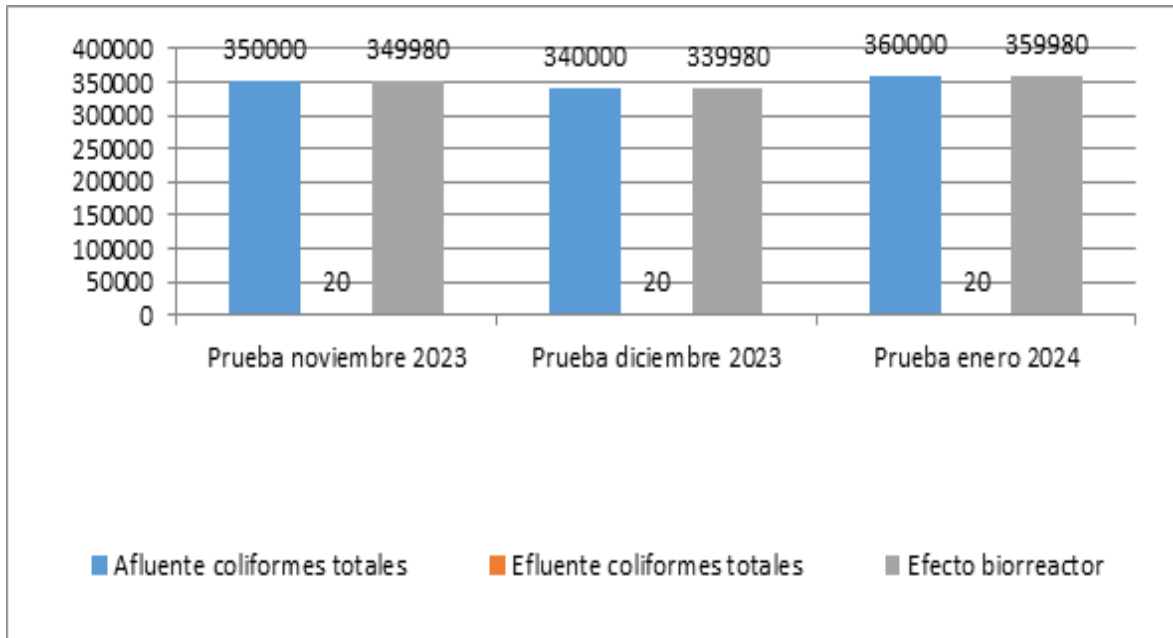
Otro resultados de Briones (2019) en cuanto a coliformes totales, fecales y E. coli del efluente los cuales presentan valores entre 130 000 a 35 000 000 en NMP/100 mL, los cuales superan los límites máximos permisibles de la normativa nacional peruana que establecen un valor máximo de 10 000 NMP/ 100 mL, esto indica que el agua del efluente no es apta para vertimiento a un cuerpo receptor.

#### **4.1.8. ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE COLIFORMES TOTALES EN EL AFLUENTE Y EFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS MEDIANTE EL BIORREACTOR DE MEMBRANA CUMANI UMSR 2023.**

**Tabla 11:** Resultados de coliformes totales del afluente y efluente correspondiente a las tres muestras comparados con límites máximos permisibles (LMP).

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Resultado Afluente</b>	<b>Resultado Efluente</b>	<b>Efecto</b>	<b>LMP</b>	<b>Valor Nominal</b>
Coliformes Totales noviembre 2023	NMP/100 mL	350000	20	34980	10000	Cumple
Coliformes Totales diciembre 2023	NMP/100 mL	340000	20	34980	10000	Cumple
Coliformes Totales enero 2024	NMP/100 mL	360000	20	34980	10000	Cumple

Según la tabla 11 refleja los resultados del análisis en laboratorio en cuanto al parámetro de Coliformes Totales en el afluente y efluente de las aguas residuales tratadas mediante el biorreactor de membrana Cumani UMSR 2023.



**Figura 09:** Resultados de coliformes totales del afluente y efluente correspondiente a las tres muestras.

La figura 09 muestra los resultados del control de coliformes totales en el afluente y el efluente de las aguas residuales tratadas mediante el biorreactor de membrana en la planta de tratamiento de Cumani UMSR 2023.

En la prueba de noviembre 2023 sobre los coliformes totales efectuada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 350000 NMP/100 mL y en el efluente el resultado fue 20 NMP/100 mL el efecto fue de 349980 NMP/100 mL, cumpliendo con los límites máximos permisibles.

Sobre la prueba de diciembre 2023 sobre los coliformes plasmada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 340000 NMP/100 mL y en el efluente la derivación fue 20 NMP/100mL el efecto fue de 339980 siendo el valor permisible de 10000 NMP/100 mL. Entonces se encuentra dentro del rango de los límites máximos permisibles.



Realizada la prueba de enero 2024 sobre los coliformes totales ejecutada en la planta de tratamiento Cumani el resultado en el afluente fue 360000 NMP/100 mL y en el efluente la consecuencia fue 20 NMP/100 mL el efecto fue de 359980 NMP/100 mL por lo tanto mediante el método comparativo se determina que estos resultados no superan los límites máximos permisibles (LMP) de la normatividad nacional que especifica un valor máximo de 10000 NMP/100 mL.

En el trabajo de Briones (2019) los resultados de las cuatro muestras de coliformes totales en NMP/100mL que en el afluente oscilan entre 35 000 000 y 92 000 000 y en el efluente se encuentran entre 350 000 a 35 000 000 estos resultados superan los límites máximos permisibles (LMP) de la normatividad nacional que especifica un valor máximo de 10000 NMP/100 mL.

## CONCLUSIONES

**Primera:** A la evaluación realizada a los biorreactores de membrana de la planta de tratamientos de aguas residuales de la Unidad Minera San Rafael se establece que es eficiente, los resultados obtenidos en el monitoreo están muy por debajo y cumplen con los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales por lo tanto la hipótesis planteada queda rechazada.

**Segunda:** Se ha determinado que el biorreactor de membrana si representa una alternativa de solución de contaminantes esto contribuye a obtener agua tratada de alta calidad que incluso puede ser reutilizada cumpliendo con los límites máximos permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales de la Unidad Minera San Rafael.

