



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



EFFECTO DE LOMBRIFILTRO Y LENTEJAS DE AGUA (*Lemna gibba*) ASISTIDO POR MICROORGANISMOS EFICACES PARA LA BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA QUESERA “SAN SANTIAGO” – ACORA

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. CLAUDIA HINDIRA ARUHUANCA ORDOÑEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2024



CLAUDIA HINDIRA ARUHUANCA ORDOÑEZ

EFECTO DE LOMBRIFILTRO Y LENTEJAS DE AGUA (*Lemna gibba*) ASISTIDO POR MICROORGANISMOS EFICACES PARA ...

 Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::8254:415763068

96 Páginas

Fecha de entrega
13 dic 2024, 7:50 a.m. GMT-5

16,882 Palabras

Fecha de descarga
13 dic 2024, 7:53 a.m. GMT-5

95,117 Caracteres

Nombre de archivo
TESIS FINAL CLAUDIA ARUHUANCA ORDOÑEZ.docx

Tamaño de archivo
8.0 MB





17% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 16% Fuentes de Internet
- 4% Publicaciones
- 10% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Dr. German Belizario Quispe
DOCENTE - UNA - PUNO

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

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



D.Sc. ROBERTO VELARDE COAGUIRA
Director Unidad de Investigación
Facultad de Ingeniería Agrícola - UNA - PUNO





DEDICATORIA

A DIOS por darme la oportunidad de vivir, por ser mi guía, fortaleza y quien ilumina mi camino permitiendo disfrutar de mis logros día a día.

A mi madre Teresa quien desde el cielo guía mi camino, a mi querido padre Alfredo quien siempre confió y me apoyo en mi proceso formativo, dándome aliento para continuar a pesar de las adversidades.

A mis hermanos, Fiorella, John, Lizbeth, Mariana y Fernanda por brindarme su apoyo incondicional y me supieron guiar con sus sabios consejos.

A todas las personas que confiaron en mí y me dieron su apoyo incondicional en este proceso y etapa de mi vida.

Claudia Hindira



AGRADECIMIENTOS

A DIOS por darme la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi vida profesional.

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional, ejemplo de perseverancia, por sus consejos y formación de valores, por la motivación constante en mi vida personal y profesional.

A la Universidad Nacional del Altiplano, en especial a la Facultad de Ingeniería Agrícola por acogerme en sus aulas y mediante mis docentes brindarme enseñanzas para mi formación profesional.

A mi asesor D.Sc. German Belizario Quispe, por guiarme y orientarme en esta etapa de mi vida profesional.

A la Planta Quesera San Santiago de Acora por permitirme realizar el análisis de sus aguas residuales.

A M.Sc. Lenin Quille Quille por el apoyo incondicional que me brindo en esta etapa de mi formación profesional.

A Terry W. y todas las personas que de una u otra manera estuvieron apoyándome durante mi formación profesional.

Claudia Hindira



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	13
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.1.1. Problema general	19
1.1.2. Problemas específicos.....	19
1.2. JUSTIFICACIÓN	19
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.3.1. Objetivo general.....	22
1.3.2. Objetivos específicos	22
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
2.1.1. Antecedentes internacionales	23
2.1.2. Antecedentes nacionales	30
2.1.3. Antecedentes locales	31



2.2.	MARCO TEÓRICO	32
2.2.1.	Aguas residuales.....	32
2.2.2.	Método del lombrifiltro.....	35
2.3.	MARCO CONCEPTUAL	40
2.3.1.	Lombrifiltros	40
2.3.2.	Lenteja de agua	40
2.3.3.	Aguas residuales.....	40
2.3.4.	Tratamiento	41
2.3.5.	Purificación	41
2.4.	HIPÓTESIS DEL ESTUDIO.....	41
2.4.1.	Hipótesis general.....	41
2.4.2.	Hipótesis específicas	41
CAPÍTULO III		
MATERIALES Y MÉTODOS		
3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	42
3.2.	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	44
3.2.1.	Acciones previas para la ejecución del proyecto	44
3.2.2.	Nivel de la investigación.....	47
3.2.3.	Tipo de investigación	47
3.2.4.	Diseño de la investigación	48
3.2.5.	Enfoque de la investigación	48
3.2.6.	Población.....	48
3.2.7.	Muestra.....	48
3.2.8.	Variables de estudio	49
3.2.9.	Operacionalización de variables	49



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de variables	49
Tabla 2 Matriz de diseño según cantidad de tratamientos para DBCA	57
Tabla 3 Metodología para la determinación de parámetros físico químico.....	58
Tabla 4 Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales antes del tratamiento	59
Tabla 5 Parámetros químicos DQO antes y después de los tratamientos	61
Tabla 6 Resultados de la demanda química de oxígeno DQO, antes y después de la aplicación del lombrifiltro, lenteja de agua y biofiltro	62
Tabla 7 Caracterización fisicoquímica del efluente con mayor porcentaje de remoción de parámetro DQO en las aguas residuales después del tratamiento.....	65



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Mapa de ubicación de la planta quesera “San Santiago”	42
Figura 2 Imágenes satelitales de la planta quesera “San Santiago”	43
Figura 3 Acondicionamiento del medio de experimentación	45
Figura 4 Esquema experimental	50
Figura 5 Porcentaje de remoción de los tratamientos respecto al parámetro DQO	63
Figura 6 Caracterización físico químico antes y después de los tratamientos	66



ACRÓNIMOS

DQO:	Demanda Química de Oxígeno
DBO:	Demanda Bioquímica de Oxígeno
STD:	Sólidos Totales Disueltos
pH:	Potencial de Hidrógeno
ppm:	Partes por Millón
EM:	Microorganismos Eficaces



RESUMEN

Las aguas residuales actualmente generan la emisión de malos olores y la presencia de insectos (moscas, mosquitos, etc.), la misma podría afectar negativamente a la planta quesera y a la población aledaña, lo cual motivó realizar la presente investigación con el **objetivo** de evaluar el efecto de lombrifiltro y lentejas de agua (*Lemna gibba*) asistido por microorganismos eficaces en la biorremediación de aguas residuales de la planta quesera “San Santiago” – Acora; utilizando una **metodología** de diseño experimental, enfoque mixto, nivel explicativa, para ello se acondicionó tres módulos de tratamientos (lombrifiltro, lentejas de agua y biofiltro). El **resultado** de la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales presentó parámetros tales como; pH de 3.47, conductividad eléctrica de 4540 $\mu\text{S}/\text{cm}$, STD de 2210 ppm, DQO de 13644 ppm, DBO de 5457 ppm, fosfatos en 2.51 ppm y nitratos en 250 ppm; y existen diferencias significativas de los valores de DQO antes y después de aplicación de los tratamientos a un nivel de significancia del 5%, logrando el mayor porcentaje de remoción respecto al parámetro DQO en las aguas residuales con la aplicación combinada de los tres tratamientos, resultando los parámetros fisicoquímicos con valores de, pH de 5.01, STD de 89.70 ppm, DQO en 6520 ppm, DBO en 2562 ppm, fosfatos en 1.22 ppm y nitratos en 120 ppm; en **conclusión**, existe un efecto positivo en la biorremediación de aguas residuales de la planta quesera “San Santiago” con la aplicación de lombrifiltro y lentejas de agua asistido por microorganismos eficaces.

Palabras clave: aguas residuales, biorremediación, lombrifiltro, lentejas de agua, microorganismos eficaces.



ABSTRACT

The contamination of waste water currently generates the emission of bad odors and the presence of insects (flies, mosquitoes, etc.), the same could negatively affect the cheese plant and the surrounding population, which motivated the present investigation with the aim of evaluating the effect of vermifilter and duckweed (*Lemna gibba*) assisted by effective microorganisms for the bioremediation of waste water from the cheese plant "San Santiago" - Acora; For this purpose, an applied methodology of experimental design, mixed approach, explanatory level was used. For this purpose, three modules were conditioned for the treatments (vermifilter, duckweed and biofilter). The result of the physicochemical characterization of the waste water presented parameters such as; pH of 3.47, electrical conductivity of 4540 $\mu\text{S}/\text{cm}$, STD of 2210 ppm, COD of 13644 ppm, BOD of 5457 ppm, phosphates of 2.51 ppm and nitrates of 250 ppm; and there are significant differences in the COD values before and after application of the treatments at a significance level of 5%, achieving the highest percentage of removal with respect to the COD parameter in the wastewater with the combined application of the three treatments, resulting in physicochemical parameters with values of, pH of 5.01, STD of 89.70 ppm, COD of 6520 ppm, BOD of 2562 ppm, phosphates of 1.22 ppm and nitrates of 120 ppm; In conclusion, there is a positive effect on the bioremediation of wastewater from the cheese plant "San Santiago" with the application of vermifilter and duckweed assisted by effective microorganisms.

Keywords: wastewater, bioremediation, vermifilter, duckweed, effective microorganisms.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las Naciones Unidas (2021) conscientes del crecimiento demográfico prevé que la población global aumentará hasta cerca de 9700 millones para el año 2050, con la posibilidad de alcanzar un máximo aproximado de 10400 millones hacia mediados de la década de 2080. Por ello Martínez *et al.* (2017), señalan que ese suceso podría ocasionar presiones significativas sobre bienes y/o servicios ecosistémicos, entre los que destacan los recursos hídricos; por ende, es tarea vital encontrar formas en las cuales el medio ambiente y el desarrollo sean compatibles.

En cuanto a las aguas residuales son aquellas que han sufrido cambios en su estado natural como resultado de actividades humanas, lo que ha llevado a la liberación de contaminantes en cuerpos de agua naturales y que necesitan un tratamiento previo debido a su elevada concentración de materia orgánica (Reynolds, 2002), como consecuencia, contienen altas concentraciones de materia orgánica, grasas, detergentes, residuos industriales, productos agroindustriales y sustancias tóxicas. La mayoría de estas aguas residuales se vierten en cuerpos receptores como ríos, lagos, mares y suelos, provocando efectos devastadores, como la reducción del oxígeno debido a la carga de contaminantes, lo que impide la existencia de vida en estos ecosistemas (de la Peña et al., 2013).

Asimismo, a nivel nacional existe la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos propone un esquema integral para la administración y aprovechamiento sostenible del agua en el país, además de asegurar el acceso equitativo al agua, según las necesidades y se vienen fomentando su preservación, en ese sentido, la normativa identifica al agua como un recurso público y promulga principios de manejo que abarcan la colaboración comunitaria, la sustentabilidad ecológica y la protección de los ecosistemas,



adicionalmente define procedimientos para regular el uso del agua, con posibles sanciones para infractores y el reconocimiento de derechos de uso del agua continuo y pacífico (Ley de Recursos Hídricos, 2017).

En este contexto, la planta quesera “San Santiago” en Acora enfrenta desafíos significativos en la gestión de sus aguas residuales, consecuencia del desarrollo de su actividad productiva principalmente durante la coagulación, corte de la cuajada, lavado y limpieza de equipos, enjuague de moldes y prensas y otros (Quille, 2019), en ese sentido la biorremediación de sus aguas residuales es crucial debido a factores ambientales, económicos y de salud pública; y para mitigar este proceso es importante, porque busca la reducción de contaminantes, prevenir la eutrofización, proteger la biodiversidad y los servicios ecosistémicos; además, la biorremediación permitiría a las plantas queseras cumplir con normativas ambientales.

En tal sentido, la implementación de tecnologías sostenibles como el lombrifiltro, las lentejas de agua y biofiltro asistidas por microorganismos eficaces ofrece una solución prometedora, no únicamente reduciendo contaminantes orgánicos y sólidos suspendidos, si no, mejorando la calidad de aguas del efluente, apto para su reutilización.

Desde esa perspectiva el proyecto ha sido implementado con microorganismos eficaces (EM) y con tres tratamientos, el cual fueron el lombrifiltro, lentejas de agua y el biofiltro; el lombrifiltro consistió en un lecho filtrante compuesto por capas de grava, arena y lombrices, para que las aguas del efluente pasen lentamente a través del sustrato; la lenteja de agua se acondicionó un recipiente, para que absorban nutrientes como nitratos y fosfatos; considerando que las lentejas de agua resultaron ser útiles para reducir la concentración de nutrientes, por último el biofiltro consistió en un medio filtrante



compuesto de grava o arena, como se detalló, donde microorganismos aerobios se desarrollaron y descompusieron la materia orgánica presente en los efluentes.

Bajo ese horizonte, el estudio termina estructurándose de la siguiente forma: inicialmente, se presenta la situación problemática que motivó la investigación, junto con los objetivos e hipótesis planteados; en segundo lugar, se proporciona el marco teórico necesario para el entendimiento y desarrollo posterior; el tercer capítulo detalla la metodología empleada; el cuarto capítulo muestra los resultados de las tecnologías sostenibles; y finalmente, se presentan las conclusiones siguiendo los objetivos planteados, las recomendaciones y las referencias bibliográficas de la investigación.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua como recurso esencial para la vida, dado su rol en los procesos biológicos y ecológicos, constituyendo entre el 60% y el 70% del peso corporal de los seres vivos, siendo el medio donde ocurren reacciones bioquímicas y regulador de temperatura para organismos y planeta, agregando que es solvente universal y crucial para reacciones químicas como hidrólisis y síntesis por deshidratación (Cirelli, 2012), entre otros muchos beneficios que aporta, es vital cuidarlo ante las alteraciones suscitadas a nivel climatológico producto de actividades humanas, es así que la inseguridad hídrica, entendida como la incapacidad de acceder y beneficiarse de agua asequible, adecuada, confiable y segura (Guevara y Verona, 2014), tiene consecuencias adversas de gran alcance para el bienestar social y económico, la nutrición y la salud (Frederiksen, 2009). En ese contexto hay factores detonantes a considerar en la inseguridad hídrica, primero, se tiene al crecimiento demográfico que incrementará sustancialmente la demanda de agua en casi todos los sectores y el cambio climático mundial por la intensificación del efecto invernadero (Ortega, 2009).



Bajo ese contexto, buscar nuevas opciones de fuentes hídricas es importante para una gestión sostenible de los recursos hídricos, así pues, la reutilización del agua en diversas actividades, mengua la presión sobre las fuentes de agua dulce, tal es el caso de utilizar aguas tratadas en la agricultura, que al encontrarse tratadas se reduce la probabilidad de que dañen los ecosistemas (Jaramillo y Restrepo, 2017), agregando que su implementación en áreas urbanas reduciría los niveles de contaminantes en ríos y lagos, a su vez previene la propagación de enfermedades transmitidas por el agua, destacando en ese sentido su impacto positivo en el desarrollo económico sostenible; cabe destacar que esta práctica se remonta en Grecia, Turquía, Pakistán e India como los primeros lugares conocidos donde las aguas residuales han recibido atención técnica (Salgot y Folch, 2018).

Así pues, en el mundo el 80% de las aguas cuyo origen es el residual sin tratamiento adecuado antes de ser vertidas, generando efectos adversos para la flora, fauna y salud humana y ello encuentra su principal explicación en barreras institucionales, financieras y regulatorias su realización y operatividad (Naciones Unidas, 2021). En el ámbito nacional, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento -SUNASS- (2022) señala en su informe que hay 202 PTAR, donde 171 están operativas, además que entre 2016 y 2020, el tratamiento de aguas residuales sufrió incrementos del 66.40% al 77.70%, creciendo en un 11.30% y agregando a ello de las 171 plantas, el 91% es operado por los prestadores del servicio de agua, 7% por municipios y 2% por operadores privados mediante contratos.

En esa línea, la aplicación de tecnologías sostenibles como el lombrifiltro, las lentejas de agua y biofiltro es una alternativa que dota de soluciones para la remediación de aguas residuales, al utilizar lombrices para descomponer materia orgánica, además de ser eficientes en la reducción de la DQO y al eliminar sólidos suspendidos, asimismo



mejora la calidad del efluente al aumentar su contenido de nutrientes apoyando su reutilización en la agricultura (Castillo y Chimbo, 2021); de igual forma las lentejas de agua pueden reducir significativamente los niveles de nitrógeno y fósforo en aguas residuales contribuyendo a la eutrofización.

Igualmente, remueven eficientemente metales pesados como el plomo y el cadmio (Rodríguez et al., 2010), así pues combinar ambas tecnologías podría brindar resultados beneficiosos para todos los intereses y actores involucrados, siendo esto potencialmente extrapolable al sector industrial, específicamente al de la industria láctea, dado que Puno como región desarrolla esta actividad de forma predominante y de la misma forma produce residuos que deben ser tratados en busca de alcanzar un desarrollo sostenible.

De esa forma, lo mencionado anteriormente confluye con lo observado en la planta quesera “San Santiago” – Acora que genera entre 1000 y 1300 litros de efluentes diarios, los cuales son descargados sin tratamiento previo en cuerpos receptores cercanos, así pues aunque no existen estudios formales sobre el impacto en la calidad del agua, las observaciones in situ evidencian un deterioro ambiental, el cual está afectando las actividades agrícolas y ganaderas del centro poblado de Caritamaya; cabe destacar que aunque existen normativas como los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes, aparentemente estos no se están aplicando en esta zona dado que con una observación simple se puede evidenciar esa situación.

Además, la comunidad local que está siendo afectada es un total de 300 personas, si bien no han manifestado preocupación, podría enfrentar problemas a largo plazo, relacionados ya que estas aguas están generando efectos adversos como olores desagradables y afecciones menos perceptibles, pero mucho más dañinas al medio ambiente. Puesto que la situación de la planta quesera no es particular de ella, sino que



ésta es similar a otras plantas queseras de la localidad que agravan este panorama, en consecuencia, es urgente la implementación de métodos de tratamiento que sean acorde al nivel de operación e ingresos de la planta, que permitan una remediación efectiva de estos efluentes; en consecuencia, se plantea:

1.1.1. Problema general

¿Cómo es el efecto de Lombrifiltro y lentejas de agua (*Lemna gibba*) asistido por Microorganismos Eficaces para la remediación de aguas residuales de la planta quesera “San Santiago” - Acora?

1.1.2. Problemas específicos

¿Cuál es la característica fisicoquímica de las aguas residuales de la planta quesera “San Santiago” respecto a los parámetros (DQO, ¿DBO, pH, fosfatos, nitratos y sólidos disueltos totales)?

¿Existen diferencias respecto al parámetro químico DQO antes y después de los tratamientos?

¿Cuál es la caracterización fisicoquímica (DQO, DBO, pH, fosfatos, nitratos y sólidos disueltos totales) del efluente con mayor porcentaje de remoción del parámetro DQO?

1.2. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación surge ante la crisis hídrica como fenómeno global manifestada en la escasez de agua potable en condiciones adecuadas para consumo humano, pues según Salehi (2022) aproximadamente 2.2 mil millones de personas carecen de acceso a agua potable segura; adicionalmente la escasez de agua no solo se



refiere a la cantidad, sino también a la calidad, pues existe contaminación química y microbiológica (Eligio et al., 2021); agregando a ello el cambio climático ha exacerbado la situación al provocar sequías severas y alterar los patrones de precipitación, disminuyendo la disponibilidad de fuentes de agua dulce, afectando áreas urbanas como rurales (Millington y Scheba, 2021).

Además, cabe destacar que el aumento de la población y la demanda de agua han puesto una presión adicional sobre los recursos hídricos, pues según estimaciones la demanda global de agua aumentará en un 55% en las próximas décadas (Zhang et al., 2023); en tal sentido es crucial implementar planes de monitoreo y mitigación para reducir la contaminación y garantizar que el agua que se entrega a los consumidores sea segura (Salehi, 2022).

Por consiguiente, se ha buscado plantear una alternativa para el tratamiento de las aguas residuales de la planta quesera en vista que sus aguas están siendo vertidas al entorno de la planta quesera afectado negativamente al medio ambiente y a 300 pobladores; por ende, se evaluó el sistema biológico “lombrifiltro”, utilizando lombrices previa aplicación de microorganismos eficaces para precipitar las proteínas y descomponer la materia orgánica presente en las aguas residuales (BIOEM, 2009), donde las lombrices se alimentaron de dichas materias, transformándolos en humus, reduciendo la DQO y la DBO de los efluentes con bajos costos operativos y poca producción de lodos; sin embargo, requiere monitoreo regular para asegurar la salud de las lombrices (Saboya, 2018).

Otro método utilizado fue la aplicación de lentejas de agua, que tiene la capacidad de absorber nutrientes, como fósforo y nitrógeno, de las aguas residuales estas plantas acuáticas, reduciendo así la eutrofización causada por los efluentes, ya que remueve los



nutrientes y parte de la materia orgánica; además, su biomasa puede reutilizarse como abono (Rodríguez et al., 2010); por último el biofiltro que utilizó microorganismos adheridos a un medio filtrante para descomponer la materia orgánica en los efluentes, destacando que el agua pasó a través del medio, donde los microorganismos aeróbicos degradaron la carga contaminante, reduciendo la DQO y la DBO (Sosa et al., 2014).

Se buscó estudiar la eficacia en la remediación de aguas residuales generadas por la actividad en la planta quesera “San Santiago” de Acora; para ello se realizó una caracterización fisicoquímica de las aguas residuales antes del tratamiento para establecer una línea base de los contaminantes presentes, para luego aplicar los tratamientos a las aguas residuales, para lograr el mayor porcentaje de remoción del parámetro DQO comparando los resultados de los análisis fisicoquímicos antes y después de los tratamientos, para determinar la eficacia de estas tecnologías, de tal forma que se identificó la eficiencia de cada tecnología entendiendo sus beneficios potenciales en la remediación de aguas residuales en la industria láctea.

Definitivamente, este estudio es crucial debido a la creciente preocupación por la gestión sostenible de los recursos hídricos, especialmente en las plantas queseras que generan aguas residuales, estos sin tratamiento representan una amenaza significativa para la flora, fauna y la salud humana, exacerbando la inseguridad hídrica; como es el caso de la planta quesera “San Santiago” en Acora, que debería implementarse el uso de tecnologías sostenibles como el lombrifiltro, las lentejas de agua y biofiltro asistido con microorganismos eficaces que ayuda a precipitar la materia orgánica presente en el efluente y evitar la generación de malos olores (BIOEM, 2009), todo ello con el fin de mejorar la calidad de las aguas del efluente con fines de reutilización, contribuyendo así a reducir la carga contaminante en cuerpos de agua naturales, abordando desafíos ambientales y



ofreciendo beneficios económicos al reducir los costos de tratamiento y mejorar la sostenibilidad de la planta quesera.

En ese sentido la investigación busca proporcionar información que contribuyan a la toma de decisión de una solución viable y replicable para otras industrias similares, apoyando la gestión sostenible del agua y promoviendo prácticas más ecológicas y económicamente eficientes en el tratamiento de aguas residuales.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de lombrifiltro y lentejas de agua (*Lemna gibba*) asistido por microorganismos eficaces para la remediación de aguas residuales de la planta quesera “San Santiago” – Acora.

1.3.2. Objetivos específicos

Realizar la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales de la planta quesera “San Santiago” respecto a los parámetros (DQO, DBO, pH, Fosfatos, nitratos y sólidos totales).

Analizar si existen diferencias respecto al parámetro químico DQO antes y después de los tratamientos.

Realizar la caracterización fisicoquímica (DQO, DBO, pH, fosfatos, nitratos y sólidos totales) del efluente con mayor porcentaje de remoción del parámetro DQO.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

Tabelini et al. (2023) en su estudio en Brasil, titulado “A review on the characteristics and methods of dairy industry wastewater treatment in the state of Minas Gerais, Brazil”, cuyo objetivo fue evaluar las características de las aguas residuales lácteas sin tratar y procesadas, y aplicar los principales sistemas de tratamiento de industrias lácteas en el territorio de Minas Gerais, con una metodología experimental, cuantitativa y transversal. Los resultados muestran un alto contenido de material orgánico en las aguas residuales crudas, con una relación entre el DBO₅ y DQO inferior al 60%, indicando mayor biodegradabilidad, estas aguas tratadas cumplen con los estándares de calidad, ya que los niveles de remoción del DQO y DBO₅ son superiores al 70% y 75%, respectivamente. Sin embargo, las concentraciones de SST superan 100 mg/l, por lo que requieren mejoras en el tratamiento.

Kharwade et al. (2022) en India “Tainted wastewater remediation through inverted multimedia biofilter” estudiaron la eficacia de un filtro biológico multimedia invertido para la remediación de aguas residuales contaminadas, con énfasis en la eliminación de parámetros fisicoquímicos e iones metálicos de flúor; con un enfoque cuantitativa y experimental, donde se implementó el filtro biológico multimedia invertido integrado; encontraron una eficiencia de remoción del 81.64% para DBO, 51.47% para DQO, 82.17% para



Sólidos Totales Disueltos y 35.81% para Flúor, utilizando una tasa de carga hidráulica de 0.933 m³/día/m²; estos valores significativos de eficiencia de remoción respaldan su viabilidad del tratamiento de aguas residuales contaminadas, sugiriendo su reutilización del agua tratada.

Thangavelu y Veeraragaan (2022) en su investigación “A survey on nanotechnology-based bioremediation of wastewater” estudiaron el potencial de la nanotecnología en la biorremediación de aguas residuales, centrándose en la reducción de costos; en consecuencia la metodología se apoyó en nanomateriales para la limpieza de aguas residuales. Los resultados indican que el uso de nanomateriales en la biorremediación muestra mayor eficiencia en la eliminación de contaminantes, de hasta del 40% en comparación con métodos convencionales y una reducción del 30% en el uso de productos químicos peligrosos como cloro y ozono en comparación con métodos tradicionales; y su implementación podría reducir los costos totales en un 35% y una mejora del 50% en la eficiencia de eliminación de metales pesados.

Hemalatha y Venkata (2022) en Telangana, India, en su estudio “Duckweed biorefinery – Potential to remediate dairy wastewater in integration with microbial protein production”, filtraron el agua mediante una malla de 0.5 μm para excluir los desechos y partículas sólidas, luego inocularon el agua residual láctea con 40 g de lenteja de agua y se calculó el crecimiento de la biomasa y la filtración de nutrientes, se obtuvo que la filtración de carbono orgánico (DQO) por parte de la lenteja de agua disminuyó de 2344 mg/l a 612 mg/l después de 8 días, con eficacia de eliminación del 74%, análogamente, otros nutrientes como los fosfatos y nitratos en el agua residual láctea



disminuyeron de 275 mg/l y 81.8 mg/l a 55 mg/l y 27.7 mg/l, con una remoción del 80% y el 60%, respectivamente.

Zhao et al. (2021) en China en su estudio “Bioremediation of wastewater containing mercury using three newly isolated bacterial strains” mediante un método de biorremediación eficiente y económico para eliminar la contaminación por mercurio en aguas residuales con bacterias de alta tolerancia y capacidad de reducción de Hg; recolectaron muestras de agua contaminada, seguido del aislamiento de cepas bacterianas con alta tolerancia al mercurio, sometidas luego a ensayos de PCR. Los resultados revelaron que las bacterias aisladas tenían la capacidad de reducir eficazmente la concentración de Hg en aguas residuales contaminadas; pues niveles de expresión de genes del operón mercurio significativamente más altos a las 8 horas en comparación con las 4 horas y 12 horas, lo que indicó una respuesta temporal específica de las bacterias al mercurio.

Ahmad et al. (2021) en Malasia en su estudio “Potential of microalgae in bioremediation of wastewater” investigaron la capacidad de las microalgas en la biorremediación de aguas residuales, centrándose en la eliminación de contaminantes y la producción de biomasa. Encontrando que las microalgas como *Chlorella* y *Dunaliella*, fueron efectivas en el tratamiento de aguas residuales; logrando eliminar hasta un 90% de fósforo total, un 80% de demanda química de oxígeno (DQO) y un 70% de nitrógeno total de las aguas residuales tratadas; además, obtuvo una producción significativa de biomasa de microalgas, lo que sugirió un potencial para la producción de biocombustibles y otros productos de valor agregado.



Miito et al. (2021) en Washington estudiaron “Environmental technology y innovation A vermifilter system for reducing nutrients and organic-strength of dairy wastewater” evaluando eficiencia de un lombrifiltro a escala piloto para el tratamiento de aguas residuales lácteas, en la metodología, recopilaron muestras antes y después del tratamiento, observando una reducción significativa en los contenidos de sólidos totales en un $21\pm 7.0\%$, en sólidos suspendidos totales en un $68\pm 10\%$, en demanda química de oxígeno se redujo en un $45\pm 4.1\%$; además, los niveles de nitrógeno total, nitrógeno amoniacal total y nitrato-nitrógeno se redujeron en un $81\pm 7.1\%$, $77\pm 8.4\%$ y $74\pm 9.5\%$, respectivamente; asimismo, los niveles de fósforo total y ortofosfato disminuyeron en un $48\pm 6.0\%$ y $3.9\pm 19.2\%$, respectivamente, mostrando de manera concluyente que el lombrifiltro posee un gran potencial para el tratamiento de las aguas residuales.

Pous et al. (2021) desarrollaron en Suecia su estudio “Vermifilter and zooplankton-based reactor integration as a nature-based system for wastewater treatment and reuse”, con vermifiltros y reactores inspirados en zooplancton a nivel de escala piloto durante un período de 10 meses, con diferentes caudales (750, 1500 y 3000 l/s), logrando una eficiente remoción promedio del $88\pm 7\%$, $89\pm 8\%$, $91\pm 8\%$ y $85\pm 19\%$ para DQO, TSS, NH_4^+ y DBO_5 , respectivamente; el reactor basado en zooplancton proporcionó una etapa de pulido que permitió alcanzar eficiencias de remoción superiores al 95% para SST, NH_4^+ y un 91% para DQO y DBO_5 , respectivamente, este método mostró resultados prometedores en caudales de 750 y 1500 l/s, en menos de 15 días de tratamiento, logrando agua residual tratada apta para su reutilización para riego



Shah y Shah (2020) en Oman en su estudio “Characterisation and bioremediation of wastewater: a review exploring bioremediation as a sustainable technique for pharmaceutical wastewater” caracterizaron las aguas residuales de la industria farmacéutica para identificar sus propiedades físico-químicas y la presencia de contaminantes, con una metodología experimental cuantitativa; logrando la presencia significativa de APIs, intermediarios, disolventes y otros contaminantes en las aguas residuales de la industria farmacéutica, además resaltó la complejidad de la carga contaminante en estas aguas residuales; cuantitativamente se encontraron concentraciones específicas de contaminantes en las muestras analizadas.

Orozco y Sánchez (2020) en Ecuador, desarrollaron su estudio “Biorremediación de las aguas residuales provenientes de la industria láctea a escala de laboratorio mediante el sistema Tohá” implementado el sistema Tohá para la bio purificación del agua durante 66 días en un lombrifiltro que constaba de grava gruesa, grava fina, arena, aserrín y lombrices; en los resultados lograron una significativa reducción de la carga contaminante en el agua, con una eliminación del 77% de DQO, del 68% de turbidez, del 65% de sólidos en suspensión y del 63% de aceites y grasas, además, el pH del agua se mantuvo en un nivel neutro.

Das et al. (2019) en India en su estudio “Bioremediation of wastewater using microalgae”, evaluaron la eficacia de la cepa de microalga *Chlorella* sp A5 en la remoción de nutrientes y carga orgánica de aguas residuales de la industria láctea; ello con una metodología que aisló especies de microalgas de agua de estanque. En cuanto a los resultados observaron que *Chlorella* sp A5 minimiza la producción de contaminantes secundarios, aumenta la cantidad de



oxígeno en el aire al consumir dióxido de carbono y reduce significativamente la carga de contaminantes; debido a que lograron reducir los niveles de DBO en un 98.5%, DQO en un 97.8%, NTK en un 92.6% y PT en un 99.2% al final del proceso de tratamiento con las microalgas, en síntesis respaldaron la eficacia de *Chlorella* sp A5 en la remoción de contaminantes del agua residual de la industria láctea.

Singh et al. (2019) en India en su estudio “A mechanistic review on vermifiltration of wastewater: Design, operation and performance”, evaluaron el rendimiento de la vermifiltración como método de tratamiento de aguas residuales; así pues utilizaron una muestra de múltiples estudios de caso y experimentos que demostraron la eficacia de la vermifiltración en diferentes contextos, donde resaltó la mejora en la calidad del agua tratada, reducción de olores y eliminación de contaminantes peligrosos ingresando en los márgenes contemplados por los estándares de calidad del agua.