**Tercera:** La evaluación realizada ha determinado que los biorreactores de membrana ofrecen una mejor ventaja en el tratamiento de aguas residuales de la Unidad Minera San Rafael con respecto a otras tecnologías por los resultados obtenidos en el monitoreo de los parámetros evaluados en el afluente como pH, Temperatura, aceites y grasas, DBO, DQO, sólidos totales en suspensión, coliformes fecales, coliformes termotolerantes los cuales están muy por debajo y cumplen con los Límites Máximos Permisibles para efluentes de PTAR establecidos por el D.S.003-2010-MINAM.

**Cuarta:** Se ha determinado que la planta de tratamiento de aguas residuales si se encuentra operando, teniendo buenas instalaciones para realizar un buen proceso de depuración de contaminantes fisicoquímicos y microorganismos del efluente siendo los resultados promedios: pH con un valor promedio 7.76, temperatura con un valor promedio

13.53 °C, aceites y grasas con un valor promedio 1.56 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) con un valor promedio de 20 mg/L, Demanda Química de Oxígeno con un valor promedio 17.6 mg/L, Sólidos Suspendidos Totales con un valor promedio 5.33 mL/L, Coliformes Fecales con un valor promedio 17 NMP/100 mL y Coliformes Totales con un valor promedio 20 NMP/100 mL cumpliendo con los Límites Máximos Permisibles de acuerdo a esta investigación.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Al Ministerio del Ambiente promover, capacitar y desarrollar el uso de nuevas tecnologías en el tratamiento de aguas residuales para disminuir las fuentes de contaminación y fortalecer el reuso seguro y productivo de aguas residuales.

**SEGUNDA:** A la Unidad Minera San Rafael realizar una caracterización del agua residual en el afluente teniendo un mayor control en los comedores con los aceites y grasas un ingreso alto de este parámetro perjudica la vida útil de los equipos y sobre todo de las membranas.

**TERCERA:** A los lodos generados en la planta de tratamiento darle un uso adecuado buscando alternativas a evaluar buscando su aprovechamiento, tanto en la agricultura como en la generación de energía, entre otros posibles aprovechamientos e investigaciones de los beneficios que estos generarían.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANA. (2016). R.J. 136-2018-ANA.pdf.
- Andrade, R. (2020). Evaluación de la eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales distrito de Macusani, región Puno – 2020
- Briones, L. (2019). Eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales en la remoción de coliformes totales, fecales y escherichia coli, en CELENDÍN-CAJAMARCA.  
[<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3459/TESIS%20LENIN%20BRIONES%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>]
- Caro, R. (2018). Estudio de aplicación de Biorreactores de Membrana (MBR) en la depuración de las aguas residuales. 58.  
<https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/16511/Proyecto%20fin%20de%20M%C3%A1ster%20GIA%202010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carrera Rodríguez, J. P. (2021). Diseño, construcción y modelación de un reactor biológico de membranas MBR a escala piloto para la evaluación del tratamiento de aguas residuales de una industria farmacéutica.  
[https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2898&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2898&context=ing_ambiental_sanitaria)
- Celis Rodríguez, M. de. (2023). Poblaciones e interacciones microbianas en biorreactores de membranas (MBR): Desarrollo de herramientas biológicas para el control del bioensuciamiento en sistemas de depuración de aguas residuales.  
<https://hdl.handle.net/20.500.14352/87814>
- Chávez-Lizárraga, G. A. (2018). Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales: Avances, Ventajas y Desventajas..  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2072-92942018000100005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2072-92942018000100005&script=sci_arttext)
- Cruz Ortiz, K. L. (2019). Efectividad de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales en la remoción de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos

antes del vertido al río huallaga, en la localidad de pacaypampa, distrito de santa maría del valle, huánuco, junio - setiembre 2018

Díaz, O., González, E., Rodríguez-Sevilla, J., & Vera, L. (2019). Modo de operación basado en el control dinámico del ensuciamiento: Optimización de un biorreactor de membrana. *Afinidad. Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry*, 76(586), Article 586. <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/359036>

Granados, M. G. F., Rodríguez, G. C., & Sanchez, G. G. (2019). Comparación de un biorreactor con membranas sumergidas con un sistema convencional de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35, 57-64.

Haza, U. J., & Hernández, Y. G. (2022). Tendencias en la modelación matemática de biorreactores con membranas sumergidas para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.22206/cac.2022.v5i1.pp53-83>

Iglesias, R., Ortega, E., Martínez, M., Simón, P., Moragas, L., García, E., & Robusté, J. (2018). Avances en el diseño y la operación de los biorreactores de membrana: La experiencia española. 2018, 168, 11. [https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua\\_articulo/Ingcivil/P-021-031\\_1.pdf](https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo/Ingcivil/P-021-031_1.pdf)

Jerez, C. (2019). Diseño de un biorreactor de membranas con carbón activo para reducir el ensuciamiento de las membranas causado por las sustancias poliméricas extracelulares. [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/76813/TFG>

La Iglesia, J. (2018). Fundamentos lodos activos y tipos de reactores.

Lara, J. (2022). Eliminación de nutrientes mediante procesos de membrana. Tesis de Posgrado. Universidad Politécnica de Madrid.

Lopez, R., & Herrera, K. (2019). Planta de Tratamiento de aguas residuales para reuso en

riego de parques y jardines en el distrito de la Esperanza, provincia Trujillo. La Libertad. [Tesis de Pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego]. [https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/1981/1/REP\\_ING.CIVIL\\_R ODRIGO.LOPEZ\\_KATHLEEN.HERRERA\\_PLANTA.TRATAMIENTO.AGUAS.RESI DUALES.REUSO.RIEGO.PARQUES.JARDINES.DISTRITO.LA.ESPERANZA.TR UJILLO.LA.LIBERTAD.pdf](https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/1981/1/REP_ING.CIVIL_R ODRIGO.LOPEZ_KATHLEEN.HERRERA_PLANTA.TRATAMIENTO.AGUAS.RESI DUALES.REUSO.RIEGO.PARQUES.JARDINES.DISTRITO.LA.ESPERANZA.TR UJILLO.LA.LIBERTAD.pdf)

López Ramírez, M. Á., Castellanos Onorio, O. P., Lango Reynoso, F., Castañeda Chávez, M. del R., Montoya Mendoza, J., Sosa Villalobos, C. A., & Ortiz Muñiz, B. (2021). Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. Una revisión. *Enfoque UTE*, 12(4), 76-87. [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S1390-65422021000400076&script=s ci\\_arttext](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S1390-65422021000400076&script=s ci_arttext)

Maguiña, P. (2020). POLÍTICA AMBIENTAL UNIDAD MINERA «SAN RAFAEL» INFORME MENSUAL MEDIO AMBIENTE (Mensual 09; p. 25).