Samal et al. (2018) en India en su estudio “A comparative study of macrophytes influence on performance of hybrid vermifilter for dairy wastewater treatment”, analizaron la influencia de los macrófitos en el rendimiento de un vermifiltro híbrido utilizado en el tratamiento de aguas residuales de productos lácteos, con una metodología donde diseñaron cuatro reactores denominados R1, R2, R3 y R4 con lombrices; bajo ese contexto los resultados indicaron que el porcentaje de eliminación de DQO fue el siguiente: R1 (82.8%) > R3 (78.9%) > R2 (75.5%) > R4 (69.4%), estos resultados muestran variaciones en la eficiencia de remoción de contaminantes entre los diferentes reactores del vermifiltro híbrido.



Singh et al. (2017) en Odisha en su estudio “A mechanistic review on vermifiltration of wastewater: Design, operation and performance”, evaluaron la eficacia de la vermifiltración como tecnología de tratamiento de aguas residuales, para ello utilizaron una metodología de instalación de un sistema de vermifiltración recopilando muestras de agua antes y después de pasar por el sistema. Los resultados mostraron una mejora significativa pues encontraron que la vermifiltración logró una remoción promedio del 85% de materia orgánica y un 70% de sólidos suspendidos en las muestras analizadas, indicando la eficacia de la vermifiltración en la eliminación de contaminantes del agua residual.

Turki et al. (2017) en Berlin en su estudio “Biofilms in bioremediation and wastewater treatment: characterization of bacterial community structure and diversity during seasons in municipal wastewater treatment process”, caracterizaron la estructura y diversidad de la comunidad bacteriana durante diferentes estaciones en un proceso de tratamiento de aguas residuales. Los resultados identificaron especies bacterianas beneficiosas en la biorremediación como *Enterobacter agglomerans*, *Cronobacter sakazakii* y *Pantoea agglomerans* con una desaparición total de *Salmonella* registrada a una dosis de alrededor de 1440 mW; además revelaron diferencias en la estructura de la comunidad microbiana entre las estaciones y las diferentes etapas del proceso de tratamiento, con similitudes del 65% al 90% en las muestras.

Landesman et al. (2005) en Estados Unidos se centra en la producción de biomasa de lenteja de agua (*Lemna minor*) y su eficacia en la eliminación de nutrientes de aguas residuales. La investigación emplea esta planta acuática como un biofiltro natural, analizando cómo su rápida tasa de crecimiento y alta



capacidad de absorción de nutrientes contribuyen a la reducción de contaminantes. Los resultados muestran que Lemna minor es efectiva en la remoción de nitrógeno y fósforo en sistemas de tratamiento de aguas residuales. Este estudio es relevante para investigaciones sobre fitoremediación, ya que ofrece una base experimental sólida sobre el uso de plantas flotantes en la depuración de aguas, proporcionando datos cuantitativos y metodológicos útiles para el desarrollo de sistemas de tratamiento ecológicos y sostenibles.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En el ámbito nacional, Chahua (2021) en Lima en su estudio “Lombrifiltro para el tratamiento de aguas residuales domésticas crudas utilizando como sustrato la borra de café”, analizó el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante el método de lombrifiltro. El método del lombrifiltro estuvo conformado por 4 reactores y se construyó a escala piloto, con un periodo de evaluación, primero de 10 semanas, segundo de 8 semanas y por último de 10 semanas. De los parámetros analizados se obtuvieron porcentajes de eficiencia en el método del lombrifiltro el cual fue 96% para la DBO₅ total y 92% para la DBO₅ soluble, también se obtuvo una eficiencia del 72% para los Sólidos Suspendidos Totales y 84% para los Sólidos Suspendidos Volátiles

Gamarra (2021) en Sapallanga en su investigación “Eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta – Sapallanga”, determinó la eficiencia del método del lombrifiltro en la depuración de contaminantes de



aguas residuales durante 3 semanas, con una metodología de una planta a escala piloto. En los resultados, obtuvo una remoción de 96.7% de Demanda Bioquímica de Oxígeno para los 3 tratamientos; concerniente a la Demanda Química de Oxígeno consideró tres tratamientos (T1, T2 y T3) para los cuales logró porcentajes de remoción del 86.5%, 82.57% y 79.95%; respecto al parámetro Sólidos Suspendidos Totales logró remociones de 95.3%, 96.1% y 95.5% y el pH en los 3 tratamientos tendieron a estabilizarse, desde uno ácido de 6.58 a uno neutro de 7.51.

Quille (2019) en Moguegua en su estudio microorganismos eficaces y lombrifiltro para la remoción de residuos lácteos de la planta quesera “La Bodeguilla – Valle de Moquegua”, evaluó el efecto del uso de microorganismos eficaces y un lombrifiltro en los residuos lácteos durante 4 semanas; así pues los resultados indicaron que la mayor remoción de DQO fue lombrifiltro con un 78.39% y la aplicación combinada de microorganismos efectivos con lombrifiltro con 75.51%, por lo que existen diferencias en los métodos de que aplico a un nivel del 5%; el uso de microorganismos eficaces y un lombrifiltro está dentro de los límites máximos permisibles, menos los parámetros del DQO y del DBO₅.

2.1.3. Antecedentes locales

Ginez (2021) en Puno, en su estudio “Reducción de la contaminación de agua mediante aireación y cosecha de lenteja en la Bahía Interior del Lago Titicaca, Puno”, evaluó la reducción de la contaminación de agua, mediante aireación y lenteja de agua, con el sistema de aireación existió mejoras de concentración del oxígeno disuelto con niveles de hasta 8.2 mg/l, lo que



permitió disminuir la carga orgánica de manera eficiente en los años 2008 al 2013; el oxígeno disuelto previo al sistema de aireación fue de 1 mg/l. durante la aireación 8.20 mg/l y posterior de la aireación 4.94 mg/l; el nitrato previo al sistema de la aireación fue de 1.13 mg/l y posteriormente fue de 6.13 mg/l, la DBO₅ previo al proyecto fue de 27 mg/l y después 11.61 mg/l, todos los datos obtenidos son mayores el promedio de rango.

Ramos (2019) en Puno en sue investigación “Tratamiento de aguas residuales mediante el cultivo de la Eisenia foetida para poblaciones menores a 2000 habitantes, Puno”, planteó un método de tratamiento de aguas grises por 3 fases de tratamiento (pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario), la fase principal es el tratamiento secundario ya que es ahí donde utilizo el método del lombrifiltro el cual está compuesto por 4 capas, se obtuvo el agua tratada con una remoción que está dentro de los Valores Máximos Admisibles, obteniendo una eficacia de remoción de un 80% en los diferentes parámetros analizados como DBO, DQO, nitrógeno, fosforo, pH, solidos suspendidos y coliformes fecales.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Aguas residuales

Aquellas cuyo estado natural ha sido alterado debido a actividades humanas, resultando en emisiones hacia cuerpos de agua naturales y requiriendo un tratamiento previo debido a su alta carga de materia orgánica (Reynolds, 2002); características que son modificadas posterior a su uso en hogares, industrias y otras actividades productivas, como resultado de ello contienen altas cargas de materia orgánica, grasas, detergentes, residuos



industriales, productos agroindustriales y sustancias tóxicas y la mayoría de estas aguas residuales son vertidas en cuerpos receptores como ríos, lagos, mares y suelos, causando efectos letales como la disminución del oxígeno debido a la carga de contaminantes, negando la posibilidad de existencia de vida en estos ecosistemas (de la Peña et al., 2013).

- **Aguas residuales de origen industrial:**

Resultan de procesos productivos industriales, que abarcan sectores como la minería, la energía, la agricultura y la pesca, entre otros, donde todos los procesos generan aguas residuales industriales según los productos utilizados en cada industria (Ramalho, 2021); de manera similar, la Alianza por el Agua (2015) señala que estas aguas provienen de cualquier taller o negocio en cuyos procesos de producción, transformación o manipulación se emplee agua, incluyendo líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de refrigeración.

- **Aguas residuales de origen doméstico**

Proviene del uso doméstico, incluyendo la producción en puestos de venta que contienen desechos humanos como coliformes, grasas y detergentes, resultantes de las actividades diarias de las personas; así mismo son generadas por actividades humanas cotidianas como la limpieza, la preparación de alimentos y las necesidades fisiológicas. Estas aguas son potencialmente peligrosas debido a sus efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente (Ramalho, 2021).



- **Aguas residuales de origen municipal**

Proviene de la combinación de aguas pluviales con aguas de origen industrial que han sido sometidas a un proceso de tratamiento previo, antes de ser vertidas en los sistemas de alcantarillado conforme a los valores permitidos por la normativa; adicionalmente estas pueden ser descritas como aquellas utilizadas en actividades diarias humanas, tales como la cocción de alimentos, el aseo personal, lavanderías y otras actividades productivas, que finalmente se descargan en los sistemas de alcantarillado doméstico o directamente en el entorno natural (Ramalho, 2021).

- **Características fisicoquímicas**

En su mayoría toman lugar los sólidos totales, caracterizados por su abundancia, su olor putrefacto y su color marrón oscuro, además, destaca la presencia de sólidos flotantes y capas de grasa mezcladas con aceite, indicando residuos altamente contaminados y una ineficiencia en el tratamiento; las aguas residuales presentan características químicas como: material orgánico, que incluye sólidos de diferentes actividades productivas, compuestos principalmente por nitrógeno, oxígeno y carbono, y ocasionalmente azufre, fósforo, hierro y otros metales; cabe destacar que un parámetro crucial es la demanda biológica de oxígeno (DBO), que mide la cantidad de materia orgánica de origen biológico. Otros parámetros incluyen la demanda química de oxígeno (DQO) y la presencia de químicos sintéticos y orgánicos de fácil degradación biológica en las aguas residuales; también se encuentran sustancias inorgánicas en solución, como el pH, nitrógeno, fósforo, azufre y



compuestos tóxicos con altos valores. Finalmente, se detectan gases como el oxígeno disuelto y el metano, entre otros (Marín, 2008).

2.2.2. Método del lombrifiltro

Método de tratamiento de aguas residuales que utiliza lombrices rojas californianas, conocidas científicamente como *Eisenia foetida*, mismas que poseen características físicas y estructurales que permiten una alta eficiencia en la eliminación de materia orgánica y patógenos. Este sistema de tratamiento está compuesto por tres capas: primero, una base filtrante de piedras que actúa como soporte estructural y permite el drenaje adecuado del agua tratada; segundo, una capa de ripio o grava que facilita la aireación y proporciona un medio poroso donde las lombrices pueden moverse libremente; por último, una capa de aserrín o viruta que sirve como hábitat principal para las lombrices, ofreciendo un medio rico en carbono que ayuda en la descomposición de la materia orgánica (Sinha et al., 2008).

El método del lombrifiltro no solo es eficiente en la remoción de materia orgánica y patógenos, sino que también ofrece beneficios adicionales en términos de sostenibilidad y economía (Castillo y Chimbo, 2021), pues el uso de lombrices en el tratamiento de aguas residuales puede reducir significativamente el costo de operación y mantenimiento en comparación con métodos convencionales; además ofrece varios beneficios adicionales: como la producción de vermicompost, un compost rico en nutriente, segundo, posee un bajo costo de operación y mantenimiento comparado con sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales dado que requiere menos energía y recursos económicos; por último destaca en sostenibilidad y



eficiencia energética, porque utiliza procesos naturales, reduciendo la dependencia de químicos y energías no renovables (P. Rodríguez, 2011).

- **Remoción física mediante lombrifiltro**

El proceso de degradación de la materia orgánica y de los contaminantes sólidos comienza cuando el agua residual se rocía sobre la superficie del lombrifiltro, el cual está compuesto por diversas capas previamente mencionadas; no obstante, la mayor parte del trabajo de depuración ocurre en la capa superior del biofiltro, donde se encuentra una alta concentración de lombrices y microorganismos; el agua residual fluye a través del medio filtrante, reteniendo la materia orgánica. Para que las lombrices desempeñen eficazmente su labor en la degradación de los contaminantes, es crucial que el estrato mantenga parámetros adecuados como pH, temperatura y humedad, ya que valores extremos de estos parámetros pueden ser letales para las lombrices (Garkal et al., 2015). El método es capaz de proporcionar una alta eficiencia en la remoción de contaminantes asociados con materiales sólidos, dado que el agua residual pasa a través del lecho filtrante, donde los sólidos son retenidos en cada capa del sistema, destacando que el lecho no se obstruye gracias a la acción constante de las lombrices, que crean túneles y canales que aseguran una alta permeabilidad del filtro en todo momento (Castillo y Chimbo, 2021).

El medio filtrante también juega un papel crucial, similar al de las lombrices. Materiales como la antracita y las piedras grandes actúan como filtros naturales, formando una biopelícula adherida al medio que entra en contacto con la carga orgánica para iniciar el proceso de purificación. La



comunidad biológica dentro del filtro está compuesta principalmente por organismos del reino protista, incluyendo bacterias aeróbicas, anaeróbicas y facultativas, hongos, algas y protozoarios. Las bacterias facultativas predominan y son fundamentales para la degradación y remoción de la turbidez junto con las lombrices (Schuldt et al., 2007). La biopelícula formada en el medio filtrante es crucial para la purificación del agua, dado que actúa como un reactor biológico donde los microorganismos metabolizan los contaminantes, transformándolos en productos menos nocivos, agregando que la diversidad microbiana en el lombrifiltro ayuda a mantener la estabilidad del sistema y su capacidad de tratamiento bajo diferentes condiciones ambientales (Cayoja, 2021).

- **Remoción química mediante lombrifiltro**

En relación a la eliminación del nitrógeno generalmente se realiza mediante un proceso biológico en dos etapas: nitrificación y desnitrificación; en la primera, el amonio es transformado primero en nitrito y luego en nitrato por un grupo de bacterias nitrificantes que usan carbono inorgánico como fuente de carbono y obtienen energía de las reacciones químicas de nitrificación, en consecuencia, la etapa de desnitrificación convierte el nitrato en gas nitrógeno, que se libera a la atmósfera (Lozada et al., 2019); es importante destacar el material filtrante en las capas del lombrifiltro en pro de la nitrificación, que se realiza en un ambiente aerobio facilitado por dos grupos de bacterias autótrofas quimiosintetizadoras, donde las bacterias oxidantes del nitrógeno incluyen géneros como Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrospira, Nitrosolobus y Nitrosovibrio, organismos que se adhieren a los medios filtrantes formando una biopelícula responsable de la eliminación del nitrógeno



en el agua residual. Un factor crítico en la nitrificación es la cantidad de materia orgánica, medida por la DQO y DBO que debe ser baja; además la eficiencia de la nitrificación y desnitrificación en sistemas de tratamiento de aguas residuales, como los lombrifiltros, depende de factores como la alcalinidad del medio, para la producción de biomasa de bacterias nitrificantes, y es crucial que el pH se mantenga entre 6.5 y 7.5; las lombrices, al consumir materia orgánica y excretar, producen pequeñas cantidades de cal que ayudan a regular el pH del agua residual, lo que es esencial para la eficiencia del proceso (Garkal et al., 2015).

Asimismo, la inclusión de aserrín en el medio filtrante es beneficiosa para reducir el nitrógeno en todas sus formas en las aguas residuales, ya que actúa como un bioadsorbente, destacando la interacción entre las lombrices y el aserrín en pro de hacer menor el nitrógeno, dado que el aserrín es la principal fuente de alimento para las lombrices y estas, a su vez, disminuyen significativamente el nitrógeno orgánico, siendo un soporte efectivo en el tratamiento de aguas residuales mediante lombrifiltros y otros métodos; así pues, la interacción entre lombrices y materiales como el aserrín no solo facilita la reducción del nitrógeno, sino que también mejora la estructura del medio filtrante, pues las lombrices crean canales y túneles en el aserrín, aumentando la permeabilidad y el flujo de agua a través del sistema, lo que optimiza el contacto entre el agua residual y los microorganismos degradadores, así pues, ello no solo mejora la calidad del agua tratada, sino que también contribuye a la sostenibilidad del sistema al utilizar residuos orgánicos como recursos (Lozada et al., 2019).



- **Remoción biológica mediante lombrifiltro**

La composición de aserrín en una de las capas sirve como alimento directo para las lombrices y cumple una función indirecta en la degradación de la materia orgánica, ello se debe a la presencia de bacterias filamentosas como *Sphaerotilus natans* y *Beggiatoa*, que actúan como soporte para las bacterias nitrificantes y desnitrificantes. Estos microorganismos ayudan a controlar las bacterias y estabilizan el agua residual siempre que el pH se mantenga entre 6 y 7.5 (Schuldt et al., 2007). Los microorganismos presentes en el agua residual son degradados de dos maneras: mediante sustancias generadas por las lombrices y por los microorganismos que consumen materia orgánica y que coexisten con las lombrices mencionadas; la reducción de patógenos en el lombrifiltro puede atribuirse a varias acciones de las lombrices, como la acción enzimática intestinal, la secreción de fluidos celomáticos con propiedades antibacterianas y el pastoreo (Cayoja, 2021).

Además, el material filtrante desarrolla una biopelícula adherida que entra en contacto con las aguas residuales para iniciar el proceso de purificación. La comunidad biológica dentro del filtro pertenece principalmente al reino protista, incluyendo bacterias aeróbicas y facultativas. Las bacterias facultativas predominan y son esenciales para la degradación y remoción de la turbidez, junto con las lombrices (Garkal et al., 2015).

La presencia de bacterias filamentosas como *Sphaerotilus natans* y *Beggiatoa* es fundamental en la estructura del lombrifiltro, ya que estas bacterias proporcionan un entorno adecuado para las bacterias nitrificantes y desnitrificantes, mejorando así la eficiencia del sistema en la eliminación de



nitrógeno y otros contaminantes. Además, la capacidad de las lombrices para producir enzimas y otros compuestos bioactivos contribuye a la reducción de patógenos y mejora la calidad del agua tratada (Cayoja, 2021).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Lombrifiltros

También llamados vermifiltros, son sistemas de tratamiento de aguas residuales que utilizan lombrices de tierra para descomponer la materia orgánica y eliminar contaminantes. Estos sistemas combinan la acción biológica de las lombrices con medios filtrantes para mejorar la calidad del agua tratada (Quille, 2019).

2.3.2. Lenteja de agua

Un tipo de planta acuática flotante perteneciente a la familia Lemnaceae. Se utiliza en sistemas de tratamiento de aguas residuales debido a su capacidad para absorber nutrientes y metales pesados, contribuyendo a la purificación del agua (Arroyave, 2004).

2.3.3. Aguas residuales

Agua que ha sido utilizada en hogares, industrias y comercios, y que contiene desechos líquidos y sólidos. Estas aguas requieren tratamiento para eliminar contaminantes antes de ser liberadas al medio ambiente o reutilizadas (Silva et al., 2008).



2.3.4. Tratamiento

Procesos físicos, químicos y biológicos utilizados para eliminar contaminantes del agua, haciendo que sea segura para su liberación al medio ambiente o para su reutilización (Chulluncuy, 2011).

2.3.5. Purificación

Eliminación de impurezas y contaminantes del agua para mejorar su calidad y hacerla adecuada para su uso específico, ya sea para consumo humano, industrial o ambiental (Noriega et al., 2012).

2.4. HIPÓTESIS DEL ESTUDIO

2.4.1. Hipótesis general

La aplicación de Lombrifiltro y lentejas de agua (*Lemna gibba*) asistido por Microorganismos Eficaces influye en la remediación de las aguas residuales de la planta quesera “San Santiago” - Acora.

2.4.2. Hipótesis específicas

La caracterización fisicoquímica de las aguas residuales de la planta quesera “San Santiago” respecto a los parámetros (DQO, DBO, pH, Fosfatos, nitratos y sólidos totales) presenta valores elevados.

Existen diferencias significativas respecto al parámetro químico DQO antes y después de los tratamientos.

La caracterización fisicoquímica (DQO, DBO, pH, Fosfatos, nitratos y sólidos totales) del efluente con mayor porcentaje de remoción del parámetro DQO presenta valores regulares.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El módulo de experimentación se instaló en la planta quesera “San Santiago”, ubicado en el centro poblado de Caritamaya, distrito de Acora, provincia de Puno, departamento de Puno, zona rural inminentemente agropecuaria, tal como se presenta en la figura 1:

Figura 1

Mapa de ubicación de la planta quesera “San Santiago”

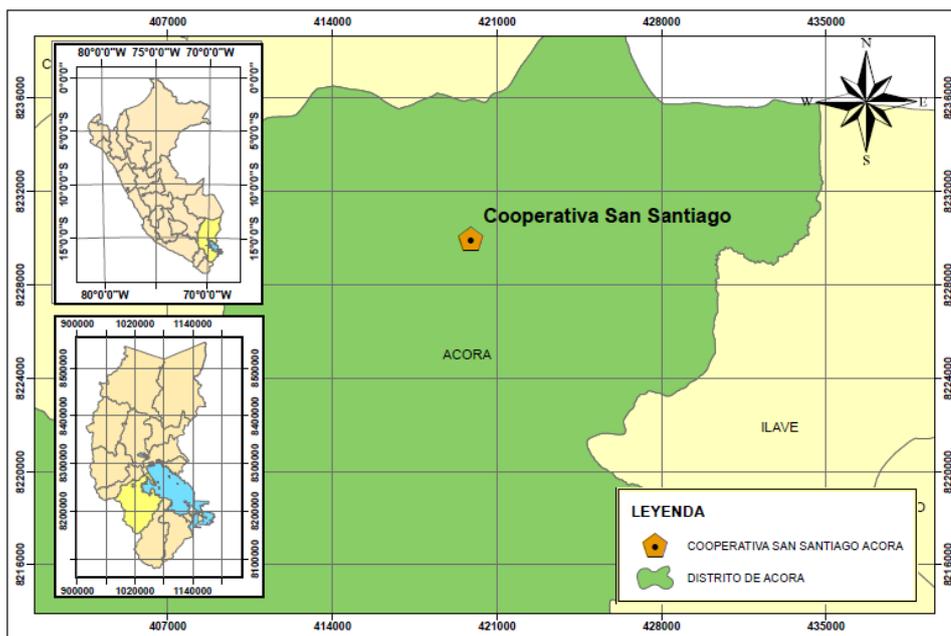
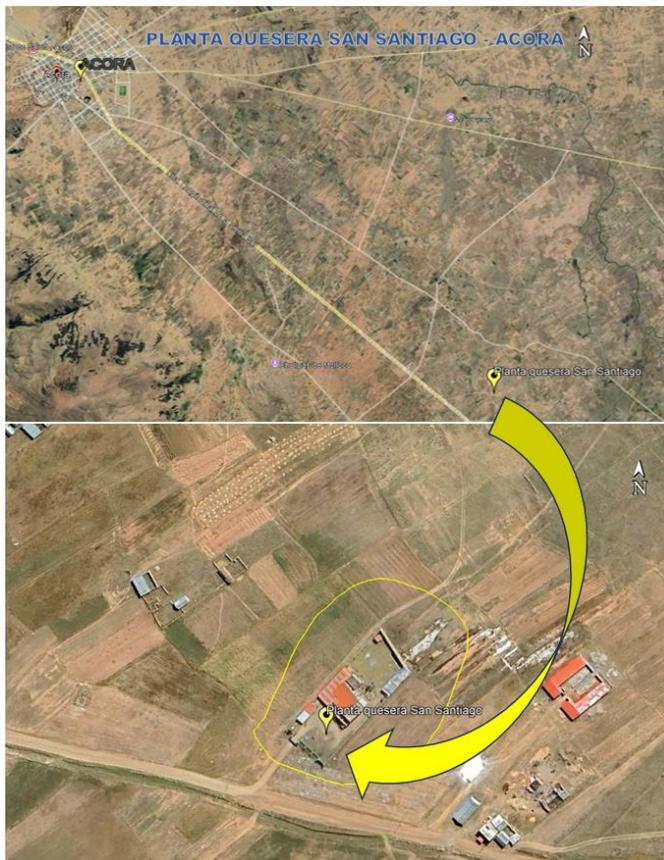


Figura 2

Imágenes satelitales de la planta quesera “San Santiago”



Adicionalmente, se detallan aspectos sobre la planta quesera San Santiago, es una organización cuyos inicios remontan a un grupo de productores de leche en 2002, donde al buscar mayores niveles de retornos, empezaron en 2008 con su actividad productora de quesos de forma ininterrumpida hasta la actualidad; actualmente la planta quesera está conformada por 105 personas y más de 300 proveedores de leche, que recolectan 1700 litros de leche, la planta posee equipos semiindustriales, orientadas a producción a tres cadenas productivas: acopio, procesamiento y comercialización de quesos.

Alcanzan una producción de 155 moldes de queso tipo paria por día; sin embargo, este proceso genera residuos, principalmente la generación de aguas



residuales, cuyo volumen asciende de 1000 a 1300 litros diarios, que son vertidas a la intemperie sin ningún tratamiento, específicamente al área circundante de la planta, generando efectos adversos como olores desagradables y afecciones menos perceptibles, pero mucho más dañinas al medio ambiente.

3.2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. Acciones previas para la ejecución del proyecto

- Tratamiento preliminar aplicando los Microorganismos Eficaces (EM) al agua residual de la planta quesera “San Santiago”

Se aplico Microorganismos eficaces activado, la cual, fue utilizado por cada 10 litros de las aguas residuales de la planta quesera “San Santiago” el 0.01 litro de microorganismos eficaces, teniendo la referencia de Quille (2019).

Se trabajo con 100 litros de aguas residual de la planta quesera “San Santiago” a temperatura ambiente y se utilizó Microorganismos Eficaces activado 100 ml, durante el periodo de 35 días.

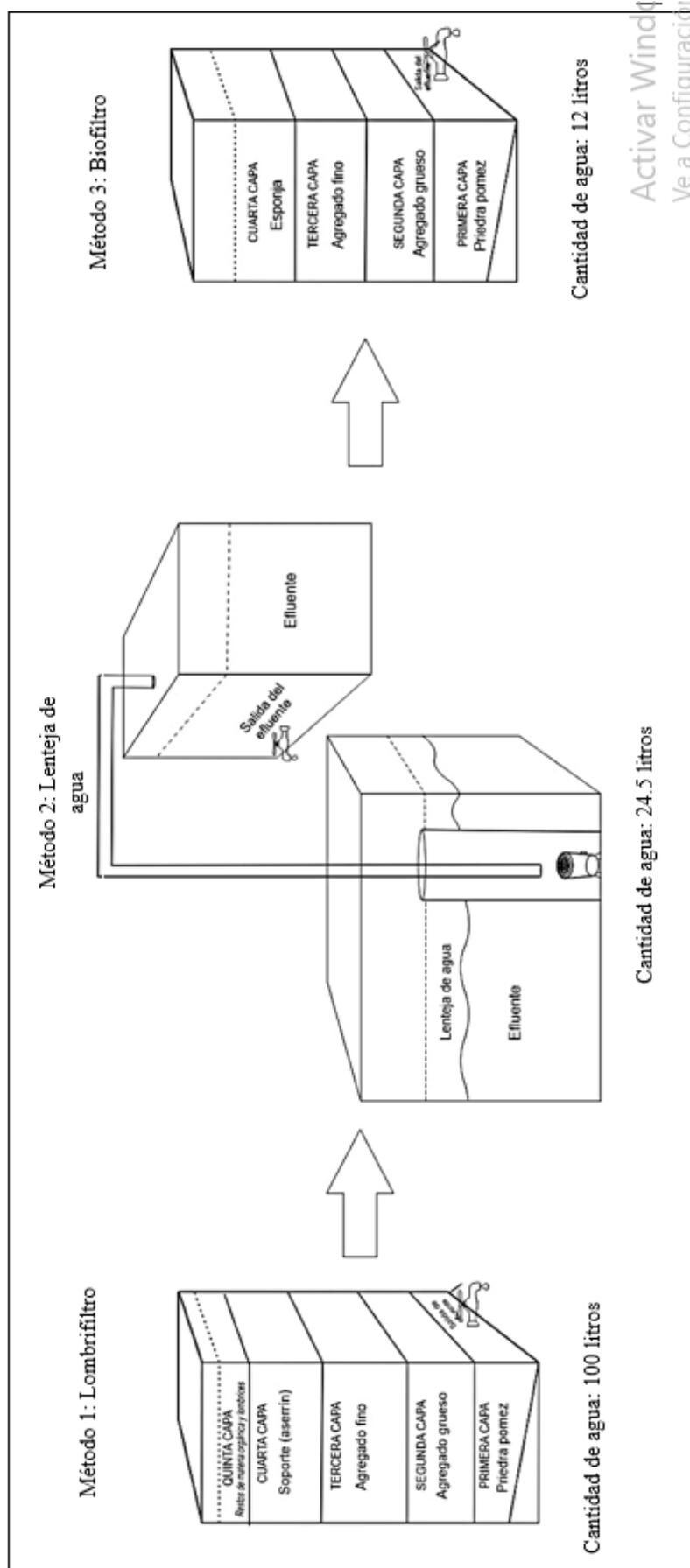
Los microorganismos eficaces que fueron utilizados EM – agua, es un inoculante biológico que está desarrollado a partir de microorganismos que establecen una interacción, estos microorganismos son seguros, no patógenos, libres de modificaciones genéticas (BIOEM, 2009).

- Acondicionamiento del medio de experimentación

El acondicionamiento del medio de experimentación fue por el lombrifiltro, lenteja de agua y biofiltro.

Figura 3

Acondicionamiento del medio de experimentación





Método 1: Características del acondicionamiento del lombrifiltro:

El material con el cual fue confeccionado a base de 6 mm de espesor de vidrio, con dimensiones: largo = 40 cm, altura = 70 cm y ancho = 20 cm; asimismo, tuvo una pendiente en relación con la altura total del diseño del lombrifiltro de 5 cm.

Y la estructura estuvo conformada por cinco capas: La **primera capa:** Piedra Pómez a una altura de 10 cm; **segunda capa:** Agregado grueso a una altura de 14 cm; **tercera capa:** Agregado fino a una altura de 18 cm; **cuarta capa:** Aserrín a una altura de 18 cm y **quinta capa:** Lombrices y residuos de materia orgánica a una altura de 5 cm, se dejaron un espacio libre de 5 cm de altura en la parte superior; adaptado (Quille, 2019).

Método 2: Características del acondicionamiento del tratamiento con lenteja de agua:

Se confeccionó de vidrio de 6 mm de espesor, con las dimensiones de: largo = 50 cm, altura = 40 cm y ancho = 30 cm, este biofiltro estuvo acompañado de una bomba sumergible de 25 watts con el fin de que genere aireación y un tubo PVC de 4.5" para que esta pueda proteger a la bomba.

Este tratamiento estuvo acompañado de un envase confeccionado de vidrio de 6 mm de espesor, de dimensiones: largo = 25 cm, altura = 40 cm y ancho = 15 cm; este envase sirvió para bombear el agua residual a través de una manguera transparente de ½"; adaptado (Landesman et al., 2005).



Método 3: Características del acondicionamiento del biofiltro

Se confeccionó de vidrio de 6 mm de espesor, con dimensiones de: largo = 25 cm, altura = 80 cm y ancho = 15 cm; asimismo, tuvo una pendiente en relación con la altura total 10 cm del biofiltro.

Y la estructura estuvo conformada por cuatro capas: **primera capa:** Piedra Pómez a una altura de 25 cm; **segunda capa:** Agregado grueso a una altura de 20 cm; **tercera capa:** Agregado fino a una altura de 20 cm y **cuarta capa:** Esponja a una altura 10 cm, se dejó un espacio libre de 5 cm en la parte superior; adaptado a partir de (Quille, 2019).

3.2.2. Nivel de la investigación

Explicativo, porque se identificó el efecto de la aplicación de lombrifiltro y a su vez lentejas de agua en pro de la biorremediación de aguas residuales del efluente de la planta quesera “San Santiago”, además que se persiguieron objetivos de describir y correlacionar variables (Hernández et al., 1997).

3.2.3. Tipo de investigación

Aplicado, porque se buscó resolver y/o plantear una potencial solución a los desechos industriales, específicamente las aguas residuales de la planta quesera “San Santiago”, aplicando el conocimiento académico en pro del desarrollo de soluciones implementarse en ese contexto específico (Hernández, 2010).