Mamani Ccama, N. T., & Chavez Molina, R. D. (2018). Evaluación de la remoción de materia orgánica a través de un sistema aerobio con microorganismos eficientes (EM) en aguas residuales domésticas—Puno, 2018 [Universidad Peruana Union]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1665>

Membrillo Paredes, J. A. (2022). Determinación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la Planta Cumani—Antauta septiembre 2019 [Universidad Privada San Carlos]. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC S.A.C./155>

Mendes, L. (2019). Tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación acoplada a un MBR para minimizar el ensuciamiento de la membrana y obtener efluentes de alta calidad [Info:eu-repo/semantics/doctoralThesis, Universitat d'Alacant-Universidad de Alicante]. <http://hdl.handle.net/10045/90307>

MINAM. (2010). Ds 003-2010-minam.pdf. -minam.pdf

MINSUR. (2020). Memoria-Anual-2022-Minsur.pdf.

- <https://www.minsur.com/wp-content/uploads/2023/06/Memoria-Anual-2022-Minsur.pdf>
- Neira, T. R. (2017). "Acondicionamiento de una planta piloto tipo biorreactor de membranas con efluentes papeleros" [UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO]. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/3500>
- Novoa Mauricio, D. L. (2023). Aprovechamiento de aguas residuales procedentes de una PTAR para la obtención de agua de riego mediante tecnologías de membranas [Universidad Nacional de Trujillo]. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/19870>
- Ocampo, M. (2018). Tratamiento de aguas residuales de una industria farmacéutica en biorreactores aerobios con membranas sumergidas con y sin pretratamiento anaeróbico. Tesis de Posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México. <http://132.248.9.195/ptd2014/enero/0707595/0707595.pdf>
- OEFA. (2014). [Www.oefa.gob.pe.pdf](http://www.oefa.gob.pe). [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)
- Pichardo, C. (2019). Evaluación técnica y social de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Huaribamba [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana los Andes]. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/1360>
- Proschle Salazar, F. A. (2017). Cálculo del consumo máximo de oxígeno diario del reactor biológico de un sistema de tratamiento de lodos activados. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/150346>
- Romero Rojas, J. A. (2018). Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. Escuela Colombiana de Ingeniería. <https://biblioteca.uazuay.edu.ec/buscar/item/84760>
- Rosero, K. M., Fernández, L., Ayala, C. V., & Montero, P. J. E. (2019). Humedales artificiales y celdas de combustibles microbianas como sistemas individuales y combinados para el tratamiento de aguas residuales: Una revisión. *infoANALÍTICA*, 7(2), 15-37. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7113298>
- Sadhwani, J., & Río-Gamero, B. (2018). Sostenibilidad hídrica y ambiental en la



eliminación de contaminantes emergentes mediante tecnologías de membrana.  
22.

Satalaya, K. (2015). Evaluación de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas en las lagunas de estabilización de la ciudad de Uchiza. Universidad nacional agraria de la selva. <https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1042/CSA2015003.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Torres Bernal, C. A. (2006). Metodología de la investigación. CDMX, México, DF: Editorial Pearson Educación de México SA de CV.

Trujillo, M., & Valdez, N. (2019). El uso de biorreactores desechables en la industria biofarmacéutica y su implicaciones en la ingeniería. 76, 10. <https://www.redalyc.org/pdf/496/49612069027.pdf>

Tutaya Huaman, H. (2022). Mejoramiento del Efluente de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con Implementación de Biorreactor de Membrana – Provincia de Junín Universidad Peruana los Andes. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/4854>

Vargas, L. (2018). Tratamiento de aguas residuales domésticas con un biorreactor de membrana inmersa. <http://hdl.handle.net/1992/9817>

## ANEXOS

**Anexo 01:** Matriz de consistencia.

**EFICIENCIA DE BIORREACTORES DE MEMBRANA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES - CUMANI DE LA UNIDAD MINERA "SAN RAFAEL" 2023.**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
<p><b>GENERAL</b></p> <p>¿Cuál es la eficiencia de los biorreactores de membrana en la planta de tratamiento de aguas residuales - CUMANI de la Unidad Minera San Rafael 2023.?</p>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>Evaluar la eficiencia de los biorreactores de membrana en la planta de tratamiento de aguas residuales - CUMANI de la Unidad Minera San Rafael 2023.</p>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>Los biorreactores de membrana en la planta de tratamiento de aguas residuales CUMANI, no son eficientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la Unidad Minera San Rafael 2023</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p> <p>Eficiencia de los biorreactores de membrana</p> <p><b>Variable dependiente</b></p> <p>Tratamiento de aguas residuales - CUMANI, dimensiones, control Afluente, control efluente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH</li> <li>• Temperatura</li> <li>• Sólidos Totales en Suspensión</li> <li>• Aceites y Grasas.</li> <li>• Coliformes Termotolerantes</li> <li>• Demanda Bioquímica de Oxígeno</li> </ul>	<p><b>Técnica:</b></p> <p>Guía de observación</p> <p><b>Instrumentos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.)</li> <li>• Estándares de Calidad Ambiental (Decreto Supremo N° 004-2017).</li> </ul>	<p><b>Tipo de investigación:</b></p> <p>Descriptivo correlacional</p> <p><b>Diseño de investigación</b></p> <p>No experimental descriptivo correlacional.</p> <p><b>Técnicas de recolección de datos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Observación directa</li> </ul>
<p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>¿En qué medida los biorreactores de membrana representan una alternativa potencial de solución en la planta de tratamiento de aguas residuales - CUMANI de la unidad</p>	<p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>Determinar si los biorreactores de membrana representan una alternativa potencial de solución de contaminantes en la planta de tratamiento de aguas residuales -</p>	<p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>El biorreactor de membrana no representa una alternativa potencial de solución que contribuya con la descontaminación de agua residual en la</p>				