3.2.4. Diseño de la investigación

Experimental, dado que se desarrolló una manipulación de variables en pro de observar su efecto, además se caracterizó el control riguroso de las condiciones experimentales (Herrera, 2008).

3.2.5. Enfoque de la investigación

Mixto, porque el estudio combinó métodos cualitativos y a la par los cuantitativos, mismos que se evidenciaron en los objetivos alcanzados con el estudio.

3.2.6. Población

La población del estudio está representada por el total de aguas residuales el cual generan de 1000 a 1300 litros a diario en los procesos productivos de la planta quesera “San Santiago” distrito de Acora, provincia y departamento de Puno.

3.2.7. Muestra

La muestra está representada por 100 litros de agua residual recolectados del efluente de la planta quesera San Santiago, misma que se obtuvo mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, debido a que no fue necesario contar con una muestra aleatoria que represente una población más amplia, dado que el efluente total no exceden los 1300 litros, como se indica líneas arriba, de tal forma que este muestreo permitió seleccionar una cantidad de efluentes accesibles (Behar, 2008).

3.2.8. Variables de estudio

Variable independiente

Lombrifiltro y lentejas de agua (*Lemna gibba*) asistido por microorganismos.

- Aplicación del lombrifiltro asistido por microorganismos
- Aplicación del lombrifiltro y lenteja de agua asistido por microorganismos
- Aplicación del lombrifiltro, lenteja de agua y biofiltro asistido por microorganismos

Variable dependiente

Biorremediación de aguas residuales

- Características físicas
- Características químicas

3.2.9. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidad	Método
Lombrifiltro y lentejas de agua (<i>Lemna gibba</i>) asistido por microorganismos.	Aplicación de lombrifiltro Aplicación del lombrifiltro y lenteja de agua Aplicación del lombrifiltro, lenteja de agua y biofiltro	Carga contaminante DQO	mg/l	Método Espectrofotométrico

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidad	Método
Biorremediación de aguas residuales	Características físicas	SDT	ppm	Método Colorímetro
		DQO	ppm	Método Espectofomét rico
	Características químicas	DBO	ppm	Método Respiro Métrico
		Fosfatos	ppm	Método Colorímetro
		Nitratos	ppm	Método Colorimetría

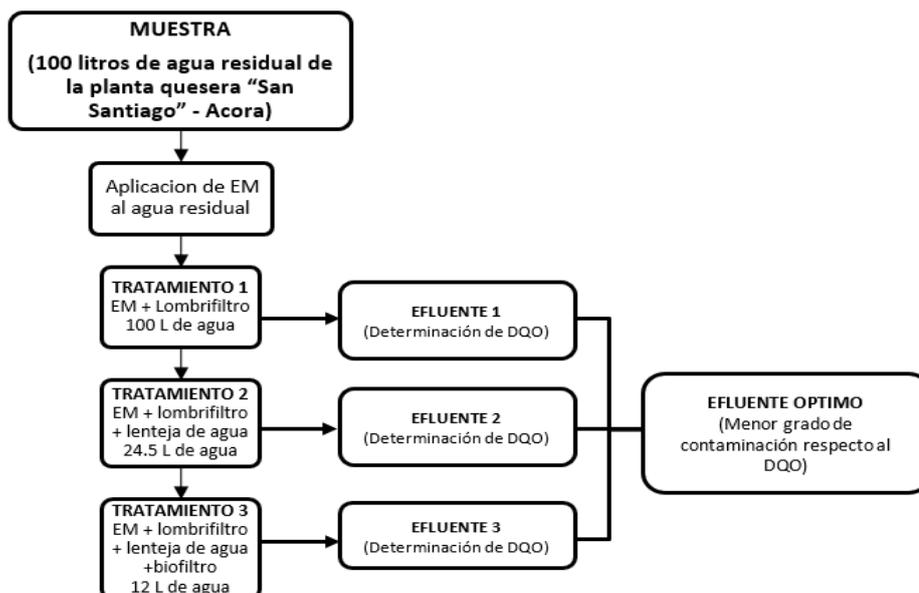
3.3. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS

- Esquema experimental

En la figura 4, se muestra el esquema experimental para realizar el efecto de lombrifiltro, lentejas de agua y biofiltro.

Figura 4

Esquema experimental



EM: Microorganismos Eficaces



3.3.1. Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales de la planta quesera.

Para el cumplimiento del objetivo, se utilizaron estadísticos descriptivos que ayudaron a clasificar los resultados obtenidos en laboratorio para la correcta caracterización y posterior interpretación de cada uno de los parámetros de interés antes del desarrollo del experimento; es decir, en su estado natural en el cual son vertidos en el ambiente luego de su proceso productivo

Descripción del proceso experimental

PASO 1: Toma de muestras de aguas residuales

Se realizó en el punto de descarga de los efluentes generados por la planta quesera "San Santiago"; las muestras se recolectaron durante un día para obtener una representación precisa de la calidad de las aguas residuales, las muestras fueron almacenadas en recipientes inocuos, siguiendo los protocolos de preservación, garantizando que no ocurran cambios en los parámetros fisicoquímicos antes de su análisis en el laboratorio, esto permitió mantener la integridad de los datos obtenidos para la caracterización inicial; para la toma de muestra se adaptó según (Quille, 2019).

PASO 2: Caracterización fisicoquímica inicial

Para este proceso se tomó la muestra de un litro de agua residual de la planta quesera y fueron enviadas al laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Química y se midieron los siguientes parámetros:



- Demanda Química de Oxígeno (DQO): Se determinó la cantidad de materia orgánica presente en el agua.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Se midió el consumo de oxígeno por los microorganismos durante la descomposición de materia orgánica.
- pH: Se definió el nivel de acidez o alcalinidad del agua.
- Fosfatos y Nitratos: Se midió la concentración de nutrientes presentes en el agua.
- Sólidos Totales (ST): Se evaluó la cantidad de partículas suspendidas y disueltas en los efluentes.

PASO 3: Aplicación de microorganismos eficaces

Se trabajo con 100 litros de aguas residual de la planta quesera “San Santiago” a temperatura ambiente y se utilizó Microorganismos Eficaces activado 100 ml, durante el periodo de 35 días.

PASO 4: Diseño experimental e implementación de los tratamientos

Se implementaron tres sistemas de tratamiento independientes: lombrifiltro, lentejas de agua y biofiltro; cada sistema se replicó para asegurar la fiabilidad de los datos.

a) Lombrifiltro

Según Quille (2019) para este método trabajó con un módulo de lombrifiltro de 1.5 m² con la cantidad de residuo lácteo de 5.7 litros/día, con 250 lombrices en estado adulto y con una tasa de riego de 3.8 litros/m²/día.



Bajo ese contexto, este sistema consistió en un lecho filtrante compuesto por capas de grava, arena y lombrices, cuya composición se detalló en figura 3; para este tratamiento se utilizó el lombrifiltro, donde se trabajó con 100 litros de agua residual de la planta quesera “San Santiago” asistido por EM, el cual fue aplicado por un sistema de riego manual al lombrifiltro en un aproximado de 4.5 litro/día del agua residual de la planta quesera “San Santiago” asistido por EM, se aplicó las lombrices en un estado adulto aproximadamente de 167 unidades, y se trabajó con una tasa de riego de 4.5 litros/m²/día. (ver anexo 4).

El periodo de aplicación de lombrifiltro fue un litro por minuto aproximadamente del agua residual de la planta quesera “San Santiago”, desde ese momento se empezó a realizar el análisis del parámetro DQO una vez por semana hasta concluir las cuatro semanas.

b) Lentejas de agua (*Lemna gibba*)

Se acondicionó un módulo con lentejas de agua, para que absorban nutrientes como nitratos y fosfatos; considerando que las lentejas de agua resultaron ser útiles para reducir la concentración de nutrientes, para este tratamiento se utilizó la lenteja de agua, el cual esta lenteja de agua tuvo una aclimatación de 5 días a temperatura ambiente del lugar donde fueron acondicionado los tratamientos, asimismo para la aclimatación de la lenteja de agua fue de aproximadamente 2 kg, esto con la finalidad de saber si estas lentejas se mantendrían con vida, pasado los 5 días se aplicó solo 22.5 g de lentejas de agua al recipiente de vidrio y a la vez con aproximadamente 24.5 litros del efluente tratado con el lombrifiltro (tratamiento 1), este efluente fue



acumulado de los siete primeros días del tratamiento 1, por día se juntó 3.5 litros aproximadamente; para la determinación de la cantidad de lentejas de agua se aplicó la fórmula (Landesman et al., 2005) (ver anexo 5).

La aplicación del tratamiento de lenteja de agua fue por el método de circulación del efluente, para que así puede tener ventilación y genere oxígeno a la lenteja de agua, esto fue a través de una bomba acompañado de un envase, la ventilación de manera constante y desde el día 8 se realizó el análisis del parámetro DQO una vez por semana hasta concluir las cuatro semanas; se tuvo la referencia y metodología de Hemalatha y Venkata (2022).

c) Biofiltro

El biofiltro consistió en un medio filtrante compuesto de grava o arena, como se detalló en la figura 3, para este tratamiento se utilizó el biofiltro, donde se trabajó con 12 litros de efluente tratado con el lombrifiltro y lentejas de agua (tratamiento 2).

El tiempo de aplicación del biofiltro fue un litro por minuto aproximadamente del efluente del tratamiento 2 (a partir del día 8 del tratamiento 2), desde ese momento se aplicó una vez por semana al biofiltro el efluente, asimismo se realizó el análisis del parámetro DQO una vez por semana hasta concluir las cuatro semanas.

PASO 5. Monitoreo y evaluación del desempeño de los tratamientos

Durante los 36 días de tratamiento, se tomaron muestras semanales de los efluentes tratados en cada sistema para evaluar el parámetro DQO, se tomaron 100 ml del efluente en cada muestra, asimismo las muestras del



lombrifiltro y el tratamiento con lenteja de agua fueron tomadas a las 8:00 am, sin embargo, la muestra del biofiltro fue tomadas a las 9:30 am, estas muestras eran refrigeradas a temperatura ambiente y llevadas al laboratorio. Los parámetros fisicoquímicos fueron evaluados mediante los procedimientos estandarizados empleados en la caracterización inicial, hecho que permitió comparar los resultados obtenidos antes y después del tratamiento para determinar la eficiencia en la remediación de las aguas servidas.

PASO 6. Análisis de resultados

Se realizó un análisis estadístico de los resultados obtenidos para determinar la eficacia de cada tratamiento, aplicando pruebas estadísticas si se existen diferencias significativas en los niveles de DQO antes y después de la implementación de los sistemas de tratamiento.

PASO 7. Selección del mejor tratamiento

Fueron tres los tratamientos, T1: lombrifiltro asistido por microorganismos eficaces, T2: lombrifiltro y lentejas de agua asistido por microorganismos eficaces y T3: lombrifiltro, lentejas de agua y biofiltro asistido por microorganismos eficaces, se seleccionó el tratamiento del parámetro DQO que demostró mayor porcentaje de remoción, para determinar los parámetros fisicoquímicos.

3.3.2. Diferencias respecto al parámetro químico DQO antes y después de los tratamientos

Después de desarrollar el análisis descriptivo antes y después del tratamiento, se llevó a cabo el procedimiento siguiente a nivel estadístico:



- Prueba de Tukey

La prueba de Tukey, desarrollada por John W. Tukey en 1949, es un método estadístico ampliamente utilizado en el análisis de datos experimentales para realizar comparaciones múltiples entre las medias de diferentes grupos. Este procedimiento se basa en el análisis de varianza (ANOVA) y es especialmente útil cuando se busca identificar qué grupos tienen diferencias significativas entre sí.

El fundamento de la prueba radica en la comparación de todos los posibles pares de medios mediante un rango estandarizado, que permite calcular un rango crítico. Este enfoque controla el error tipo I acumulativo, lo que asegura que las conclusiones derivadas de las comparaciones sean estadísticamente válidas incluso al realizar múltiples pruebas. Por esta razón, la prueba de Tukey es una herramienta esencial en estudios donde se evalúan varios tratamientos o condiciones experimentales, como en investigaciones científicas relacionadas con biología, ingeniería ambiental o ciencias sociales (Tukey, 1949).

- Análisis de varianza

Para realizar la comparación de la carga contaminante del agua residual de la planta quesera “San Santiago” antes y después del efecto del Lombrifiltro y lentejas de agua (*Lemna gibba*) asistido por Microorganismos Eficaces para la remediación de aguas residuales de la planta quesera “San Santiago”, con relación al parámetro (DQO), se realizó con una muestra de los distintos tratamiento completamente al azar, lo cual permitirá analizar las variables de

DQO y así poder realizar la comparación de los tratamientos con la prueba de Tukey.

- **Matriz de diseño**

En la Tabla 2, se da a conocer la cantidad de tratamientos, para realizar la comparación de la carga contaminante del parámetro DQO de los efluentes, para así poder realizar la caracterización físico química del tratamiento que tenga el mayor porcentaje de remoción del parámetro DQO.

Tabla 2

Matriz de diseño según cantidad de tratamientos para el diseño en bloques completamente al azar.

Semanas	Tratamientos		
	Aplicación del lombrifiltro (T1)	Aplicación de lombrifiltro y lenteja de agua (T2)	Aplicación de lombrifiltro, lenteja de agua y biofiltro (T3)
Semana 1	DQO (ppm)	DQO (ppm)	DQO (ppm)
Semana 2	DQO (ppm)	DQO (ppm)	DQO (ppm)
Semana 3	DQO (ppm)	DQO (ppm)	DQO (ppm)
Semana 4	DQO (ppm)	DQO (ppm)	DQO (ppm)

3.3.3. Caracterización fisicoquímica (DQO, DBO, pH, fosfatos, nitratos y sólidos totales) del efluente con mayor porcentaje de remoción del parámetro DQO

Para la caracterización fisicoquímica, se seleccionó el tratamiento que demostró ser más eficiente en el parámetro DQO para la remoción de contaminantes de las aguas residuales de la planta quesera “San Santiago”. Por la metodología de la tabla 3



Tabla 3

Metodología para la determinación de parámetros físico químico

Parámetros físico químico	Parámetros	Unidad	Metodología
Características físicas	SDT	ppm	Método Colorímetro
	DQO	ppm	Método Espectofométrico
Características químicas	DBO	ppm	Método Respirómetro
	Fosfatos	ppm	Método Colorímetro
	Nitratos	ppm	Método Colorimetría



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LAS AGUAS RESIDUALES ANTES DE LA PLANTA QUESERA “SAN SANTIAGO”

Resultados primigenios de la caracterización físico química de las aguas residuales del efluente de la planta quesera “San Santiago” que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4

Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales antes del tratamiento

Parámetros	Unidad	Características físico química	Estándares de calidad ambiental (Categoría 3)
Potencial de Hidrógeno	pH	3.47	6.5 – 8.5
Conductividad Eléctrica	uS/cm	4540	2500
Sólidos Totales Disueltos (STD)	ppm	2210	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	ppm	13644	40
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	ppm	5457	15
Fosfatos	ppm	2.51	0.1
Nitratos	ppm	250	100

Nota: Resultados del “Laboratorio de Control de Calidad FIQ-UNAP”.

De acuerdo a la tabla 4, en primer lugar, con respecto al parámetro pH de 3.47 indica que es un agua ácida o de mala calidad, teniendo conocimiento de que su valor estándar debería situarse entre 6.5 - 8.5, fue posible afirmar la existencia de una acidez



extremadamente alta, lo cual resultó preocupante porque un pH tan bajo puede ser corrosivo y dañino para la vida acuática, así como para las infraestructuras de tratamiento de agua; en relación a la conductividad eléctrica se encontró un valor de 4540 $\mu\text{S}/\text{cm}$, conociendo además que su rango estándar es menor a 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se infiere que está muy por encima del valor aceptable, indicando una alta concentración de iones disueltos en el agua, sugiriendo la presencia de contaminantes como sales y metales pesados; en tercer lugar, en los Sólidos Totales Disueltos (STD), su valor fue de 2210 ppm, entendiendo que este debería estar por debajo de 500 ppm, se comprueba la existencia de una elevada concentración de partículas disueltas, afectando en consecuencia la calidad del agua, haciéndola inadecuada para su uso.

Asimismo, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) tiene un valor de 13644 ppm, que es muy superior a 40 ppm, valor DQO extremadamente alta, es indicio de una carga orgánica muy elevada, indicando la presencia de sustancias químicas y orgánicas que demandan oxígeno para su oxidación, dejando en claro el nivel de contaminación orgánica y que esta requiere tratamiento intensivo; continuando con la Demanda Bioquímica de Oxígeno tiene un valor de 5457 ppm, que es muy superior a 15 ppm, es así que se interpretó que una DBO alta reflejó una gran cantidad de materia orgánica biodegradable en el agua, que consume oxígeno disuelto.

Ahora bien, con relación a los fosfatos, se obtuvo un valor de 2.51 ppm,; sin embargo, debe ser menor a 0.1 ppm, se identificó niveles de fosfatos altos, lo que pudo contribuir a la eutrofización, promoviendo el crecimiento excesivo de algas y deteriorando la calidad del agua; además, se tiene el parámetro de Nitratos con un valor de 250 ppm, y considerando que debería ser menor a 100 ppm, esta concentración evidencia ser alta y tóxica; en síntesis los resultados del análisis de laboratorio indican

que la muestra de agua está gravemente contaminada y no cumple con los estándares de calidad aceptables para varios parámetros clave.

Esta situación no es ajena a los valores encontrados por Orozco y Sánchez (2020) en su estudio de la industria láctea y Hemalatha y Venkata Mohan (2022) en su análisis de la industria láctea de Telangana; agregando el análisis crítico, estos resultados muestran condiciones de acidez extrema y una alta concentración de sustancias orgánicas e inorgánicas, reflejadas en los valores elevados de DQO y STD, así como en la conductividad eléctrica y los nitratos, infiriendo que las prácticas industriales tienden a priorizar la producción sobre la gestión ambiental eficiente, destacando la necesidad urgente de mejorar las prácticas de tratamiento y gestión de residuos en la industria para mitigar su impacto ambiental.

4.2. DIFERENCIAS ENTRE LOS PARÁMETROS DQO ANTES Y DESPUÉS DE LOS TRATAMIENTOS

En la tabla 5, se especifican los valores de DQO encontrados en laboratorio, luego del análisis de las aguas residuales llevadas a cabo antes y después del tratamiento, adicionalmente se detalla que número de tratamiento corresponde cada valor de acuerdo con el número de repeticiones que se desarrollaron, este paso resulta fundamental dado que se evidencia la variación de los parámetros de DQO:

Tabla 5

Parámetros químicos DQO antes y después de los tratamientos

Zona	Unidad de medida	Repetición	DQO
Tratamiento 1 (EM+Lombrifiltro)	Ppm	1	7846
	Ppm	2	7792
	Ppm	3	7940
	ppm	4	8148

Tratamiento 2	Ppm	1	7114
(EM+Lombrifiltro +	Ppm	2	7168
Lentejas de agua)	Ppm	3	7060
	ppm	4	7013
Zona	Unidad de medida	Repetición	DQO
Tratamiento 3	Ppm	1	6475
(EM+Lombrifiltro +	Ppm	2	6912
Lentejas de agua +	Ppm	3	6820
Biofiltro)	ppm	4	6760

Nota: Resultados del “Laboratorio de Control de Calidad FIQ-UNAP”

De acuerdo a la tabla 5, podemos observar los valores del parámetro DQO para cada tratamiento y en cada semana, se puede observar que el tratamiento 1 cuenta con valores elevados a comparación del tratamiento 2 y 3, asimismo el tratamiento 3 respecto al parámetro DQO cuenta con el menor valor.

En segundo lugar, fue necesario determinar los datos correspondientes al parámetro DQO, para determinar cuál del tres tratamientos tuvo el mayor porcentaje de remoción según el parámetro DQO.

Tabla 6

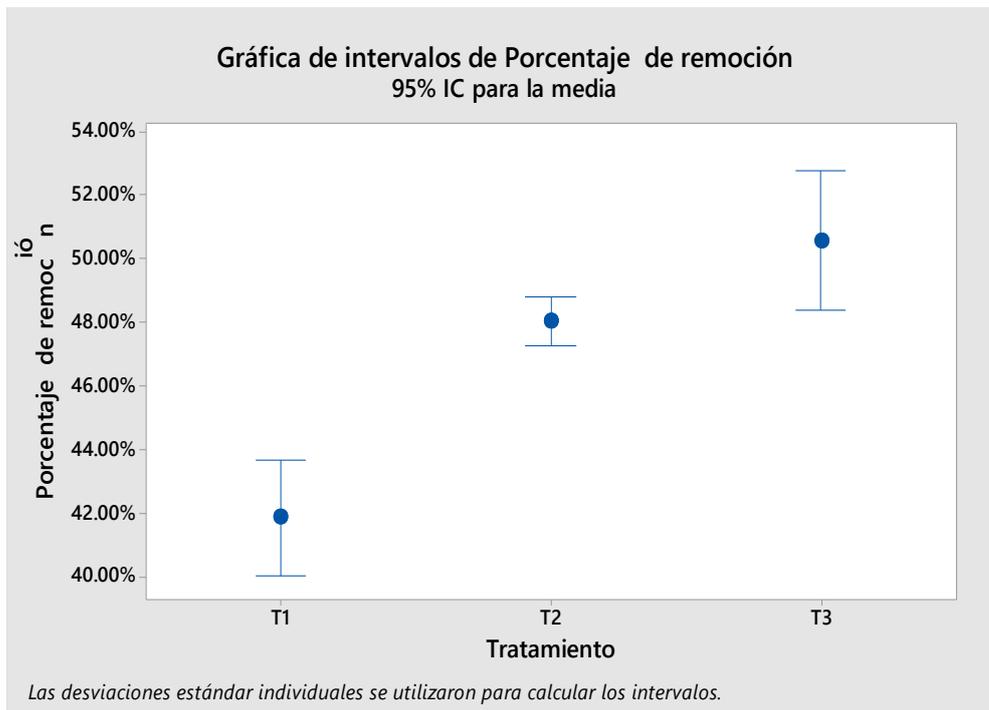
Resultados de la demanda química de oxígeno DQO, antes y después de la aplicación del lombrifiltro, lenteja de agua y biofiltro

Parámetro	AR	Tratamientos		
		T1	T2	T3
Demanda química de oxígeno DQO (ppm)	13 644	7 932	7 089	6 742
% Remoción		41.87 %	48.04 %	50.59 %

Nota: Resultados del “Laboratorio de Control de Calidad FIQ-UNAP”

Figura 5

Porcentaje de remoción de los tratamientos respecto al parámetro DQO



Donde:

AR = Agua residual antes del tratamiento

T1 = Aplicación del lombrifiltro al agua residual asistido por microorganismos eficaces

T2 = Aplicación del lombrifiltro y lenteja de agua al agua residual asistido por microorganismos eficaces

T3 = Aplicación del lombrifiltro, lenteja de agua y biofiltro al agua residual asistido por microorganismos eficaces

En la tabla 6 y figura 5 podemos observar que existe diferencias significativas entre los tratamientos respecto al porcentaje de remoción de la carga contaminante (DQO) del agua residual, el tratamiento T3 (Aplicación de lombrifiltro, lentejas de agua y biofiltro asistido con microorganismos eficaces) logró mayor porcentaje de remoción seguido de los tratamientos T2 (Aplicación de lombrifiltro y lentejas de agua



asistido con microorganismos eficaces), lo cual se puede deducir que la operación complementaria (aplicación del biofiltro) influyó en la reducción de la carga contaminante.

Los tratamientos aplicados para el tratamiento de las aguas residuales de acuerdo al análisis de varianza (anexo 3) contribuyen significativamente en la DQO y a su vez existen diferencias significativas respecto a la carga contaminante a un nivel de significancia del 95%.

Para determinar con mayor precisión qué método tuvo un impacto significativo en la reducción de la DQO, se realizó una prueba de comparación de Tukey (Anexo 3) con un nivel de significancia del 5%, los resultados indican que el tratamiento 3 (aplicación de lombrifiltro, lentejas de agua y biofiltro asistido con microorganismos eficaces) es significativamente diferente en comparación con los tratamientos 1 y 2 (aplicación del lombrifiltro y aplicación del lombrifiltro con lenteja de agua), donde estos tratamientos lograron porcentajes de reducción de la demanda química de oxígeno, con valores de 41.87% y 48.04%, respectivamente, a comparación del tratamiento 1, que alcanzó una reducción del 50.59% (Tabla 6), resultados que van de la mano con Chahua (2021) que mediante el método de lombrifiltro trató aguas residuales durante 10 semanas y logrando eficiencia en el método del lombrifiltro de 96% para la DBO5 total y 92% para la DBO5 soluble, del 72% para los Sólidos Suspendidos Totales y 84% para los Sólidos Suspendidos Volátiles; de igual forma se tiene a Quille (2019) en la evaluación del efecto de uso de microorganismos eficaces y un lombrifiltro en los residuos lácteos que alcanzó porcentajes de remoción de DQO del 78.39%; en síntesis, tales valores de reducción en su mayoría cercanos al 100%, lo que evidencian la importancia de estas metodologías para el tratamiento de aguas residuales, denotando cambios significativos y favorables.

En cuanto a otras investigaciones, se tienen a Ahmad et al. (2021) que en Malasia cultivaron microalgas como *Chlorella* y *Dunaliella* y lograron eliminar de forma significativa hasta un 80% de demanda química de oxígeno (DQO) y Das et al. (2019) que cultivó la microalga *Chlorella* sp A5 en la India y logró reducir los niveles demanda química de oxígeno en un 97.8%; valores que resultan superiores al del presente trabajo donde la reducción fue de 53.3% aproximadamente en el parámetro analizado, de tal forma que se puede que los resultados varían dependiendo de la variedad de agente descontaminante que se utiliza para el tratamiento de aguas residuales; agregando el análisis crítico, es posible afirmar que la variabilidad en los resultados puede atribuirse a diferencias en las condiciones operativas, duración del tratamiento o características semejantes o diferenciales de las aguas residuales tratadas, además que la selección del agente de tratamiento impacta significativamente en la eficiencia de remoción de contaminantes.

4.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EFLUENTE CON MAYOR PORCENTAJE DE REMOCIÓN DEL PARÁMETRO DQO

Resultados post tratamiento de las aguas residuales de la planta quesera “San Santiago”, específicamente de aquel efluente cuyo porcentaje de mayor remoción (tratamiento 3)

Tabla 7

Caracterización fisicoquímica del efluente con mayor porcentaje de remoción de parámetro DQO en las aguas residuales después del tratamiento

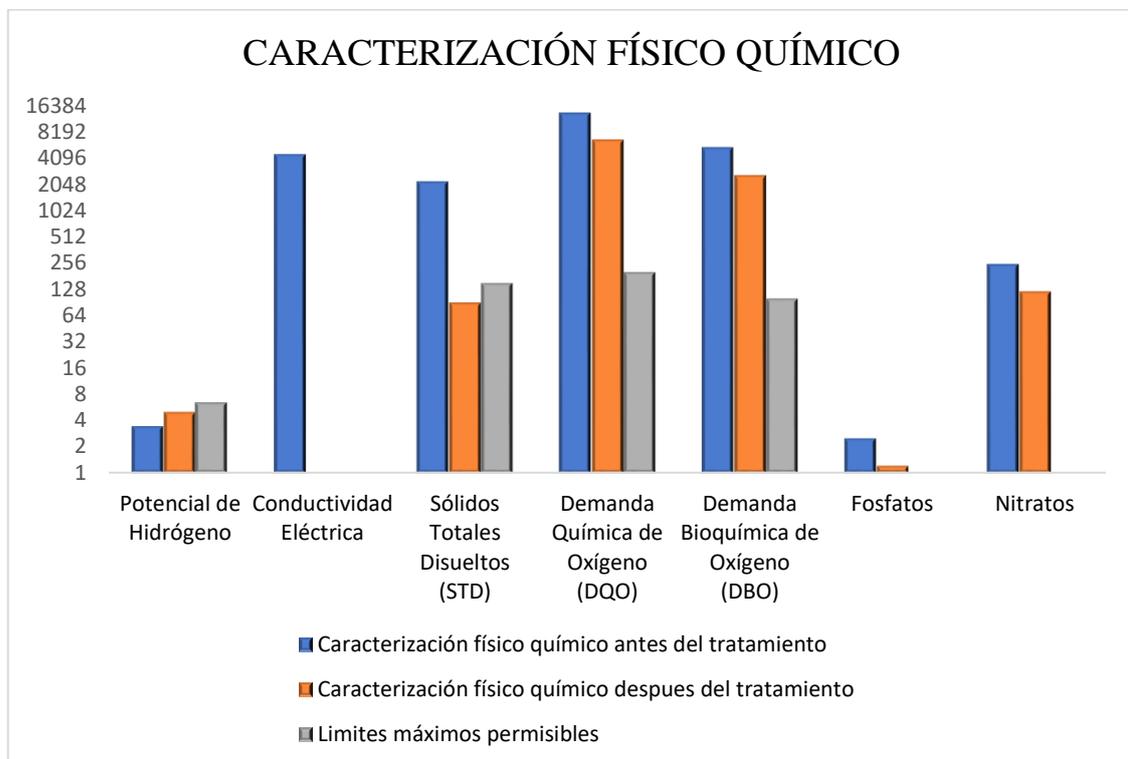
Parámetros	Unidad	Antes del tratamiento	Post tratamiento (tratamiento 3)	Límites máximos permisibles
Potencial de Hidrógeno	pH	3.47	5.01	6.5 – 8.5

Parámetros	Unidad	Antes del tratamiento	Post tratamiento (tratamiento 3)	Límites máximos permisibles
Conductividad Eléctrica	uS/cm	4540	--	--
Sólidos Totales Disueltos (STD)	ppm	2210	89.70	150
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	ppm	13644	6520	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	ppm	5457	2562	100
Fosfatos	ppm	2.51	1.22	--
Nitratos	ppm	250	120	--

Nota: Resultados del "Laboratorio de Control de Calidad FIQ-UNAP"

Figura 6

Caracterización físico químico antes y después de los tratamientos



De acuerdo a la tabla 7 y figura 6, se encontró que, en primer lugar, respecto al pH el valor medio fue 5.01, considerando que debe estar entre 6.5 - 8.5, se pudo



afirmar que el nivel de acidez puede ser corrosivo y perjudicial en las aguas residuales, pero que si se redujo en una proporción considerable con respecto a las aguas residuales iniciales; segundo, en los Sólidos Totales Disueltos, el valor medio fue de 89.70 ppm y como anteriormente se aclaró que este debe situarse por debajo de 150 ppm, fue posible una baja concentración de sólidos disueltos, sugiriendo que el agua tiene una carga relativamente baja de sales y otros compuestos solubles; continuando con la Demanda Química de Oxígeno, se determinó el valor de 6520 ppm, es extremadamente alta, lo que sugirió una gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos que requieren oxidación; adicionando en análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, fue de 2562 ppm y teniendo conocimiento de que debe ser menor a 100 ppm, se analizó que la DBO también es extremadamente alta, reflejando una alta cantidad de materia orgánica biodegradable que consume oxígeno disuelto en el agua; en relación a los fosfatos el valor determinado fue de 1.22 ppm, lo que indicó que aún son significativamente altos contribuyendo a la eutrofización, promoviendo el crecimiento excesivo de algas y deteriorando la calidad del agua; finalmente en cuanto a los nitratos, se halló un valor de 120 ppm, lo que permitió afirmar que aún es extremadamente alta pese al tratamiento desarrollado y ser tóxica. En síntesis, el tratamiento desarrollado logró reducir los niveles de contaminantes en las aguas residuales a nivel de los parámetros estudiados, sin embargo, aún continúan siendo potencialmente contaminantes para el medio ambiente, ya que los efluentes son vertidos a la intemperie, específicamente en zonas cercanas a la planta quesera.

En resumen, el tratamiento logró disminuir los niveles de contaminantes en las aguas residuales, pero estas siguen siendo potencialmente dañinas para el medio ambiente; y aun no cumplen con los límites máximos permisibles.