<p>minera San Rafael 2023.?</p> <p>¿Cuál es la ventaja que ofrecen los biorreactores de membrana con respecto a otras tecnologías el cual permite obtener agua tratada que cumpla con los límites máximos permisibles en la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la Unidad Minera "San Rafael" 2023.?</p>	<p>Cumani de la Unidad Minera San Rafael 2023.</p> <p>Evaluar las ventajas que ofrecen los biorreactores de membrana con respecto a otras tecnologías el cual permite obtener agua tratada que cumplan con los límites máximos permisibles en la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la Unidad Minera San Rafael 2023.</p>	<p>planta de tratamiento de la Unidad Minera San Rafael 2023.</p> <p>El biorreactor de membrana no ofrece un resultado positivo con respecto a otras tecnologías en las cuales se podría obtener agua tratada que cumplan con los límites máximos permisibles en la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la Unidad Minera San Rafael 2023.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Demanda Química Oxígeno.</b></li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Registro de datos.</b></li> <li>• <b>Análisis en laboratorio.</b></li> <li>• <b>Fichas de recolección.</b></li> </ul>
<p>¿Como la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la Unidad Minera San Rafael se encuentra operando de la mejor manera para realizar un buen proceso de depuración de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos del efluente?</p>	<p>Determinar si la planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la Unidad Minera "San Rafael" se encuentra operando de la mejor manera para realizar un buen proceso de depuración de contaminantes físico químicos y microbiológicos en el efluente.</p>	<p>La planta de tratamiento de aguas residuales - Cumani de la Unidad Minera "San Rafael" no se encuentra operando de la mejor manera esto hace que no se pueda realizar un buen proceso de depuración de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos en el efluente.</p>				

**Anexo 02:** Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10.000
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

**Fuente:** D.S. 003-2010-MINAM

**Anexo 03:** Informe de ensayo por parte de ALS del afluente y efluente de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael del mes de noviembre del 2023.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-028



FDT 001 - 01

## INFORME DE ENSAYO: 70479/2023

### MINSUR S.A.

Jr. Giovanni Batista Lorenzo Bernini Nro. 149 Int. 501A Urb. San Borja San Borja Lima Lima

### Monitoreo de Calidad de Agua Residual Doméstica

Emitido por: Doris Quicara Choquepiunta - Griselda Cusi Coaquira - Miguel Mamani Huamani

Fecha de Emisión: 16/12/2023

  
Doris Quicara Choquepiunta  
CQP: 790

Personal Signatario - Químico

  
Griselda Cusi Coaquira  
CBP: 9800

Personal Signatario - Microbiológico

  
Miguel Mamani Huamani  
CQP: 852

Personal Signatario - Químico



Renovación de Acreditación a ALS LS Perú S.A.C. mediante registro LE-028  
División - Medio Ambiente

Pág. 1 de 5


Perú: 11  
Fecha de Emisión: 16/12/2023

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500  
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570  
[www.alsglobal.com](http://www.alsglobal.com)


**Anexo 04:** Resultados de muestreo de parámetros fisicoquímicos del afluente y efluente de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael , evaluados el mes de noviembre del 2023 por el laboratorio ALS, certificado por INACAL.

		LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-829					
							PDT 001 - 02
<b>INFORME DE ENSAYO: 70479/2023</b>							
<b>RESULTADOS ANALITICOS</b>							
Muestras del Item: 6							
NY ALS LS Fecha de Muestra: 18/11/2023 Hora de Muestra: 09:30:00 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica Identificación: R-2							E0111/2023-1.0 18/11/2023 09:30:00 Agua Residual Doméstica R-2
Parámetro	Ref. Mts.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado	Incertidumbre (%)
<b>001 ENSAYOS DE CAMPO</b>							
Caudal [L/s]*	1772	18/11/2023	L/s	—	—	1.408	4.25-2
Densidad Residual Libre	1829	18/11/2023	mg/L	0.02	0.06	1.10	6.75-2
Conductividad	1825	18/11/2023	uS/cm	—	—	210.00	2.00+0
Oxígeno Disuelto	20542	18/11/2023	mg/L	0.05	0.12	3.19	3.15-2
pH	1880	18/11/2023	Unidad de pH	—	—	7.70	4.00-2
Temperatura de la Muestra	1866	18/11/2023	°C	—	—	11.8	2.00-1
Turbidez [Campo]	1845	18/11/2023	UNT	0.08	0.20	4.00	1.00-1
<b>002 ENSAYOS FISICOQUIMICOS</b>							
Acidez y Grasas	20492	16/11/2023	mg/L	0.100	0.400	3.80	1.15-1
Demanda Biológica de Oxígeno (BOD5)	1828	19/11/2023	mg/L	2	5	< 2	NI
Demanda Química de Oxígeno	17486	17/11/2023	mg O2/L	2	5	22	2.25+1
Sólidos Suspendedos Totales	20524	17/11/2023	mg/L	1	5	1	5.00-1
<b>003 ENSAYOS DE METALOS - Metales Totales por ICP MS</b>							
Plata (Ag)	20227	12/11/2023	mg/L	0.0008	0.0016	< 0.0008	NI
Aluminio (Al)	20227	12/11/2023	mg/L	0.001	0.011	0.064	2.25-2
Antimonio (As)	20227	12/11/2023	mg/L	0.0001	0.0006	0.0171	2.15-2
Boro (B)	20227	12/11/2023	mg/L	0.001	0.012	0.023	1.25-2
Bario (Ba)	20227	12/11/2023	mg/L	0.0005	0.0014	0.0204	1.95-2
Berilio (Be)	20227	12/11/2023	mg/L	0.0001	0.0004	< 0.0001	NI
Bismuto (Bi)	20227	12/11/2023	mg/L	0.0001	0.0004	< 0.0001	NI
Calcio (Ca)	20227	12/11/2023	mg/L	0.20	0.25	28.46	1.00+0
Cadmio (Cd)	20227	12/11/2023	mg/L	0.0005	0.0015	< 0.0005	NI
Cobalto (Co)	20227	12/11/2023	mg/L	0.0002	0.0004	0.0011	5.45-4
Cromo (Cr)	20227	12/11/2023	mg/L	0.0007	0.0012	< 0.0007	NI
Cobre (Cu)	20227	12/11/2023	mg/L	0.0001	0.0009	0.0027	9.75-4
Hierro (Fe)	20227	12/11/2023	mg/L	0.014	0.048	0.154	5.45-2
Mercurio (Hg)	20227	12/11/2023	mg/L	0.00005	0.00010	< 0.00005	NI
Potasio (K)	20227	12/11/2023	mg/L	0.01	0.05	6.42	4.45-1
Litio (Li)	20227	12/11/2023	mg/L	0.0007	0.0013	0.0127	1.65-2
Magnesio (Mg)	20227	12/11/2023	mg/L	0.002	0.012	1.188	8.45-2
Manganeso (Mn)	20227	12/11/2023	mg/L	0.0002	0.0005	0.1988	5.95-2
Niobio (Nb)	20227	12/11/2023	mg/L	0.0001	0.0004	< 0.0001	NI
Sodio (Na)	20227	12/11/2023	mg/L	0.01	0.02	25.29	1.05+0
Niquel (Ni)	20227	12/11/2023	mg/L	0.0001	0.0004	0.0048	1.15-2
Fósforo (P)	20227	12/11/2023	mg/L	0.05	0.12	1.07	3.25-1
Plomo (Pb)	20227	12/11/2023	mg/L	0.0002	0.0004	< 0.0002	NI
Antimonio (Sb)	20227	12/11/2023	mg/L	0.0001	0.0004	0.0026	4.55-4
Selenio (Se)	20227	12/11/2023	mg/L	0.0005	0.0014	< 0.0005	NI
Silicio (Si)	20227	12/11/2023	mg/L	0.20	0.29	3.50	6.75-1
Sulfato (SO4)	20227	12/11/2023	mg/L	0.0001	0.0005	< 0.0001	NI
Stroncio (Sr)	20227	12/11/2023	mg/L	0.00020	0.00048	0.01600	7.15-4

**Anexo 05:** Resultados de muestreo de parámetros microbiológicos del afluente y efluente de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael, evaluados en el mes de noviembre por el laboratorio ALS, certificado por INACAL.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-029



FDT 001 - 02

## INFORME DE ENSAYO: 70479/2023

N° ALS LS						60479/2023-1.0	
Fecha de Muestreo						18/11/2023	
Hora de Muestreo						09:30:00	
Tipo de Muestra						Agua Residual Doméstica	
Identificación						8-2	
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado	Incertidumbre (+/-)
Titanio (Ti)	20237	23/11/2023	mg/L	0,0005	0,0013	0,0018	1,4E-1
Talio (Tl)	20237	23/11/2023	mg/L	0,0002	0,0004	< 0,0002	NE
Uranio (U)	20237	23/11/2023	mg/L	0,0002	0,0004	< 0,0002	NE
Vanadio (V)	20237	23/11/2023	mg/L	0,0002	0,0004	< 0,0002	NE
Zinc (Zn)	20237	23/11/2023	mg/L	0,008	0,020	0,046	2,4E-1

N° ALS LS						60479/2023-1.0	
Fecha de Muestreo						18/11/2023	
Hora de Muestreo						09:30:00	
Tipo de Muestra						Agua Residual Doméstica	
Identificación						8-2	
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado	Rango Resultados (Aplicando Incert.)
<b>015 ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS</b>							
Coliformes Fecales	BB25	19/11/2023	NMP/100mL	1,8	—	< 1,8	NA
Coliformes Totales	BB18	19/11/2023	NMP/100mL	1,8	—	< 1,8	NA
<b>016 ENSAYOS HIPOBIOLÓGICOS</b>							
Organismos de Vida Libre, Nematodos*	18597	27/11/2023	N° Organismo/L	1	1	3	NC

**Observaciones**

- (\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- LD: Límite de detección.
- LQ: Límite de cuantificación.
- Los resultados que se encuentren por debajo del Límite de Cuantificación, no aplican para comparativos de consistencia.
- Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos en campo realizados por ALS LS Perú S.A.C., se refiere a las fechas indicadas como fecha de muestreo. No Aplica para datos proporcionados por el cliente.
- Ref. Mét.: Código interno que referencia a la metodología de análisis.
- En relación a la estimación de incertidumbre:
  - +/-: Símbolo que denota la definición del intervalo de confianza en el cual se encuentra inmerso el valor reportado.
  - Valores de incertidumbre altos respecto al valor reportado, se dan para concentraciones cuyo orden de magnitud es próximo al límite de cuantificación.
  - Si el valor de incertidumbre es expresado como:
    - NE = No estimable, para concentraciones menores al límite de cuantificación/mayores al rango máximo de trabajo, en los cuales no se puede asegurar la exactitud.
    - NA = No Aplica, Para los ensayos microbiológicos clasificados como: categoría I (Número más probable (NMP)) y de detección (Cualitativos); no aplica incertidumbre de acuerdo a directriz (DA-acr - 09D). Además para los resultados de ensayos cualitativos y obtenidos a partir de diferencias o divisiones no se aplica la estimación de incertidumbre debido a que no cuentan con un modelo matemático donde se especifique los factores que influyen para la obtención de resultados.
    - NC = No Calculado, el laboratorio no ha determinado la incertidumbre de la medición.



**Anexo 06:** Informe de ensayo por parte de ALS del afluente y efluente de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael del mes de diciembre del 2023.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-029



FDT 001 - 01

## INFORME DE ENSAYO: 74566/2023

### MINSUR S.A.

Jr. Giovanni Batista Lorenzo Bernini Nro. 149 Int. 501A Urb. San Borja San Borja Lima Lima

### Monitoreo de Calidad de Agua Residual Doméstica

Emitido por: Doris Quicará Choquepiunta - Griselda Cusi Coaquira - Miguel Mamani Huamani

Fecha de Emisión: 19/12/2023

  
Doris Quicará Choquepiunta  
CQP: 790

Personal Signatario - Químico

  
Griselda Cusi Coaquira  
CBP: 9800

Personal Signatario - Microbiológico

  
Miguel Mamani Huamani  
CQP: 852

Personal Signatario - Químico

Renovación de Acreditación a ALS LS Perú S.A.C. mediante registro LE-029  
División - Medio Ambiente

Pág. 1 de 6

Formulario 01  
Fecha de Revisión: 24/08/2022

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500  
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570  
[www.alsglobal.com](http://www.alsglobal.com)

**Anexo 07:** Resultados de muestreo de parámetros fisicoquímicos del afluente y efluente de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael , evaluados el mes de diciembre del 2023 por el laboratorio ALS, certificado por INACAL.

RESULTADOS ANALITICOS							
Muestras del ítem: 5							
N° ALS LS						670817/2023-1.0	
Fecha de Muestreo						06/12/2023	
Hora de Muestreo						13:00:00	
Tipo de Muestra						Agua Residual Doméstica	
Identificación						R-1	
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado	Incertidumbre (+/-)
<b>002 ENSAYOS EN CAMPO</b>							
Caudal (L/s)*	1772	06/12/2023	L/s	---	---	1,333	4,20E-02
Conductividad	1825	06/12/2023	uS/cm	---	---	514,00	3,2E+0
Oxígeno Disuelto	20592	06/12/2023	mg/L	0,05	0,13	4,58	2,6E-2
pH	1840	06/12/2023	Unidad de pH	---	---	8,00	4,0E-2
Temperatura de la Muestra	1844	06/12/2023	°C	---	---	14,9	2,0E-1
<b>003 ENSAYOS FISICOQUÍMICOS</b>							
Aceites y Grasas	20493	10/12/2023	mg/L	0,100	0,400	45,25	1,3E+0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	1828	07/12/2023	mg/L	2	5	214	5,1E+0
Demanda Química de Oxígeno	12336	12/12/2023	mg O2/L	2	5	463	9,9E+1
Sólidos Suspendidos Totales	20513	06/12/2023	mg/L	3	5	163	9,7E+0
<b>007 ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por ICP MS</b>							
Plata (Ag)	20237	09/12/2023	mg/L	0,00008	0,00030	< 0,00008	NE
Aluminio (Al)	20237	09/12/2023	mg/L	0,003	0,011	4,068	3,1E-1
Arsénico (As)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0001	0,0006	0,1005	6,1E-3
Boro (B)	20237	09/12/2023	mg/L	0,003	0,012	0,053	1,7E-2
Bario (Ba)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0006	0,0014	0,0248	4,7E-3
Berilio (Be)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0002	0,0004	0,0005	4,3E-4
Bismuto (Bi)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0002	0,0004	0,0067	1,6E-3
Calcio (Ca)	20237	09/12/2023	mg/L	0,10	0,25	11,79	8,2E-1
Cadmio (Cd)	20237	09/12/2023	mg/L	0,00010	0,00025	0,00189	6,2E-4
Cobalto (Co)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0002	0,0004	0,0084	2,0E-3
Cromo (Cr)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0007	0,0012	0,0041	1,3E-3
Cobre (Cu)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0003	0,0009	0,2465	4,7E-3
Hierro (Fe)	20237	09/12/2023	mg/L	0,016	0,048	6,897	5,0E-1
Mercurio (Hg)	20237	09/12/2023	mg/L	0,00005	0,00010	< 0,00005	NE
Potasio (K)	20237	09/12/2023	mg/L	0,02	0,05	17,07	7,8E-1
Litio (Li)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0007	0,0013	0,0462	5,5E-3
Magnesio (Mg)	20237	09/12/2023	mg/L	0,002	0,012	3,480	2,1E-1
Manganeso (Mn)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0002	0,0005	0,5122	2,9E-2
Molibdeno (Mo)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0002	0,0004	0,0008	5,4E-4
Sodio (Na)	20237	09/12/2023	mg/L	0,01	0,02	50,34	1,9E+0
Níquel (Ni)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0002	0,0004	0,0181	2,8E-3
Fósforo (P)	20237	09/12/2023	mg/L	0,05	0,13	5,65	6,8E-1
Plomo (Pb)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0002	0,0004	0,0330	4,7E-3
Antimonio (Sb)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0002	0,0004	0,0027	9,6E-4
Selenio (Se)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0006	0,0014	< 0,0006	NE
Silicio (Si)	20237	09/12/2023	mg/L	0,10	0,39	6,90	5,8E-1
Estaño (Sn)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0002	0,0005	0,0022	9,0E-4
Estroncio (Sr)	20237	09/12/2023	mg/L	0,00020	0,00049	0,02560	8,9E-4
Titanio (Ti)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0005	0,0013	0,0433	1,2E-2
Talio (Tl)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0002	0,0004	< 0,0002	NE

**Anexo 08:** Resultados de muestreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael , evaluados el mes de diciembre del 2023 por el laboratorio ALS, certificado por INACAL.

Nº ALS LS							670817/2023-1.0
Fecha de Muestreo							06/12/2023
Hora de Muestreo							13:00:00
Tipo de Muestra							Agua Residual Doméstica
Identificación							R-1
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado	Rango Resultados (Aplicando Incert.)
<b>015 ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS</b>							
Coliformes Fecales	8825	07/12/2023	NMP/100mL	1,8	---	23000000	NA
Coliformes Totales	8818	07/12/2023	NMP/100mL	1,8	---	35000000	NA

Muestras del ítem: 6

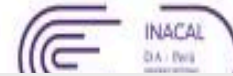
Nº ALS LS							670819/2023-1.0
Fecha de Muestreo							06/12/2023
Hora de Muestreo							11:15:00
Tipo de Muestra							Agua Residual Doméstica
Identificación							R-2
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado	Incertidumbre (+/-)
<b>002 ENSAYOS EN CAMPO</b>							
Caudal (L/s)*	1772	06/12/2023	L/s	---	---	1,708	4,20E-02
Cloro Residual Libre	1823	06/12/2023	mg/L	0,02	0,06	2,80	1,1E-1
Conductividad	1825	06/12/2023	uS/cm	---	---	438,00	2,7E+0
Oxígeno Disuelto	20592	06/12/2023	mg/L	0,05	0,13	6,23	2,8E-2
pH	1840	06/12/2023	Unidad de pH	---	---	7,85	4,0E-2
Temperatura de la Muestra	1844	06/12/2023	°C	---	---	14,0	2,0E-1
Turbidez (Campo)	1845	06/12/2023	UNT	0,08	0,20	4,89	2,1E-1
<b>003 ENSAYOS FÍSICOQUÍMICOS</b>							
Aceites y Grasas	20493	15/12/2023	mg/L	0,100	0,400	0,647	5,6E-2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	1828	07/12/2023	mg/L	2	5	< 2	NE
Demanda Química de Oxígeno	12336	16/12/2023	mg O2/L	2	5	22	2,2E+1
Sólidos Suspendidos Totales	20513	09/12/2023	mg/L	3	5	7	7,1E-1
<b>007 ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por ICP MS</b>							
Plata (Ag)	20237	09/12/2023	mg/L	0,00008	0,00030	< 0,00008	NE
Aluminio (Al)	20237	09/12/2023	mg/L	0,003	0,011	0,052	2,0E-2
Arsénico (As)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0001	0,0006	0,0207	3,2E-3
Boro (B)	20237	09/12/2023	mg/L	0,003	0,012	0,040	1,6E-2
Bario (Ba)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0006	0,0014	0,0024	1,6E-3
Berilio (Be)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0002	0,0004	< 0,0002	NE
Bismuto (Bi)	20237	09/12/2023	mg/L	0,0002	0,0004	< 0,0002	NE
Calcio (Ca)	20237	09/12/2023	mg/L	0,10	0,25	15,96	9,5E-1
Cadmio (Cd)	20237	09/12/2023	mg/L	0,00010	0,00025	< 0,00010	NE

A  
V

**Anexo 09:** Informe de ensayo por parte de ALS del afluente y efluente de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael del mes de enero del 2024.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA



## INFORME DE ENSAYO: 2288/2024

### RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del ítem: 6

Nº ALS LS	18787/2024-1.0						
Fecha de Muestreo	13/01/2024						
Hora de Muestreo	11:40:00						
Tipo de Muestra	Agua Residual Doméstica						
Identificación	R-2						
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado	Incertidumbre (+/-)
<b>002 ENSAYOS EN CAMPO</b>							
Caudal (L/s)*	1772	13/01/2024	L/s	---	---	2,277	4,2E-02
Cloro Residual Libre	1823	13/01/2024	mg/L	0,02	0,06	2,20	1,0E-1
Conductividad	1825	13/01/2024	uS/cm	---	---	595,00	3,7E+0
Oxígeno Disuelto	20592	13/01/2024	mg/L	0,05	0,13	6,23	2,8E-2
pH	1840	13/01/2024	Unidad de pH	---	---	7,74	4,0E-2
Temperatura de la Muestra	1844	13/01/2024	°C	---	---	13,9	2,0E-1
Turbidez (Campo)	1845	13/01/2024	UNT	0,08	0,20	4,84	2,1E-1
<b>003 ENSAYOS FISICOQUÍMICOS</b>							
Aceites y Grasas	20493	23/01/2024	mg/L	0,100	0,400	1,241	7,2E-2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	1828	14/01/2024	mg/L	2	5	< 2	NE
Demanda Química de Oxígeno	12336	22/01/2024	mg O2/L	2	5	9	9,0E+0
Sólidos Suspendidos Totales	20513	16/01/2024	mg/L	3	5	4	NE

Doris Quicará Choquepiunta

CQP: 790

Personal Signatario - Químico

Magaly Huayama Andrade

Personal Signatario - Microbiológico

Edson Flores Canaval

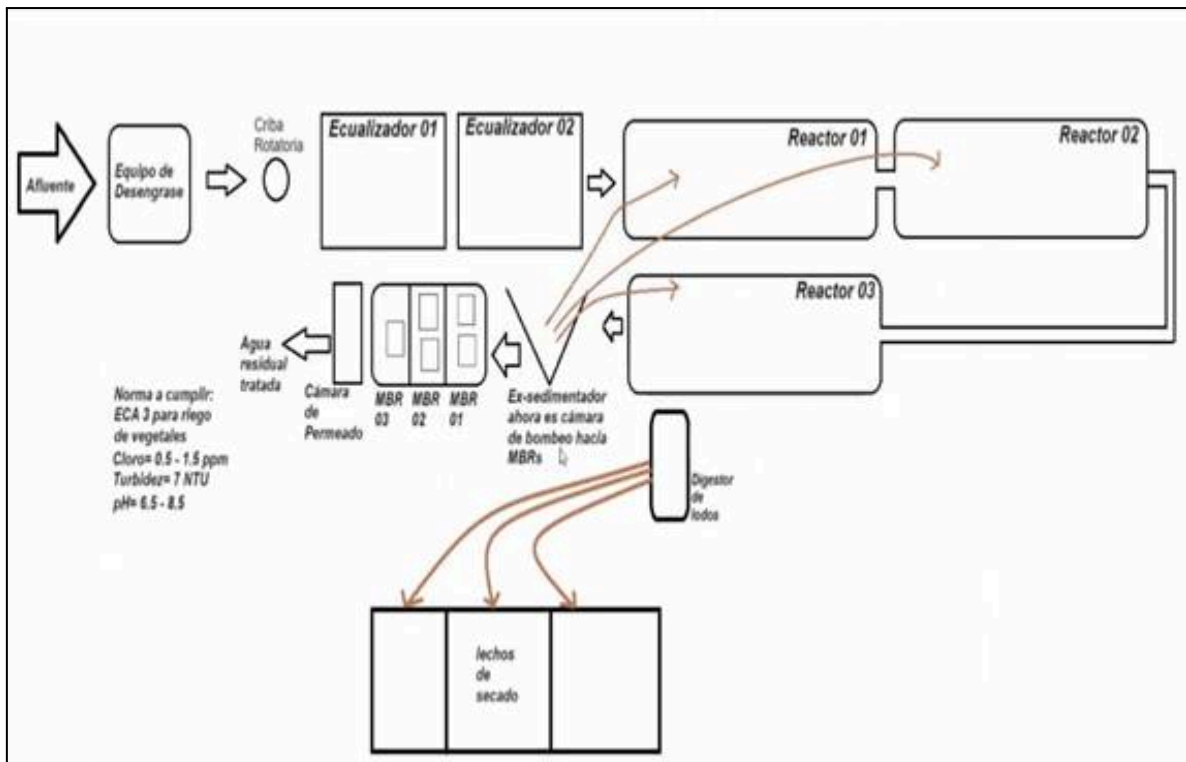
CIP: 184374

Personal Signatario - Ingeniero

**Anexo 10:** Resultados de muestreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael , evaluados el mes de enero del 2024 por el laboratorio ALS, certificado por INACAL.

Nº ALS LS	18787/2024-1.0						
Fecha de Muestreo	13/01/2024						
Hora de Muestreo	11:40:00						
Tipo de Muestra	Agua Residual Doméstica						
Identificación	R-2						
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado	Rango Resultados (Aplicando Incert.)
<b>015 ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS</b>							
Coliformes Fecales	8825	14/01/2024	NMP/100mL	1,8	---	<1,8	NA
Coliformes Totales	8818	14/01/2024	NMP/100mL	1,8	---	<1,8	NA
<b>016 ENSAYOS HIDROBIOLÓGICOS</b>							
Organismos de Vida Libre, Nematodos*	16597	22/01/2024	Nº Organismo/L	1	1	7	NC

**Anexo 11:** Panel fotográfico de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael.



**Figura 10:** Diagrama de flujo de agua residual y distribución de cámaras de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael.



**Figura 11:** Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas San Rafael 2023.



**Figura 12:** Cámara de biorreactores de membrana





**Figura 13:** Lecho de secado donde se evacua el exceso de lodo formado en los reactores.



**Figura 14:** Punto de monitoreo de agua residual afluente R-1.

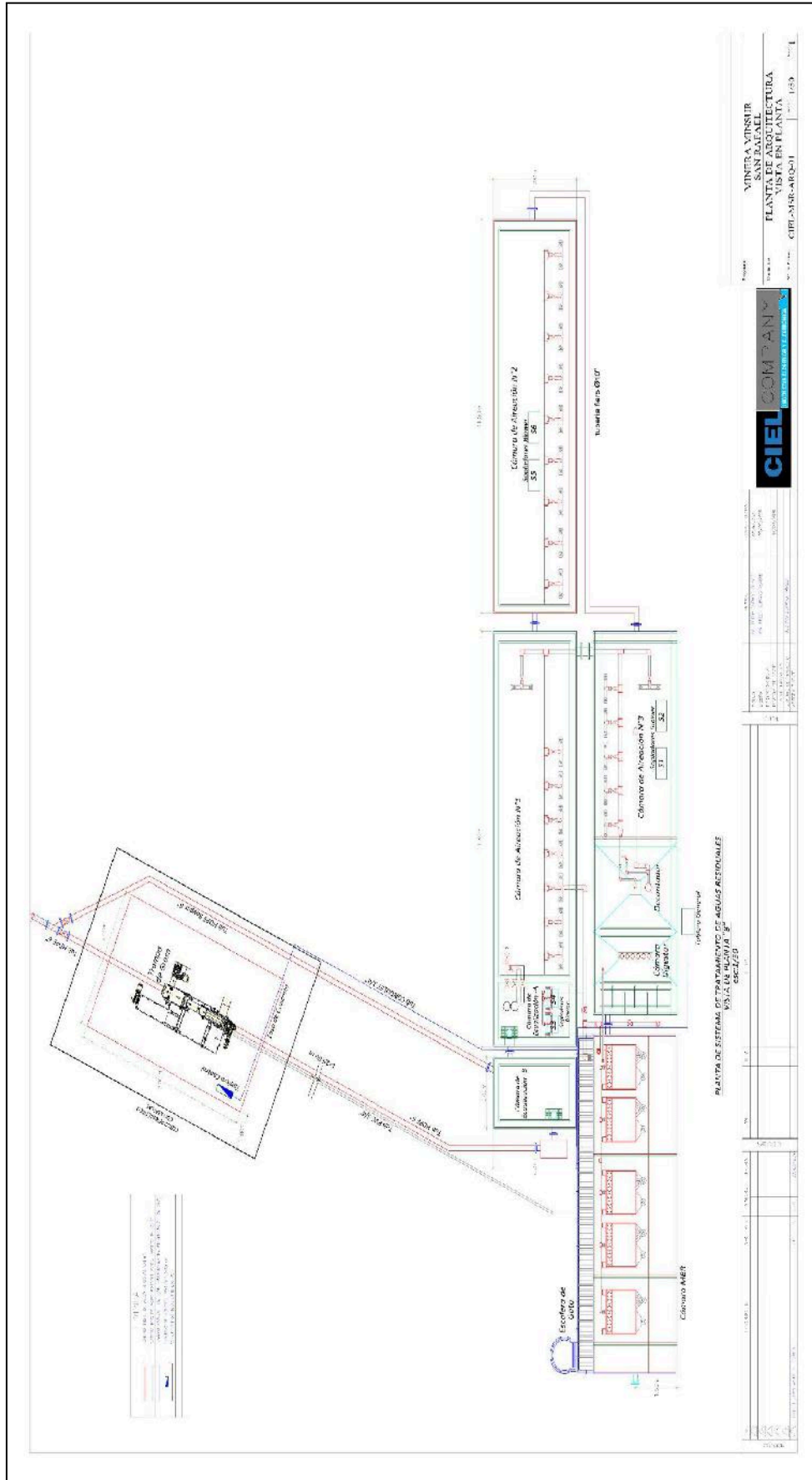


**Figura 15:** Punto de monitoreo de agua Efluente R-2.



**Figura 16:** Afluente de agua tratada.

Anexo 12: Plano de la PTAR de la Unidad Minera San Rafael.



Fuente: Gerencia Unidad Minera San Rafael