Pues estudios como los de Tabelini et al. (2023) que también trataron aguas residuales lácteas en parámetros como el DQO y DBO₅ alcanzaron reducciones superiores al 70% y 75%, respectivamente; de igual forma Miito et al. (2021) durante seis meses evaluaron la eficiencia de un lombrifiltro en una granja lechera en el territorio de Washington, es así que en ese lapso de tiempo logra reducir significativamente los contenidos de sólidos totales en un $21\pm 7.0\%$, y los sólidos suspendidos totales en un $68\pm 10\%$, la DQO la reduce en un $45\pm 4.1\%$, además, los niveles de nitrógeno total, nitrógeno amoniacal total y nitrato-nitrógeno redujeron en un $81\pm 7.1\%$, $77\pm 8.4\%$ y $74\pm 9.5\%$, respectivamente, del mismo modo, los niveles de fósforo total y ortofosfato disminuyeron en un $48\pm 6.0\%$ y $3.9\pm 19.2\%$.

En el mismo sentido Pous et al. (2021) trataron aguas residuales basado en tecnología natural, como vermifiltros y reactores inspirados en zooplancton a nivel de escala piloto en un período de 10 meses, así pues encontraron que la vermifiltración demuestra una eficiente remoción promedio del $88\pm 7\%$, $89\pm 8\%$, $91\pm 8\%$ y $85\pm 19\%$ para DQO, TSS, NH₄⁺ y DBO₅, respectivamente; finalmente se tiene el caso de Orozco y Sánchez (2020) donde trataron agua residual de origen lácteo durante 66 días con lombrifiltro y lograron una significativa reducción de la carga contaminante en el agua, con una eliminación del 77% de DQO, del 68% de turbidez, del 65% de sólidos en suspensión y del 63% de aceites y grasas, además, el pH del agua se mantuvo en un nivel neutro.

De igual forma debe mencionarse a Ahmad et al. (2021) que investigaron la capacidad de las microalgas en la biorremediación de aguas residuales en Malasia, donde cultivaron diferentes tipos de microalgas en aguas residuales industriales, agrícolas y municipales encontrando que las microalgas, como Chlorella y Dunaliella, fueron efectivas en el tratamiento de aguas residuales, que lograron eliminar hasta un



90% de fósforo total, un 80% de demanda química de oxígeno (DQO) y un 70% de nitrógeno total de las aguas residuales tratadas valores que resultan superiores al del presente trabajo pues la reducción de 13644 ppm a 6520 ppm, que representa una reducción de 53.3% aproximadamente en el parámetro DQO.

Además, la investigación de Das et al. (2019) donde con la ayuda de la microalga *Chlorella sp* A5 removió nutrientes y carga orgánica de aguas residuales de la industria láctea, en un laboratorio de Tecnología de Alimentos e Ingeniería Bioquímica de la India, específicamente logró reducir los niveles de DBO en un 98.5%, DQO en un 97.8%, NTK en un 92.6% y PT en un 99.2% al final del proceso de tratamiento con las microalgas, respaldando la eficacia de *Chlorella sp* A5 en la remoción de contaminantes; de tal forma que es posible afirmar que la biorremediación de aguas residuales tiene resultados más significativos en tanto se seleccionen la variedad ideal de agentes descontaminantes, siendo ello el principal motivo de la diferencia en los resultados, en cuanto al análisis crítico, las diferencias de resultados se atribuyen claramente a diferencias en la metodología, duración del tratamiento o características específicas de las aguas tratadas, sin embargo la aplicación de esta metodología reporta de igual forma beneficios favorables para el medio ambiente y ecosistemas directa e indirectamente relacionados.



V. CONCLUSIONES

PRIMERO: La caracterización fisicoquímica de las aguas residuales antes del tratamiento en la planta quesera “San Santiago” – Acora presenta valores elevados, pues con respecto al parámetro pH con un valor de 3.47, tiene características ácidas dado que es inferior al rango de 6.5 - 8.5; en relación a la conductividad eléctrica su valor es de 4540 $\mu\text{S}/\text{cm}$, demostrando una alta concentración de iones disueltos en agua pues excedió el valor estándar de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; en tercer lugar, los Sólidos Totales Disueltos (STD), con un valor de 2210 ppm, confirma la existencia de una elevada concentración de partículas disueltas superando el valor de 500 ppm, considerado como normal y/o adecuado; adicionando la Demanda Química de Oxígeno (DQO) con un valor hallado de 13644 ppm es indicio de una carga orgánica muy elevada, indicando la presencia de sustancias químicas y orgánicas que demandan oxígeno para su oxidación, cuando este debería ser menor a 40 ppm; continuando con la Demanda Bioquímica de Oxígeno el valor encontrado fue de 5457 ppm, que es alta por la gran cantidad de materia orgánica biodegradable en el agua, que consume oxígeno disuelto; con relación a los Fosfatos, se halló un valor de 2.51 ppm, lo que contribuye a la eutrofización, promoviendo el crecimiento excesivo de algas y deteriorando la calidad del agua; agregando al parámetro Nitratos con un valor de 250 ppm; en síntesis los resultados del análisis de laboratorio indican que la muestra de agua está gravemente contaminada.



SEGUNDO: Existen diferencias significativas entre la carga contaminante antes y después de los tratamientos aplicados a las aguas residuales de la planta quesera “San Santiago” – Acora, valorados bajo el parámetro químico DQO, debido a que según el análisis estadístico Tukey a un nivel de significancia de 5%, existe diferencias significativas entre los valores registrados en el porcentaje de remoción de DQO de las muestras de agua residual antes y después de los tratamientos aplicados; con reducciones de 41.87% para el tratamiento T1; 48.04% para el tratamiento T2; y 50.59% para el tratamiento T3; asimismo valores reducidos en 13644 ppm a 7792 ppm para el tratamiento T1; a 7013 ppm para el tratamiento T2; y a 6472 ppm para el tratamiento T3, en síntesis el tratamiento con mayor porcentaje de remoción fue el tratamiento 3 (lombrifiltro, lentejas de agua y biofiltro asistido por microorganismos eficaces)

TERCERO: La caracterización fisicoquímica del efluente con mayor porcentaje de remoción de parámetro DQO en las aguas residuales después del tratamiento en la planta quesera “San Santiago” – Acora presenta una reducción en los valores de los parámetros de interés, es así el caso del pH con un valor medio de 5.01, mucho más cerca al valor ideal de 6.5 - 8.5; segundo, en los Sólidos Totales Disueltos el valor fue de 89.70 ppm entrando en el rango por debajo de 150 ppm con una carga relativamente baja de sales y otros compuestos solubles; continuando con la Demanda Química de Oxígeno, con el valor de 6520 ppm que aún es relativamente alto y la Demanda Bioquímica de Oxígeno, fue de 2562 ppm también relativamente alto; en relación a los fosfatos el



valor determinado fue de 1.22 ppm; finalmente en cuanto a los nitratos, el valor fue es 120 ppm, aún es extremadamente alta pese al tratamiento desarrollado; en síntesis, el tratamiento 3 (lombrifiltro, lentejas de agua y biofiltro asistido por microorganismos eficaces) logró reducir los niveles de contaminantes en las aguas residuales, sin embargo aún continúan siendo potencialmente contaminantes para el medio ambiente.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERO: Dado que las aguas residuales de la planta quesera presentan valores extremadamente altos de contaminantes antes del tratamiento, se recomienda implementar un pretratamiento que incluya neutralización del pH y reducción inicial de cargas de sólidos disueltos y orgánicos. Esto podría incluir la utilización de reactores químicos para ajustar el pH y procesos de coagulación-floculación para reducir sólidos y materia orgánica antes de someter el agua al tratamiento con lombrifiltro y lentejas de agua.

SEGUNDO: Se recomienda realizar estudios adicionales para evaluar y optimizar las combinaciones de tratamiento de lombrifiltro, lenteja de agua y biofiltro; dado que hay diferencias significativas en la eficiencia de remoción de DQO entre los diferentes tratamientos, es esencial determinar las condiciones óptimas y las combinaciones más efectivas para maximizar la remoción de contaminantes y minimizar el impacto ambiental de las aguas residuales tratadas.

TERCERO: Para abordar los niveles aún elevados de DQO, DBO, fosfatos y nitratos después del tratamiento inicial, se recomienda la integración de tratamientos adicionales, tales como el uso de ozonización, filtros de carbón activado y bioreactores anaerobios para reducir significativamente las concentraciones de estos contaminantes y alcanzar niveles seguros para el medio ambiente.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, I., Abdullah, N., Koji, I., Yuzir, A., y Mohamad, S. (2021). Potential of microalgae in bioremediation of wastewater. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering y Catalysis*, 16(2), 413–429.
- Alianza por el Agua. (2015). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*. Edición Ideasmares.
- Arroyave, M. (2004). La lenteja de agua (*Lemna minor* L.): una planta acuática promisoría. *Revista EIA*, 1, 33–38.
- Behar, D. (2008). *Metodología de Investigación*. Editorial Shalom.
- BIOEM. (2009). Manual práctico de uso de EM. Edición N°1 - Uruguay. Obtenido de Proyecto reducción de pobreza y mejora de las condiciones higiénicas de los hogares de la población rural de menores recursos: http://www.emuruguay.org/images/Manual_Practico_Uso_EM_OISCA_BID.pdf.
- Brichieri, S. (2009). *The World Water Crisis*. Tauris y Co Ltd.
- Castillo, J., y Chimbo, J. (2021). Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales. *Enfoque UTE*, 12(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.29019/enfoqueute.746>
- Cayoja, G. (2021). *Sistema de tratamiento de aguas residuales de la población de Pucarani mediante el Método TOHÁ*. Universidad Mayor de San Andrés.
- Chahua, K. (2021). *Lombrifiltro para el tratamiento de aguas residuales domésticas*



- crudas utilizando como sustrato la borra de café.* Universidad Nacional de Ingeniería.
- Chulluncuy, N. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Calidad y Medio Ambiente*, 29.
- Cirelli, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147–170.
- Das, A., Adhikari, S., y Kundu, P. (2019). Bioremediation of wastewater using microalgae. *Environmental Biotechnology For Soil and Wastewater Implications on Ecosystems*, 55–60.
- de la Peña, M., Ducci, J., y Zamora, V. (2013). *Tratamiento de aguas residuales en México.*
- Eligio, M., Palomo, M., Taje, J., y Sánchez, J. (2021). Análisis de las variables físico-químicas y microbiológicas de las lagunas del municipio de Escárcega, Campeche, México. *European Scientific Journal*, 17(25).
- Frederiksen, H. (2009). The World Water Crisis and International Security. *Middle East Policy*, XVI(4).
- Gamarra, B. (2021). *Eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta - Sapallanga.* Universidad Continental.
- Garkal, D., Mapara, J., y Prabhune, M. (2015). Domestic waste water treatment by bio-filtration: a case study. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 4(1), 140–145.
- Ginez, P. (2021). Reducción de la contaminación de agua mediante aireación y



- cosecha de lenteja en la Bahía interior del Lago Titicaca, Puno. In *Universidad Nacional Agraria la Molina*.
- Guevara, A., y Verona, A. (2014). El derecho frente a la crisis del agua en el Perú. *Centro de Investigación, Capacitación y Asesoría Jurídica*.
- Hemalatha, M., y Venkata Mohan, S. (2022). Duckweed biorefinery – Potential to remediate dairy wastewater in integration with microbial protein production. *Bioresource Technology*, 346. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126499>
- Henderson, R. (2006). Testing experimental data for univariate normality. *Clinica Chimica Acta*, 366(1–2), 112–129.
- Hernández, R. (2010). *Metodología de la investigación* (5ta Edición). Mc Graw Hill.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (1997). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill.
- Herrera, E. (2008). *Metodología de la investigación*. Pearson-Prentice Hall.
- Jaramillo, M., y Restrepo, I. (2017). Wastewater reuse in agriculture: A review about its limitations and benefits. *Sustainability*, 9(10).
- Kharwade, A., Yadav, S., Patil, R., y Sharma, S. (2022). Tainted wastewater remediation through inverted multimedia biofilter. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1084(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1084/1/012071>
- Landesman, L., Parker, N., y Lim, J. (2005). Duckweed biomass production and nutrient removal by *Lemna minor* in wastewater treatment. *Water Environment Research*, 77(4), 319-324.



Ley de Recursos Hídricos (2017).

Lozada, R., Ramos, E., Choqueneira, R., Argota, G., y Iannacone, J. (2019). Reducción de la demanda bioquímica de oxígeno en las aguas residuales mediante lumbifiltración. *Paideia XXI*, 9(1), 63–68.

Marín, R. (2008). Características físicas, químicas y biológicas de las aguas. *Empresa Municipal de Aguas de Córdoba S.A.*

Martinez, E., Pérez, E., y Aguilar, A. (2017). Hedonic pricing model for the economic valuation of conservation land in Mexico City. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 223(1), 101–111.

Miito, G. J., Ndegwa, P., Peter, F., Seydou, S., Davis, R., y Harrison, J. (2021). Environmental technology y innovation A vermifilter system for reducing nutrients and organic-strength of dairy wastewater. *Environmental Technology y Innovation*, 23(101648). <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101648>

Millington, N., y Scheba, S. (2021). Day zero and the infrastructures of climate change: Water governance, inequality, and infrastructural politics in Cape Town's water crisis. *International Journal of Urban and Regional Research*, 45(1), 116–132.

Naciones Unidas. (2021). *Progreso en el tratamiento de las aguas residuales.*

Noriega, M., González, C., Pacheco, J., Sánchez, J., Jasso, M., y Ruiz, F. (2012). Desinfección y purificación de agua mediante nanopartículas metálicas y membranas compósitas. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 3, 87–100.

Orozco, P., y Sánchez, W. (2020). Biorremediación de las aguas residuales



- provenientes de la industria láctea a escala de laboratorio mediante el sistema Tohá. In *Universidad Nacional De Chimborazo*.
- Ortega, N. (2009). La crisis hídrica de la ciudad de México: Dimensiones y alternativas. *Premio Casa Del Tiempo 2009*.
- Pous, N., Barcelona, A., Sbardella, L., Gili, O., Hidalgo, M., Colomer, J., Serra, T., y Salvadó, V. (2021). Vermifilter and zooplankton-based reactor integration as a nature-based system for wastewater treatment and reuse. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, 4–9.
<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100153>
- Quille, L. (2019). Microorganismos eficaces y lombrifiltro para la remoción de residuos lácteos de la planta quesera “La Bodeguilla – Valle de Moquegua.” *Revista de Investigaciones: Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Del Altiplano de Puno*, 8(3).
- Ramalho, R. (2021). *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial Reverté.
- Ramos, H. (2019). Tratamiento de aguas residuales mediante el cultivo de la *Eisenia foetida* para poblaciones menores a 2000 habitantes, Puno. In *Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez*.
- Reynolds, K. (2002). Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. *Agua Latinoamérica*.
- Rodríguez, J., Gómez, E., Garavito, L., y López, F. (2010a). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 1(1), 59–68.



- Rodríguez, J., Gómez, E., Garavito, L., y López, F. (2010b). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 1(1), 59–68.
- Rodríguez, P. (2011). *Análisis de la Situación de las Aguas Servidas en Zonas Rurales de la IV, VI y RM de Chile y Proposición de un Sistema Sustentable para su Tratamiento*. Universidad de Chile.
- Saboya, X. (2018). *Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas-Amazonas*. Universidad Peruana Unión.
- Salehi, M. (2022). Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis. *Environment International*, 158.
- Salgot, M., y Folch, M. (2018). Wastewater treatment and water reuse. *Current Opinion in Environmental Science y Health*, 2, 64–75.
- Samal, K., Dash, R. R., y Bhunia, P. (2018). A comparative study of macrophytes influence on performance of hybrid vermifilter for dairy wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 4714–4726. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.07.018>
- Schuldt, M., Christiansen, R., Scatturice, L., y Mayo, J. (2007). Lombricultura. Desarrollo y adaptación a diferentes condiciones de temperie. *EDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 8(8), 1–10.
- Shah, A., y Shah, M. (2020). Characterisation and bioremediation of wastewater: a review exploring bioremediation as a sustainable technique for pharmaceutical wastewater. *Groundwater for Sustainable Development*, 11.



<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100383>

- Silva, J., Torres, P., y Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 347–359.
- Singh, R., Bhunia, P., y Dash, R. (2017). A mechanistic review on vermifiltration of wastewater: Design, operation and performance. *Journal of Environmental Management*, 197.
- Singh, R., Samal, K., Dash, R., y Bhunia, P. (2019). Vermifiltration as a sustainable natural treatment technology for the treatment and reuse of wastewater: A review. *Journal of Environmental Management*, 247, 140–151.
- Sinha, R., Bharambe, G., y Chaudhari, U. (2008). Sewage treatment by vermifiltration with synchronous treatment of sludge by earthworms: a low-cost sustainable technology over conventional systems with potential for decentralization. *The Environmentalist*, 28, 409–420.
- Sosa, D., Viguera, J., y Holguin, E. (2014). La biofiltración: Una alternativa sustentable para el tratamiento de aguas residuales. *Vidsupra, Visión Cient*, 6(2).
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2022). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del ámbito de las empresas prestadoras de servicios de saneamiento*. <https://www.sunass.gob.pe/lima/el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-el-peru-aumento-en-11-entre-el-2016-y-el-2020/>
- Tabelini, D. B., Lima, J. P. P., Borges, A. C., y Aguiar, A. (2023). A review on the characteristics and methods of dairy industry wastewater treatment in the state of Minas Gerais, Brazil. *Journal of Water Process Engineering*, 53, 103779.



<https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2023.103779>

Thangavelu, L., y Veeraragaan, G. (2022). A survey on nanotechnology-based bioremediation of wastewater. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 2022(1).

Tukey, (1949). TukComparaciones de medias en el análisis de varianza

Turki, Y., Mehri, I., Lajnef, R., Rejab, A., Khessairi, A., Cherif, H., Ouzari, H., y Hassen, A. (2017). Biofilms in bioremediation and wastewater treatment: characterization of bacterial community structure and diversity during seasons in municipal wastewater treatment process. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 3519–3530.

Unidas, N. (n.d.). *Desafíos Globales Población*.

Vymazal, J. (2011). El uso de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la República Checa: 20 años de experiencia

Zhang, Z., Getahun, E., Mu, M., y Chandrasekaram, S. (2023). Water supply planning considering uncertainties in future water demand and climate: A case study in an Illinois watershed. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 59(3), 449–465.

Zhao, M., Kou, J., Chen, Y., Xue, L., Fan, T., y Wang, S. (2021). Bioremediation of wastewater containing mercury using three newly isolated bacterial strains. *Journal of Cleaner Production*, 299.



ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de consistencia

EFECTO DE LOMBRIFILTRO Y LENTEJAS DE AGUA (*Lemna gibba*) ASISTIDO POR MICROORGANISMOS EFICACES PARA LA BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA QUESERA “SAN SANTIAGO” – ACORA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>Problema general. P.G.: ¿Cuál es el efecto de Lombrifiltro y lentejas de agua (<i>Lemna gibba</i>) asistido por Microorganismos Eficaces para la remediación de aguas residuales de la planta quesera “San Santiago” - Acora?</p>	<p>Objetivo General O.G.: Evaluar el efecto de lombrifiltro y lentejas de agua (<i>Lemna gibba</i>) asistido por microorganismos Eficaces para la remediación de aguas residuales de la planta quesera “San Santiago” - Acora.</p>	<p>Hipótesis General H.G.: La aplicación de Lombrifiltro y lentejas de agua (<i>Lemna gibba</i>) asistido por Microorganismos Eficaces influye en la remediación de las aguas residuales de la planta quesera “San Santiago” - Acora.</p>	<p>Variable Independiente: Lombrifiltro y lentejas de agua (<i>Lemna gibba</i>) Nivel: asistido por microorganismos.</p>	<p>Tipo Aplicado</p>
<p>Problemas Específicos P.E.1: ¿Cuál es la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales de la planta quesera “San Santiago” respecto a los parámetros (DQO, DBO, pH, Fosfatos, nitratos y sólidos disueltos totales)?</p> <p>P.E.2: ¿Cuál es la caracterización fisicoquímica (DQO, DBO, pH, Fosfatos, nitratos y sólidos disueltos totales) del efluente con mayor porcentaje de remoción del parámetro DQO?</p> <p>P.E.3: ¿Existen diferencias respecto al parámetro químico DQO antes y después de los tratamientos?</p>	<p>Objetivos Específicos O.E.1.: Realizar la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales de la planta quesera “San Santiago” respecto a los parámetros (DQO, DBO, pH, Fosfatos, nitratos y sólidos disueltos totales).</p> <p>O.E.2.: Realizar la caracterización fisicoquímica (DQO, DBO, pH, Fosfatos, nitratos y sólidos totales) del efluente con mayor porcentaje de remoción del parámetro DQO.</p> <p>O.E.3.: Analizar si existen diferencias respecto al parámetro químico DQO y después de los tratamientos.</p>	<p>Hipótesis Específicas. H.E.1.: La caracterización fisicoquímica de las aguas residuales de la planta quesera “San Santiago” respecto a los parámetros (DQO, DBO, pH, Fosfatos, nitratos y sólidos totales) presenta valores elevados.</p> <p>H.E.2.: La caracterización fisicoquímica (DQO, DBO, pH, Fosfatos, nitratos y sólidos totales) del efluente con mayor porcentaje de remoción del parámetro DQO presenta valores regulares.</p> <p>H.E.3.: Existen diferencias significativas respecto al parámetro químico DQO antes y después de los tratamientos</p>	<p>Variable dependiente: Biorremediación de aguas residuales -Características químicas (DBO, DQO, fosfatos, nitratos) -Características físicas (sólidos totales)</p>	<p>Diseño Experimental</p> <p>Enfoque: Mixto</p>



ANEXO 2. Resultados de laboratorio

-Aguas residuales antes del tratamiento



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



FIQ Nro **LQ-2023**

Nº **002194**

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL

PROCEDENCIA : PLANTA QUESERA SAN SANTIAGO

INTERESADO : CLAUDIA ARHUANCA ORDOÑEZ

MOTIVO : ANALISIS DE AGUA RESIDUAL

MUESTREO : 18/07/2023, por el interesado

ANÁLISIS : 18/07/2023

COD. MUESTRA : 8009-000451

CARACTERISTICAS FISICO - QUIMICAS

PARAMETROS FISICO QUIMICOS	UNIDAD	RESULTADOS	METODOS
1.- Potencial de Hidrogeno	pH	3.47	Potenciómetro
2.- Conductividad Eléctrica	µS/cm	4,540.00	Potenciómetro
3.- Demanda Química de Oxígeno	ppm	13,644.00	Método Espectrofotométrico
4.- Demanda Bioquímica de Oxígeno	ppm	5,457.00	Método respiro métrico
5.- Nitratos como NO ₃ ⁻	ppm	250.00	Colorimetría
6.- Fosfatos como PO ₄ ³⁻	ppm	2.51	Colorímetro
7.- Solidos totales disueltos	ppm	2,210.00	Colorímetro

Puno, C.U. 26 de junio del 2023.

VºBº



ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA - CIP - 182393




Walter B. Aparicio Aragón, Ph.D.
DECANO - FIQ - UNA



-Aguas residuales según tratamiento



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
Ciudad Universitaria- -apartado 291-TELEFAX 051 366190



MONITOREO DE REPORTE DE ANÁLISIS

ASUNTO : Análisis Químico de AGUA RESIDUAL PLANTA QUESERA

PROCEDENCIA : PLANTA QUESERA SAN SANTIAGO-ACORA

INTERESADO : CLAUDIA HINDIRA ARUHUANCA ORDOÑEZ

MOTIVO : ANALISIS DE AGUA RESIDUAL DE TRATAMIENTO 1 (LOMBRIFILTRO), TRATAMIENTO 2 (LENTEJA DE AGUA), TRATAMIENTO 3 (BIOFILTRO)

MUESTREO : 22/08/2023-26/09/2023. por el interesado

ANÁLISIS : 22/08/2023-26/09/2023

COD. MUESTRA : B009-000478, B009-000489, B009-000500, B009-000504, B009-000506

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

REPETICIONES	ANÁLISIS QUÍMICO DEL PARÁMETRO DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO) mg/L					
	Fecha de análisis	TRATAMIENTO 1 (Lombrifiltro)	Fecha de análisis	TRATAMIENTO 2 (Lenteja de agua)	Fecha de análisis	TRATAMIENTO 3 (Biofiltro)
Concentración inicial	22/08/2023	8 346.00	29/082023	11 256.00	-----	-----
1	22/08/2023	7 846.00	05/09/2023	7 114.00	05/09/2023	6 475.00
2	29/08/2023	7 792.00	12/09/2023	7 168.00	12/09/2023	6 912.00
3	05/09/2023	7 940.00	19/09/2023	7 060.00	19/09/2023	6 820.00
4	12/09/2023	8 148.00	26/09/2023	7 013.00	26/09/2023	6 760.00

Puno, 18 de octubre del 2023

V^oB^o


ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIG - UNA - CIP - 182993


Walter B. Huamani Arce
DECANO - IQ - UNA



-Aguas residuales después del tratamiento



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



FIQ Nro

Nº 002485

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL

PROCEDENCIA : PLANTA QUESERA SAN SANTIAGO

INTERESADO : CLAUDIA ARHUANCA ORDOÑEZ

MOTIVO : ANALISIS DE AGUA RESIDUAL

MUESTREO : 06/10/2023, por el interesado

ANÁLISIS : 06/10/2023

COD. MUESTRA : B009-000507

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARAMETROS FÍSICO QUÍMICOS	UNIDAD	RÉSULTADOS	MÉTODOS
1.- Potencial de Hidrogeno	pH	5.01	Potenciómetro
3.- Demanda Química de Oxígeno	ppm	6 520.00	Método Espectrofotométrico
4.- Demanda Bioquímica de Oxígeno	ppm	2 562.00	Método respirométrico
5.- Nitratos como NO ₃ ⁻	ppm	120.00	Colorimetría
6.- Fosfatos como PO ₄ ³⁻	ppm	1.22	Colorímetro
7.- Sólidos totales disueltos	ppm	89.70	Colorímetro

Puno, C.U. 09 de noviembre del 2023.

vºBº


ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA - CIP - 182393




Walther B. Aragón
DECANO FQI - UNA



ANEXO 3. Análisis estadístico

-Análisis de varianza para la evaluación de la aplicación del lombrifiltro, lentejas de agua y biofiltro asistido por microorganismo eficaces respecto al parámetro DQO.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MCAjust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0.016088	0.008044	62.15	0
Periodo	3	0.000264	0.000088	0.68	0.595
Error	6	0.000777	0.000129		
Total	11	0.017129			

- Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0113768	95.47%	91.69%	81.86%

- Comparación de la prueba de Tukey

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T3	4	0.505882	A
T2	4	0.480449	B
T1	4	0.418682	C



ANEXO 4. Cálculo del área y tasa de riego para el lombrifiltro

Se considero la referencia citada por Quille (2019) para los respectivos cálculos

$$T_{Riego} = \frac{Q}{A} \leq 1m^3/m^2/dia$$

Medidas del lombrifiltro:

Largo (a) : 40 cm

Altura (b) : 70 cm

Ancho (c) : 20 cm

Caudal (riego manual por dia) : 4.5 l/dia

$$\text{Área} = 2(ab + ac + bc)$$

$$\text{Área total del lombrifiltro} = 1 m^2$$

$$T_{Riego} = \frac{4.5l/dia}{1m^2}$$

$$\text{Tasa de riego para el lombrifiltro} = 4.5l/m^2/día$$

Calculo del numero de lombrices para el lombrifiltro

Se considero la cantidad de lombrices y el área del lombrifiltro de (Quille, 2019), para aplicar la regla de tres simple y determinar el numero de lombrices el cual se utilizó.

Datos (Quille, 2019):

Datos del lombrifiltro:

Area de lombrifiltro: 1.5 m²

Area de lombrifiltro: 1 m²

Cantidad de lombrices: 250

Cantidad de lombrices: x

$$\text{Cantidad de lombrices} = \frac{250 \times 1m^2}{1.5m^2}$$

$$\text{Cantidad de lombrices} = 167$$



ANEXO 5. Cálculo del área de la superficie y cantidad de lenteja de agua

Se considero la referencia de Landesman et al. (2005) para los respectivos cálculos

$$**Cantidad de lenteja = Área de la superficie \times Densidad de plantación**$$

Medidas del recipiente para el tratamiento de lentejas de agua:

Largo (a): 50 cm

Ancho (b): 30 cm

Densidad de plantación: 15 g/m²

Área de la superficie = largo x ancho

Área de la superficie = 1.5 m²

$$**Cantidad de lenteja = 1.5m^2 \times \frac{15g}{m^2} = 22.5g**$$

Cantidad de lentejas = 22.5 g

ANEXO 6. Panel fotográfico



Fotografía 1: Aguas residuales de la planta quesera “San Santiago” vertidas a la intemperie



Fotografía 2: Recolección de agua residual de la planta quesera San Santiago



Fotografía 3: Acondicionamiento del lombrifiltro



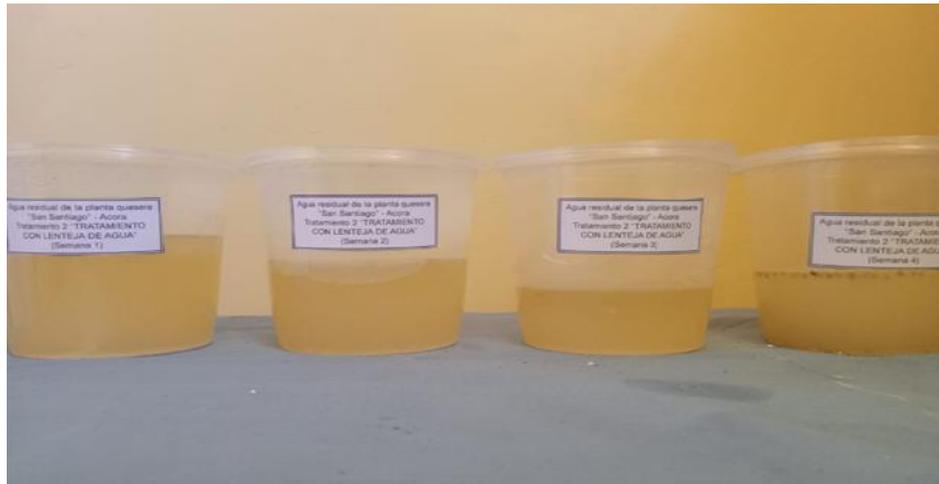
Fotografía 4: Acondicionamiento para el tratamiento con lenteja de agua



Fotografía 5: Acondicionamiento del biofiltro



Fotografía 6: Muestra del tratamiento del tratamiento 1 (Lombrifiltro asistido por microorganismo eficaces).



Fotografía 7: Muestra del tratamiento del tratamiento 2 (Lombrifiltro y lenteja de agua asistido por microorganismo eficaces)



Fotografía 8: Muestra del tratamiento del tratamiento 3 (Lombrifiltro, lenteja de agua y biofiltro asistido por microorganismo eficaces).



Fotografía 9: Microorganismo eficaces - EM



ANEXO 7. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo CLAUDIA HINDIRA ARHUANCA ORDOÑEZ,
identificado con DNI 70279880 en mi condición de egresado de:

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

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

"EFECTO DE LOMBRIFILTRO Y LENTEJAS DE AGUA (LEMNA GIBBER)
ASISTIDO POR MICROORGANISMOS EFICACES PARA LA BIORREMEDIACIÓN
DE AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA QUESERA "SAN SANTIAGO" - ACOBA"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

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

Puno 12 de DICIEMBRE del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 8. Autorización para el depósito de tesis en el repositorio institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

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

Por el presente documento, Yo CLAUDIA HINDIRA ARHUANCA ORDÓÑEZ,
identificado con DNI 70279880 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERÍA AGRÍCOLA

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

"EFECTO DEL LOMBRIFILTRO Y LENTEJA DE AGUA (LEMNA GIBBA)
ASISTIDO POR MICROORGANISMOS EFICACES PARA LA BIORREMEDIACIÓN DE
AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA QUESERA "SANSANTIAGO" - ACORA "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 12 de NOVIEMBRE del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella