



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA

AMBIENTAL Y FORESTAL



**“EVALUACION COMPARATIVA DE DOS MACRÓFITAS EN EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA
LÁCTEA, POR MEDIO DE HUMEDALES EN EL DISTRITO DE
ORURILLO-MELGAR-PUNO”**

Bach. Clorinda Fiorela Jara Hanco

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor: Dr. Wile Mamani Navarro

JULIACA, 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL



**“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE DOS MACRÓFITAS EN EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA
LÁCTEA, POR MEDIO DE HUMEDALES EN EL DISTRITO DE
ORURILLO-MELGAR-PUNO”**

Bach. Clorinda Fiorela Jara Hanco

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor (A): Dr. Wile Mamani Navarro

Juliaca, 2024

Jara, C. (2024). *Evaluación comparativa de dos macrófitas en el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea, por medio de humedales en el distrito de Orurillo-Melgar-Puno.*

AUTOR: Clorinda Fiorela Jara Hanco

TÍTULO: Evaluación comparativa de dos macrófitas en el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea, por medio de humedales en el distrito de Orurillo-Melgar-Puno

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2024

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (134 pp.).

NOTA: Escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal -Universidad Nacional de Juliaca.

CÓDIGO:01-000031-01/J24

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: Dr. Wile Mamani Navarro

PALABRAS CLAVE: Agua residual de industria láctea, evaluación, macrófitas, microcosmos de humedales, reducción de contaminantes.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE DOS MACRÓFITAS EN EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA
LÁCTEA, POR MEDIO DE HUMEDALES EN EL DISTRITO DE
ORURILLO-MELGAR-PUNO”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y
FORESTAL

Presentado por:

Bach. Clorinda Fiorela Jara Hanco

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

M.Sc. Godofredo Huanca Chambi

PRESIDENTE DE JURADO



M.Sc. Jael Calla Calla


JURADO (Secretario)



2° MIEMBRO

M.Sc. Roxana Milagros Escarcena Flores

JURADO (Vocal)



3° MIEMBRO



Dr. Wile Mamani Navarro
ASESOR DE TESIS

NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE DOS M
ACRÓFITAS EN EL TRATAMIENTO DE AG
UAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁC
TE**

AUTOR

CLORINDA FIORELA JARA HANCCO

RECUENTO DE PALABRAS

24878 Words

RECUENTO DE CARACTERES

134373 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

129 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

6.8MB

FECHA DE ENTREGA

May 8, 2024 2:43 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 8, 2024 2:45 PM GMT-5

● **9% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)



DEDICATORIA

A Dios por ser luz en mis momentos de oscuridad, por guiarme y darme la fortaleza necesaria día a día para poder lograr mis objetivos.

A mis padres Juan Wilmer Jara y en memoria de mi madre Fulgencia Hanco, por haber sido ellos mis motores para seguir en este largo camino.

A mis hermanos, Avile, Arcadio, Roly y en memoria de mi hermano Waldir por haber sido un ejemplo a seguir.

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarme y por abrirme las puertas para desarrollar esta investigación.

A mi padre Wilmer por apoyarme y acompañarme en cada momento y proceso experimental de la presente investigación.

A mis hermanos por sus cuidados, amor y apoyo en mi proceso de restablecimiento, especialmente a Arcadio.

A la Universidad Nacional de Juliaca y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal, por permitirme formarme profesionalmente.

Al Instituto de Innovación Agraria INIA-Salcedo-Puno, al laboratorio (LABSAF) y jefe de laboratorio Ing Jorge Canihua R. e Ing Selima Salcedo por financiar la tesis con los análisis.

Al Dr Wile Mamani Navarro, asesor de tesis, gracias a sus sugerencias en esta investigación.

A todos mis jurados por sus correcciones para la mejoría de la presente investigación.

A Denilson y todas las personas que, de algún modo u otro, me brindaron su apoyo en la ejecución y finalización de la presente investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática.....	16
1.2. Formulación del problema	18
1.2.1. Problema general.....	18
1.2.2. Problemas Específicos.....	18
1.3. Objetivos de la investigación	19
1.3.1. Objetivo General	19
1.3.2. Objetivos Específicos	19
1.4. Justificación de la investigación	19

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación	22
2.1.1. Antecedentes Internacionales	22

2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	25
2.2. Marco teórico	28
2.2.1. Humedales artificiales	28
2.2.2. Mecanismos de remoción de contaminantes.....	29
2.2.3. Macrófitas	31
2.2.4. Función de plantas macrófitas en remover contaminantes.....	31
2.2.5. Fitorremediación	32
2.2.6. Microorganismos.....	32
2.2.7. Aguas residuales lácteas.....	32
2.2.8. Contaminación del medio	35
2.2.9. Métodos de tratamiento de aguas residuales de industria láctea.....	36
2.2.10. Parámetros fisicoquímicos evaluados	37
2.2.11. planta macrófita <i>Cortaderia jubata</i>	40
2.2.12. Planta macrófita <i>Schoenoplectus totora</i>	41
2.3. Marco legal Nacional	43
2.3.1. Límite máximo permisible	43
2.3.2. Valores máximos admisibles (VMA).....	43
2.4. Normativa internacional.....	44
2.4.1. Límites máximos admisibles-Argentina	44
2.4.2. Límites máximos de descarga a acuíferos.....	45

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito de estudio	46
3.2. Tipo, diseño y nivel de la investigación	47
3.3. Población de estudio	47
3.4. Muestra.....	47
3.5. Materiales y equipos	47
3.5.1. Materiales	47
3.5.2. Equipos.....	47
3.6. Procedimiento metodológico	48
3.6.1. Construcción del estanque del humedal	48
3.6.2. Identificación de plantas macrófitas y aclimatación.	48
3.6.3. Caracterización del agua residual lácteas.....	50
3.6.4. Evaluación comparativa de dos especies de macrófitas.....	51
3.7. Evaluación estadística	53
3.7.1. Método de análisis estadístico.....	53

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Selección de dos macrófitas con características de buena biomasa aérea y radicular, de mejor aclimatación y adaptación en la zona, para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.....	55
---	----

4.2. Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales de la industria láctea.....	56
4.3. Evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes obtenidas con las macrófitas en los microcosmos de humedales, después de los tratamientos.....	59
4.3.1. pH en los tratamientos con humedales.....	70
4.3.2. Eficiencia de reducción de conductividad eléctrica (CE)	72
4.3.3. Eficiencia de reducción de DQO y de DBO	74
4.3.4. Eficiencia de reducción de fósforo total.....	80
4.3.5. Eficiencia de reducción de sólidos totales	82
4.3.6. Eficiencia de reducción de aceites y grasas	84
4.3.7. Eficiencia de reducción de nitrógeno total.....	85

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	90
5.2. Recomendaciones	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
ANEXOS.....	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de los efluentes de la industria láctea.	34
Tabla 2. LMP para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.	43
Tabla 3. VMA para descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.	44
Tabla 4. Límites máximos admisibles.	44
Tabla 5. Límites máximos de descarga de aguas industriales lácteas a acuíferos.	45
Tabla 6. Especies de macrófitas seleccionadas.	49
Tabla 7. Metodología de análisis.	50
Tabla 8. Resultados de las características obtenidas en la selección de macrófitas.	55
Tabla 9. Resultados de la caracterización fisicoquímico de las aguas residuales lácteas.	57
Tabla 10. Resultados del análisis de varianza para los parámetros evaluados.	60
Tabla 11. Comparaciones múltiples de medias Dunnett y Tukey para la eficiencia de los parámetros evaluados.	62
Tabla 12. Comparación múltiple de medias de Tukey de la prueba de efectos simples mes de evaluación para cada tratamiento para la eficiencia de los parámetros evaluados.	63
Tabla 13. Comparación múltiple de medias de Tukey de la prueba de efectos simples, tratamiento en cada mes de evaluación para eficiencia de los parámetros evaluados.	64
Tabla 14. Resultados alcanzados con la macrófita Cortaderia jubata después del tratamiento	65
Tabla 15. Resultados alcanzados con la macrófita Schoenoplectus totora después del tratamiento.	67
Tabla 16. Comparación de los resultados antes y después del tratamiento.	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial (SFS).	29
Figura 2. Localización de las interfases aerobias y anaerobias en los humedales	30
Figura 3. Planta Cortaderia jubata.....	41
Figura 4. Schoenoplectus totora.....	42
Figura 5. <i>Mapa de ubicación (ArcGIS V. gratuita)</i>	46
Figura 6. Diagrama esquemático del diseño experimental aplicado.....	52
Figura 7. toma de dimensiones de las macrófitas seleccionadas para el tratamiento.....	56
Figura 8. Comparación del comportamiento del pH en los 3 microcosmos de humedales tratamiento A (Cortaderia jubata), tratamiento B (Schoenoplectus totora) y tratamiento T (testigo -sin macrófita), en función al tiempo.	71
Figura 9. Nivel remoción de CE en los 3 microcosmos de humedales tratamiento A (Cortaderia jubata), tratamiento B (Schoenoplectus totora) y tratamiento T(sin macrófita- testigo) en función al tiempo.....	73
Figura 10. Eficiencia de reducción DQO en los 3 microcosmos de humedales tratamiento A (Cortaderia jubata), tratamiento B (Schoenoplectus totora) y tratamiento T(sin macrófita- testigo) en función al tiempo.....	75
Figura 11. Cantidad de Remoción y Eficiencia de remoción % de DBO en los 3 microcosmos de humedales tratamientos A (Cortaderia jubata), tratamiento B (Schoenoplectus totora) y tratamiento T (testigo – sin macrófita) función al tiempo.....	77
Figura 12. Cantidad de Remoción y Eficiencia de remoción % del fósforo total en los 3 microcosmos de humedales tratamientos A (Cortaderia jubata), tratamiento B (Schoenoplectus totora) y tratamiento T (testigo – sin macrófita) función al tiempo.	80

Figura 13. Cantidad de Remoción y Eficiencia de remoción % de los sólidos totales en los 3 microcosmos de humedales tratamientos A (Cortaderia jubata), tratamiento B (Schoenoplectus totora) y tratamiento T (testigo – sin macrófita) función al tiempo.	83
Figura 14. Cantidad de Remoción y Eficiencia de remoción % de los aceites y grasas en los 3 microcosmos de humedales tratamientos A (Cortaderia jubata), tratamiento B (Schoenoplectus totora) y tratamiento T (testigo – sin macrófita) función al tiempo.	84
Figura 15. Cantidad de Remoción y Eficiencia de remoción % de nitrógeno total en los 3 microcosmos de humedales tratamientos A (Cortaderia jubata), tratamiento B (Schoenoplectus totora) y tratamiento T (testigo – sin macrófita) función al tiempo.	86
Figura 16. Gráfico de barras de la eficiencia de remoción % alcanzado por el tratamiento A (Cortaderia jubata) en función del tiempo.	87
Figura 17. Gráfico de barras de la eficiencia de remoción % alcanzado por el tratamiento B (Schoenoplectus totora) en función del tiempo.	88

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Registro de panel fotográfico	111
Anexo 2. Informe de laboratorio.	117
Anexo 3. Informe de identificación de especies	126
Anexo 4. Procesamiento estadístico.	130

RESUMEN

En la actualidad la contaminación por aguas residuales del sector lácteo son una preocupación, pues las descargas de estas aguas no son tratadas debido a factores como la falta de investigación en métodos de tratamiento rentables y sostenibles, afectando así la calidad del medio ambiente. Este estudio investigó y comparó experimentalmente la eficiencia de remoción de contaminantes mediante el uso de dos especies de macrófitas en el tratamiento de las aguas residuales lácteas por humedales. La selección de macrófitas fue el primer paso, estas fueron la *Cortaderia jubata* y *Schoenoplectus totora*, seguida del análisis de caracterización de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales lácteas. Los resultados evidenciaron altas concentraciones de contaminantes, estando fuera de los límites máximos de descarga a acuífero y límites máximos permisibles nacional e internacional. Se tuvieron tres tratamientos dos con plantas macrófitas y un testigo sin macrófita, todos por triplicado. Los resultados obtenidos con las dos especies de macrófitas *Cortaderia jubata* y *Schoenoplectus totora* fueron significativos para todos los parámetros excepto para aceites y grasas. De la comparación realizada entre las dos especies de macrófita se determinó que la macrófita *Schoenoplectus totora* tiene mayor eficiencia de remoción de contaminantes llegando a disminuir hasta 474.67 mgO₂/L de DQO, 375.17 mgO₂/L de DBO, 9916.67 mg/L de nitrógeno total, 34666.67 mg/L de sólidos totales y una reducción de la conductividad eléctrica de 753.33 uS/cm, sin embargo la remoción más bajo fue de fósforo total y en aceites y grasas la remoción no fue significativa. De los resultados se afirma que si existe intervención de las plantas macrófitas en el tratamiento de aguas residuales lácteas.

Palabras clave: Agua residual de industria láctea, evaluación, macrófitas, microcosmos de humedales, reducción de contaminantes.

ABSTRACT

Currently, wastewater pollution from the dairy sector is a concern, as dairy wastewater discharges are not treated due to factors such as lack of research on cost-effective and sustainable treatment methods, thus affecting the quality of the environment. This study investigated and experimentally compared the pollutant removal efficiency using two species of macrophytes in the treatment of dairy wastewater by wetlands. The selection of macrophytes was the first step, these were *Cortaderia jubata* and *Schoenoplectus totora*, followed by the characterization analysis of the physicochemical parameters of the dairy wastewater. The results showed high concentrations of contaminants, which were outside the maximum limits for discharge into aquifers and the maximum permissible national and international limits. There were three treatments, two with macrophytes and a control without macrophytes, all in triplicate. The results obtained with the two species of macrophytes *Cortaderia jubata* and *Schoenoplectus totora* were significant for all parameters except for oils and fats. From the comparison made between the two species of macrophytes, it was determined that the macrophyte *Schoenoplectus totora* has a higher pollutant removal efficiency, decreasing up to 474.67 mgO₂/L of COD, 375.17 mgO₂/L of BOD, 9916.67 mg/L of total nitrogen, 34666.67 mg/L of total solids and a reduction in electrical conductivity of 753.33 uS/cm; however, the lowest removal was for total phosphorus and for oils and fats the removal was not significant. From the results, it can be affirmed that there is an intervention of macrophyte plants in the treatment of dairy wastewater.

Keywords: Dairy industry wastewater, evaluation, macrophytes, wetland microcosms, pollutant reduction.

INTRODUCCIÓN

En muchos países la industria láctea es una actividad de gran importancia económica, generándose solo en el año 2019 una cantidad de 852 millones de toneladas de leche según la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), y se pronosticó que para el año 2029 será de 997 millones de toneladas Stasinakis et al., (2022) los distintos procesos que se realizan para la elaboración de diferentes derivados hace que se genere toneladas de desechos con contenidos de materia orgánica, es decir altos valores de DQO, DBO, nitrógeno, fósforo, aceites y grasa, y más del 60% de estos desechos de aguas residuales están sin tratar, provocando impactos ambientales con su descarga al medio ambiente, sin embargo varios organismos reguladores establecen algunos criterios para no verter los desechos de la industria láctea al medio ambiente Tabelini et al., (2023).

Los sistemas de humedales emergen como una alternativa eficaz y sostenible en depurar aguas residuales, ofreciendo una solución innovadora y ecoamigable. Los humedales limpian las aguas a través del crecimiento de plantas y los microorganismos de la rizosfera asociados, el proceso de tratamiento de estos sistemas de humedales son físicos, químicos y biológicos Alsubih et al., (2022), el sistema de humedales en el tratamiento de aguas residuales lácteas está siendo puesto en práctica durante algún tiempo, obteniendo resultados de hasta la eliminación de contaminantes mayor o igual al 99% en parámetros de DQO, nitrógeno total, fósforo, sólidos totales y turbidez Mohamed et al., (2022).

En el Perú existen más de 6500 plantas queseras registradas las cuales no cumplen con requisitos legales ambientales MIDAGRI, (2021) así mismo en el Perú, se observa una falta de investigación en la instauración de tecnologías idóneas para tratar estas aguas residuales, lo que

subraya la necesidad desde una perspectiva más investigativo y proactivo en este ámbito. SUNASS, (2015), razón por la cual se debe de buscar opciones de tratamiento para cada tipo de aguas residuales.

El distrito de Orurillo provincia de Melgar-Puno, es considerada zona ganadera y lechera, existiendo varias plantas queseras Ancori, (2019), mismas que son consideradas un problema por causar daños ambientales por los vertimientos de las aguas residuales lácteas al medio ambiente, sin ningún tipo de tratamiento Municipalidad Distrital de Orurillo, (2020).

En ese contexto; con el propósito de ofrecer un aporte coherente como tratamiento, se ha concebido la presente investigación para comparar dos especies de plantas macrófitas de la zona en su capacidad para depurar contaminantes hallados en las aguas residuales lácteas mediante sistemas de humedales. El primer capítulo aborda el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación de la investigación. El segundo capítulo abarca los antecedentes y el marco teórico relevante. La metodología utilizada se detalla en el tercer capítulo. El cuarto capítulo presenta los resultados obtenidos, seguidos de una discusión y comparación con investigaciones previas. El quinto capítulo expone las conclusiones y recomendaciones derivadas de esta investigación. Finalmente, se incluyen anexos que proporcionan recursos que respaldan la realización del estudio

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1. Situación problemática

A nivel del mundo la industria láctea es considerada uno de los principales contaminantes del medio ambiente por generar mayor producción y vertimiento de sus aguas residuales Karadag et al., (2015); Shi et al., (2021), las aguas residuales de esta industria poseen contenidos altos en materia orgánica disuelta, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), partículas orgánicas e inorgánicas, grasas y aceites Alvarez et al., (2021); Kaur, (2021); Passero et al., (2014), generando contaminación que afecta los recursos naturales como: la calidad del agua y suelo Ahmad et al., (2019); Jin Chung et al., (2022), este problema en muchas partes del mundo van acompañados por la falta de recursos tanto tecnológicos como económicos para establecer una planta de tratamiento adecuada para los tipos de aguas residuales Turcios et al., (2021).

En el Perú las descargas de aguas residuales de la industria láctea con presencia de contaminantes son vertidas al medio ambiente sin ningún tipo de tratamiento Mejía et al., (2020), así como el 70% de aguas residuales en general que no tienen ningún tratamiento, siendo algunas de las principales causas de este problema la insuficiente investigación en tecnologías apropiadas y sostenibles, insuficientes recursos destinados para la operación y mantenimiento de plantas que sean capaces de tratar aguas residuales de características y cantidades distintas Quispe, (2019; SUNASS, (2015) que puedan garantizar un buen tratamiento de aguas contaminadas Patel et al., (2021). Solo en caso de las agua residuales lácteas, el alto contenido en residuos orgánicos que contiene el suero es responsables de altos

valores en DBO y DQO que van contaminando las aguas donde son vertidas estos desechos Gamarra, (2018).

En la región Puno uno de los problemas de contaminación al ecosistema son producidas por la industria láctea, produciéndose solo en el 2018 una cantidad de 15192.54 toneladas de efluentes líquidos, de las cuales 12336.8 toneladas son la mezcla de suero dulce y salado que se vierten al medio ambiente sin ningún tipo de tratamiento generando contaminación Flores, (2018), pues el vertimiento de estas aguas al medio causa alteraciones fisicoquímicas al agua y suelo, por su alto contenido en aceites, grasas, fosfatos, DQO y DBO Enrique, (2019), la falta de alternativas sostenibles y de bajo costo para el tratamiento de las aguas residuales hace difícil a los pequeños empresarios de estas plantas que puedan ser responsables en el vertido de estas aguas.

En el distrito de Orurillo Melgar, al igual que en otros lugares, se enfrenta el desafío de la contaminación ambiental originada por la presencia de diversas instalaciones de procesamiento de queso tanto en el sector urbano como rural, pues estas vierten sus aguas residuales directamente a los ecosistemas naturales como: suelos y cuerpos naturales de agua (ríos y lagos) sin ningún tipo de tratamiento o pre tratamiento, así mismo según los reportes realizados por la municipalidad distrital de Orurillo en el plan anual de evaluación y fiscalización ambiental (PLANEFA) 2020 al Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), indica que los desechos que las plantas queseras vierten al suelo se vienen mezclando en muchos casos con residuos sólidos inorgánicos como: plásticos, latas, tetra pack, pilas y otros generando contaminación municipalidad distrital de Orurillo, (2020), pues las características de estas aguas residuales contienen valores altos de carga orgánica

registrados en varios estudios, este problema persiste a la fecha por falta de investigación a tecnologías rentables económicamente que hagan posible a la municipalidad distrital de Orurillo hacer frente a este problema y garantizar el cuidado de los cauces de río, suelos y la salud de la población. Las dos instalaciones de la industria láctea investigadas en este estudio descargan sus aguas residuales tanto en el sistema de alcantarillado como directamente al suelo mediante vertimiento.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Qué macrófita tendrá mayor eficiencia en la remoción de contaminantes de las aguas residuales de la industria láctea, por medio de humedales en el distrito de Orurillo Melgar-Puno?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Qué macrófitas perennes y de buenas características anatómicas serán seleccionadas para el tratamiento de aguas residuales lácteas?
- ¿Cuáles serán los resultados del análisis de caracterización fisicoquímica de las aguas residuales lácteas?
- ¿Cuál será la eficiencia en remoción de contaminantes por parte de las plantas macrófitas en los humedales?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

- Evaluar la eficiencia de dos macrófitas en la remoción de contaminantes de aguas residuales de la industria láctea, por medio de humedales en el distrito de Orurillo. Melgar-Puno.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Seleccionar dos macrófitas con características de buena biomasa aérea y radicular, de mejor aclimatación y adaptación en la zona, para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.
- Caracterizar fisicoquímicamente las aguas residuales procedentes de la industria láctea.
- Evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes obtenidas con las macrófitas en los microcosmos de humedales, después de los tratamientos.

1.4. Justificación de la investigación

La finalidad de la investigación consiste en realizar un análisis comparativo de la eficacia de dos tipos de plantas macrófitas para reducir contaminantes de las aguas residuales lácteas de dos queserías, por medio de humedales construidos, pues se ha visto que de las 6500 plantas queseras existentes en el Perú la mayor cantidad se encuentran en la Región Puno, de la que forma parte las plantas queseras del distrito de Orurillo, de las cuales una cumple con los requisitos legales ambientales MINAGRI, (2019), esto porque existe carencia de investigación

en la instauración de tecnologías adecuadas con el propósito de purificar estas aguas residuales SUNASS, (2015), por tal razón se plantea la presente investigación, pues los tratamientos biológicos como los humedales con plantas en muchos países son favoritos debido a su capacidad para eliminar contaminantes por la interacción de procedimientos biológicos, físicos y químicos, haciéndola así una tecnología de bajo costo y rentables, respecto a otros tratamientos como los fisicoquímicos Ahmad et al., 2019; Schierano et al., (2020a).

Los resultados que serán obtenidos en la investigación podrían abrir una posibilidad de tratamiento de los desechos generados por las plantas queseras, con el uso y aprovechamiento de recursos propios de la zona como las plantas macrófitas y la capacidad de estas en reducir contaminantes como DBO, DQO, grasas y aceites Enrique, (2019) que son características de contaminantes propias de los efluentes residuales o desechos de la industria láctea, pudiendo así reducir esa contaminación que afecta ecosistemas (suelo y cuerpos de agua como la laguna de Orurillo donde llega el vertido de efluentes lácteos de las plantas queseras por medio de las alcantarillas) y contribuir a la mejora del entorno ambiental y al bienestar de los residentes cercanos a las instalaciones de producción de queso Chamorro Romero, (2014), pues las descargas de estos desechos generan olores fétidos y atraen insectos generando malestar en las poblaciones (Prazeres et al., 2016). Además, se contribuiría a la preservación de recursos hídricos, dado que se proyecta que para el año 2030 Perú experimentará considerablemente las repercusiones de la falta de agua, por ello, tratar las aguas y conservarlas deben ser primordiales de cara a un futuro próximo Tabra, (2013).

Al abrir una puerta de uso de recursos propios de la zona, la municipalidad distrital de Orurillo podría ofrecer a los productores de la industria láctea una método de tratamiento eficiente, eficaz, económica y amigable con el medio ambiente, pudiendo así ayudar a conservar y garantizar un ambiente saludable para la población, pues las características del agua residual producto de la elaboración de quesos son altos en nitrógeno, fósforo, DBO, DQO aceites y grasa los Flores, (2018). Con esto los productores podrían llevar la calidad de sus productos responsablemente y dejar la ilegalidad de su funcionamiento, pues se sabe que de las 6500 plantas queseras existentes en el Perú la mayor cantidad se encuentran en la Región Puno, de las cuales la mayoría funciona en la ilegalidad MINAGRI, (2019).

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Schierano et al. (2020), realizaron un estudio simulando un humedal artificial con macrófitas como tratamiento terciario para medir el potencial de eliminación de contaminantes de aguas residuales lácteas y evaluaron la intervención de las macrófitas en humedales, demostrando una eficiencia de remoción media del 78.4%, así mismo el porcentaje de remoción media para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) fueron 57.9 y 68.7% respectivamente y los % de eliminación de nitrógeno total Kjeldahl (TKN), nitratos y fósforo total fueron menores que otros parámetros, siendo estos 25.7%, 47.8% y 29.9%, respectivamente, finalmente el estudio de las plantas indicó su importante contribución en términos de absorción y retención de contaminantes.

Queiroz et al. (2020), utilizaron macrófitas acuáticas en humedales individuales y en serie, para evaluar el tratamiento de efluentes lácteos y el ciclo de nutrientes (nitrógeno y fósforo), así como las cargas ambientales por el uso de biomasa acuática posterior al tratamiento, los macrófitas elegidos de *Cyperus articulatus* redujeron la DBO en más del 70 % con una duración de retención hidráulica para 4 días. Después, los humedales en serie alcanzaron reducciones promedio de 75% para fósforo total y 58% para nitrógeno total utilizando *E. crassipes*.

Nocetti et al. (2020), seleccionaron especies macrófitas y sustratos para utilizarlos en humedales de v flujo subsuperficial horizontal para tratar aguas residuales de fábrica de quesos, obteniendo los resultados: macrófitas estudiados (*C. glauca* y *T. domingensis*) tuvieron un efecto significativo en la remoción de nitrógeno total (TN) y amonio (NH_4^+) en algunos tratamientos: *C. glauca* en piedras de río para TN; ambas especies en *LECA* y *T. domingensis* en piedras de río para NH_4^+ . El mejor desempeño en la remoción de NH_4^+ se observó para *C. glauca*, sin mostrar diferencias significativas entre sustratos, el humedal que no usó plantas tuvo bajos valores en el tratamiento afirmando que la presencia de plantas es necesaria para la remoción de contaminantes.

Sharma, Rausa, Rani, Mukherjee, & Kumar (2021), Llevaron a cabo una investigación sobre la biopurificación de aguas residuales de granjas lecheras por humedales híbridos, empleando plantas perennes en India, determinando la purificación promedio de sólidos totales en suspensión (TSS), DBO, nitrógeno total y P fue significativa ($p < 0.05$) en el lecho de humedal y se registró como 92.2 ± 6.1 , 95 ± 3.8 , 83.6 ± 9.0 y $86.1 \pm 10.0\%$ respectivamente, así mismo se registró la carga promedio de DBO, nitrógeno total y P en el flujo de ingreso y salida (sin diferencias significativas, $p > 0.05$) como 7.0 ± 7.17 , 1.9 ± 0.7 , $0.72 \pm 0.5 \text{ gm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ y 0.3 ± 0.2 , 0.3 ± 0.2 y $0.04 \pm 0.01 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ respectivamente.

Guerra Sandoval (2018), llevó a cabo una investigación sobre el tratamiento de aguas servidas lácteas por fitorremediación utilizando Totorá en humedales artificiales. Se observaron resultados significativos en 60 días de operación, con una eliminación de “sólidos suspendidos del 99.6%, nitrógeno total del 94.3%, DQO del 98.2%, DBO5 del

98.1%, aceites y grasas del 99.9%, sólidos totales del 85.5%, y fosfatos del 91.1%” considerando este tratamiento con Totorá una opción buena en el tratamiento de estas aguas.

Jiang et al. (2020), investigaron los efectos de las plantas de humedales en los flujos de óxido nitroso (N_2O) a través de la pérdida radial de oxígeno (ROL) y la eliminación de nutrientes, obteniendo como resultados que la ROL y la eliminación de fósforo total en las especies estudiadas tiene una tendencia estacional: verano > otoño > primavera > invierno, así mismo el ROL, la eliminación de NH_4^+ y TN, y la disminución de flujos de N_2O tuvieron diferencias entre las diferentes plantas usadas en los humedales. Concluyendo que los flujos de N_2O de los humedales construidos puede reducirse significativamente mediante la selección adecuada de especies de plantas.

Maucieri et al. (2020), compararon la contribución de las macrófitas en la remoción de fósforo en humedales construidos, para ello se usó un humedal sin vegetación (testigo) y cinco humedales con distintas macrófitas, el agua residual a tratar fue simulada. Los resultados obtenidos en los humedales con macrófitas fueron favorables a diferencia del humedal sin vegetación, llegando a alcanzar un porcentaje en remoción de: “86.2%, 48.1%, 37.6% y 36.0% para *P. aundinacea*, *C. elata*, *J. effusus* y *P. australis*, respectivamente”.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Mena (2022), analizó la “capacidad de remoción de tres plantas (*Eichhornia crassipes*-Jacinto de agua, *Schoenoplectus colifornicus*-Junco, y *Phragmites australis*-Carricillo) en humedales para tratar aguas residuales domésticas, los resultados mostraron una disminución del 46% en la DBO para el Carricillo, 70% para Junco y del 72% para el Jacinto de agua. Con respecto a la DQO, se registró una reducción del 40% por el carricillo, del 58% para el Junco y del 68% para el Jacinto de agua. En términos de aceites y grasas, se observaron porcentajes de reducción del 37%, 62% y 66% para el Carricillo, Junco y Jacinto de agua respectivamente”.

Céspedes (2021), realizó en Apurímac el proceso de tratamiento de efluentes líquidos del ámbito rural utilizando sistemas de humedales construidos empleando plantas macrófitas. Para eso utilizó como muestra 2 centros poblados en cada lugar con especies diferentes, obteniendo como resultados: la *Schoenoplectus californicus* (totora) para el distrito de Huanipaca caracterizado por temperaturas bajas como 6°C alcanzó remover 98.58% de (DBO₅), 92.96% (DQO) y 7.62% de conductividad eléctrica y en Tamburco la *Phragmites australis* con temperaturas de 12°C, obtuvo una remoción de 98.55% (DBO₅), 93.83% de (DQO) y 6.41 de conductividad, indicando que dichas plantas exhiben una capacidad excepcional para purificar eficazmente los polutantes fisicoquímicos y microbiológicos presentes, esto debido a su propagación rápida y a la extensión de raíces y rizomas.

Morales et al. (2019), evaluaron la eficiencia de fitorremediación con plantas de sitios húmedos para la purificación de desechos líquidos domésticos, utilizando los humedales subsuperficial horizontal, en un periodo de tratamiento de 90 días obteniendo la reducción de: “aceites y grasas 76%, DBO₅ 95%, DQO 92%, SST 95%, turbidez 96%, nitrógeno en forma de amoníaco 64%, (CE) 59%, y las mediciones más bajas se vieron en el color menos de 35% y coliformes termo tolerantes (CTT) 22%”.

Solano Carrion, (2019), realizó una comparación de eficacia de dos especies de plantas macrófitas (*Pistia statites* y *Azolla filiculoides*) con miras de elevar el estándar de calidad de las aguas residuales, demostrando que ambas macrófitas tienen esa capacidad mejora, sin embargo la macrófita *Pistidia stratiotes* demostró ser más eficaz, alcanzando una disminución de turbidez a 2.80 NTU, 78.40% de remoción de DQO en 14 días y 88.035% de remoción para la DBO₅ en 21 días, esto debido las raíces densas y largas de la planta, pues estas proporcionan sitios de adherencia para las colonias bacterianas encargadas de degradar compuestos orgánicos, al mismo tiempo que filtran el material.

Flores (2018), realizó una revisión y comparación de estudios realizados frente a la contaminación que los desechos de la elaboración de quesos producen al medio ambiente en la región Puno, la conclusión del autor es que la característica del desecho producido por la elaboración de queso, es quien produce contaminación principalmente por la carga alta de materia orgánica, encontrando de los estudios comparados un promedio de 9271.33 mg/L de sólidos suspendidos totales y un promedio de 40499.67 mg/L de DQO.

Gamarra (2016), en su investigación para evaluar un sistema de purificación de efluentes grises usando humedales construidos con la planta *Cyperus alternifolius* como tratamiento secundario después de la trampa de grasa considerada como tratamiento primario, obtuvo resultados favorables con una “remoción total de la DBO₅, DQO y SST de 92.4, 88.5 y 96.6 % respectivamente”, concluyendo que el sistema de tratamiento mediante humedales opera de manera efectiva y satisface los requisitos de tratamiento establecido.

Cecilio Cabrera (2016), investigó la “eliminación adicional de materia orgánica influenciada por la macrófita *Scirpus Californicus* (Totorá), en humedales artificial de flujo subsuperficial, con dos tipos de grava una etapa con 5.0 cm y la otra con 2.5 cm, cada etapa la evaluó a 9, 12 y 16 horas de tiempo de retención hidráulica (TRH)”, obteniendo como resultados más alto una eficiencia de 67.6% en DBO₅ a un TRH de 10 horas en la segunda etapa y 64.1% de eficiencia en DQO a un TRH de 16 horas, todas estas con influencia de plantas macrófitas, sin embargo el resultado para la reducción de DBO₅ con macrófita *Scirpus Californicus* es negativa al inicio con 16 horas de TRH.

2.1.3. Antecedentes Regionales

Umasi (2019), realizó una evaluación de la eficacia de dos tipos de humedales con dos tipos de plantas fitoremediadoras (*Schoenoplectus californicus*-Totorá e *Hydrocotyle vulgaris*-sombbrero de agua) para eliminar la materia orgánica de los efluentes domésticos en el distrito de Juliaca, donde obtuvo 96% de remoción de: SST, DBO₅ y DQO en un humedal superficial con la planta *Hydrocotyle vulgaris*, mientras que con el

humedal de tipo subsuperficial con la planta *Schoenoplectus californicus* alcanzó 85%, 88% y 86% de remoción de SST, DBO₅ y DQO respectivamente.

Coaquira H. (2018), en su investigación realizó la depuración de agua residual domestica por humedales con *Schoenoplectus californicus* (Totora) en una comunidad de la región Puno, demostrando una eficacia de reducción de 80% de DBO, 64.6% de la DQO y 60.2% remoción de solidos totales en suspensión, sosteniendo que la Totora posee un potencial para la reducción de los parámetros fisicoquímicos.

Llberto Jimenez et al. (2016), realizaron el “manejo de aguas eutrofizadas de la bahía interna de Puno con dos especies de macrófitas *Eloidea* y *Myriophyllum*”, donde evaluaron la eficiencia de absorción de iones de nitrógeno total y fósforo total, determinado que la macrófita *Myriophyllum* es eficaz al absorber 1.98 mg/L de nitrógeno total en sus órganos en 35 días y 1.72 mg/L por la macrófita *Eloidea*.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Humedales artificiales

Se trata de un sistema artificial diseñado por el ser humano para tratar aguas residuales, esto consiste en de cuerpos de agua poco profundo, donde se cultivan plantas acuáticas específicas. Este sistema recrea procesos naturales para purificar el agua residual, utilizando el potencial de plantas macrófitas en captar y metabolizar contaminantes, contribuyendo así a su depuración de manera efectiva y sostenible Romero et al., (2009). Los humedales construidos presentan ventajas significativas comparando con otras alternativas de tratamiento, dado que demandan un bajo consumo energético o incluso

ninguno para su funcionamiento. Además, ofrecen un hábitat propicio para los seres vivos y tienen un aspecto estéticamente agradable. Una de las características más resaltantes de los humedales artificiales es por tener un suelo saturado de agua y una comunidad viviente (plantas y animales) adaptados a la vida acuática o a un suelo saturado, existen dos tipos de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de aguas residuales: los de flujo superficial libre (FWS – Free Water Surface) y los de flujo subsuperficial (SFS – sub surface flow) Arias Martínez et al., (2010).

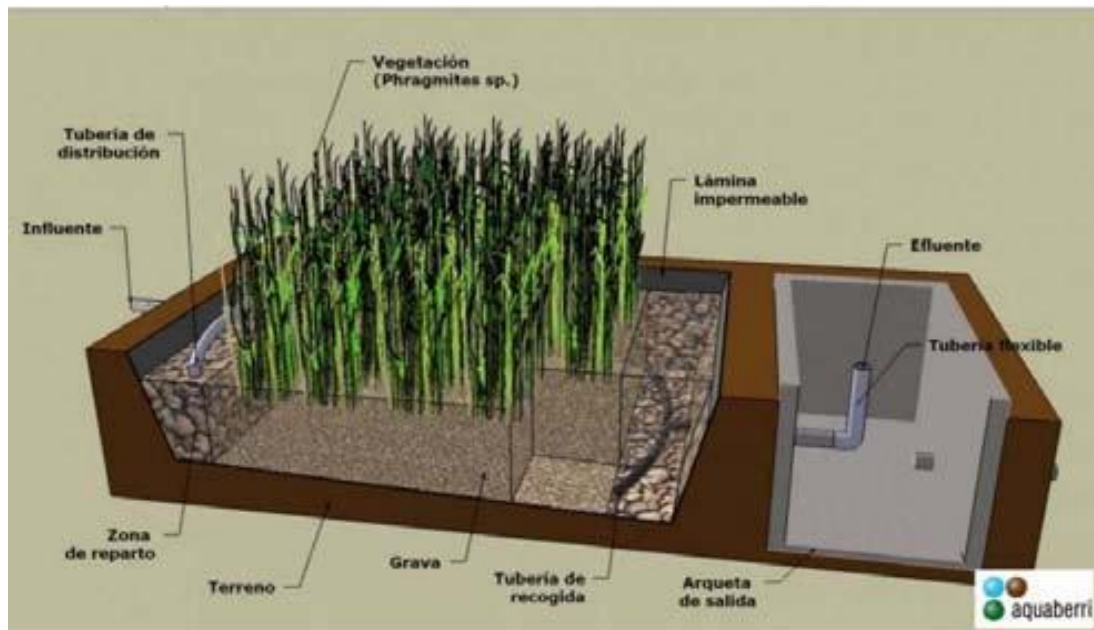


Figura 1. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial (SFS).

2.2.2. Mecanismos de remoción de contaminantes

- a. **Compuestos orgánicos y sólidos suspendidos:** eliminación de estos compuestos ocurre por la intervención de fenómenos físicos, químicos y biológicos, donde los sólidos son depurados mediante filtración a través de un medio granular. esto ocurre por lo general en la entrada del humedal y disminuyendo la concentración en el resto del humedal. El proceso biológico es el principal mecanismo de degradación de

residuos orgánicos por ser esta fuente principal de carbono y una mezcla de biopolímeros como la proteína, lípidos y carbohidratos. La materia orgánica presentes, son eliminados por degradación bacteriana, sedimentación, volatilización, precipitación química y por la incorporación de plantas Alarcon et al., (2018).

b. Nitrógeno total: se refiere a la totalidad de las formas de nitrógeno presentes en el agua. Las plantas macrófitas desempeñan una función crucial dentro del ciclo del nitrógeno en un sistema de humedales, las plantas macrófitas proporcionan en la rizosfera un ambiente aeróbico que ayuda en la nitrificación y desnitrificación figura 2, así mismo las plantas macrófitas y los microorganismos formados en la rizosfera asimilan en sus tejidos al nitrógeno.

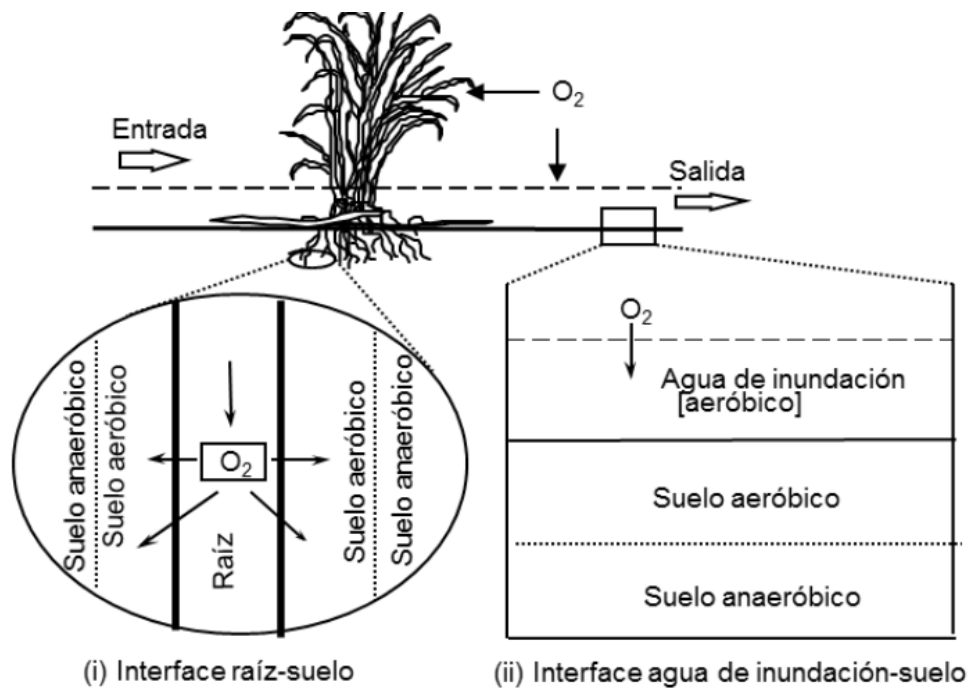


Figura 2. Localización de las interfases aerobias y anaerobias en los humedales

c. **Fósforo total:** el fósforo se reconoce como un nutriente vital para organismos tales como los microorganismos y estos pueden asimilar el fósforo e integrar en sus estructuras celulares, asimismo el fósforo es el nutriente que permite desarrollarse a las de plantas macrófitas, la disminución del fósforo en aguas residuales por humedales se da en forma de fosfatos, pues las biopelículas y las plantas macrófitas hacen uso de esta fuente como macronutrientes para su desarrollo y crecimiento, estos mecanismos son de tipo químicos, pues se da una formación de complejos con hierro y aluminio a un pH ligeramente ácido y así pueden precipitarse como fosfatos de hierro y aluminio Reyes Luz et al., (2017).

2.2.3. Macrófitas

Se les conoce a sí a las plantas vasculares, musgos o algas que habitan en zonas acuáticas o húmedas, estas plantas forman parte indispensable de los humedales por ser responsables del tratamiento de las aguas residuales aplicadas a los diferentes sistemas de humedales Brix, (1997) por su influencia en la actividad microbiana L. Zhang et al., (2018) al liberar oxígeno y generar condiciones aeróbicas alrededor de la rizosfera Faußer et al., (2012), así también las macrófitas absorben nutrientes afectando el potencial de desnitrificación fúngica Liu et al., (2015).

2.2.4. Función de plantas macrófitas en remover contaminantes

La función de las macrófitas es la liberación de oxígeno proporcionando condiciones aeróbicas alrededor de sus raíces, proporcionando sitios aptos y favorables para la actividad bacteriana, así mismo las raíces producen carbono impulsando los procesos microbianos. Qadiri et al., (2021) citó a Wang et al., (2018), así mismo tiene la función

de asimilación directa de contaminantes en sus tejidos, actuando también como catalizadores para las reacciones de purificación Alarcon et al., (2018).

2.2.5. Fitorremediación

Es una técnica donde se hace uso de plantas con el fin de absorber, inmovilizar, reducir la toxicidad, degradar o estabilizar compuestos contaminantes que se liberan al medio ambiente Kafle et al., (2022) y así recuperar nutrientes y descontaminar el medio ambiente, esta técnica se caracteriza por ser una práctica de bajo costo, ecológico y sostenible respecto a otras técnicas de tratamiento físico-químico y biológicos tradicionales Hu et al., (2020).

2.2.6. Microorganismos

Los responsables de ejecutar el proceso biológico son los microorganismos, quienes se encargan principalmente de degradar los componentes orgánicos. Por la región superior, donde el oxígeno emitido desde el sistema radicular y el oxígeno proveniente de la atmosfera son predominantes, aquí los microorganismos que requieren oxígeno para vivir se desarrollan, es decir, microorganismos aeróbicos. En otras partes del lecho granular se encuentran microorganismos anaeróbicos. Las bacterias, hongos, protozoarios y levaduras son los principales microorganismos presentes en la biopelícula del humedal Delgadillo et al., (2010).

2.2.7. Aguas residuales lácteas

Los desechos lácteos típicamente contienen partículas sólidas en suspensión, componentes orgánicos, abundancia de nitrógeno y fósforo, así como también aceites y

grasas. Además, pueden contener residuos de los productos de limpieza utilizados en la limpieza de utensilios y equipos Ahmad et al., (2019).

- a. Suero:** el suero es el “subproducto líquido rico en proteínas de la producción de queso” Sembera, Macintosh, Astals, & Koch, (2019 p.218), este sub producto contiene alto contenido en materia orgánica, DBO, DQO, fósforo y nitrógeno Kothari et al., (2012), considerándose así como uno de los sub productos más responsable y generador de grandes impactos al medio ambiente Das et al., (2016) debido al alto contenido en materia orgánica, DBO, DQO, fósforo y nitrógeno Kothari et al., (2012).
- b. Generalidades del lactosuero:** el suero de leche, un derivado común del proceso lácteo, se caracteriza por contener predominantemente entre 44 y 52 gramos por litro de lactosa, entre 6 y 8 gramos por litro de proteínas, y entre 4 y 9 gramos por litro de sales minerales. La producción global de leche supera los 145 millones de toneladas anuales. Sin embargo, los componentes del suero de leche y los efluentes del proceso de limpieza del sector lácteo difieren, debido a la generación diaria de una considerable cantidad de aguas residuales en las plantas lecheras, que oscila en un rango de 4 a 10 litros de agua por cada litro de leche procesada, dependiendo del tipo de instalación. La mayoría de estas aguas provienen principalmente de la higiene de equipos, maquinaria y áreas de procesamiento, por lo tanto, incluyen residuos lácteos y sustancias químicas como ácidos, bases, detergentes y desinfectantes. Villena, (1995), la tabla 1 muestra algunas características del tipo de carga que contienen las aguas residuales de la industria láctea.

Tabla 1.

Propiedades de los efluentes de la industria láctea.

pH	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	NT (mg/L)	P Total (mg/L)	Aceite y grasa (mg/L)	NH ₃ (mg/ L)	TSS (mg/L)	TS (mg/ L)	Autores
-	12000	9060	-	31.4	197	-	4621.5	-	(Enrique, 2019)
8.5- 10.3	-	2115	-	187	-	167	143	-	(Mansoorian et al., 2016)
-	15000	11120	144	101.25	1800	-	5560	8140	(Guerra Sandoval , 2018a)
8.22	6000	2900	242	184	-	-	465	1925	(Rani et al., 2022)
6	12000	59996	324	223	-	-	3000	-	(Yapıcıoğlu & Yeşilnacar, 2020)

- c. Efluentes de la industria láctea:** los efluentes de la industria láctea liberan cantidades significativas de agua residual, esto debido a su alta demanda de leche y a las grandes cantidades de agua que se consume para la elaboración de los diferentes productos lácteos. Por ello es esencial su tratamiento de estos efluentes antes de ser liberados al medio ambiente, para reducir el impacto ambiental que produce por sus concentraciones elevadas de nutrientes como el fósforo y nitrógeno Hussam Faraj, Ahmad Jamrah, Saif Al-Omari, (2023).

2.2.8. Contaminación del medio

- a. **Contaminación de las aguas subterráneas por la industria láctea:** la contaminación de aguas subterráneas por la industrias lácteas se produce debido a la infiltración de aguas residuales con contenidos de materia orgánica provocando alteración de las aguas subterráneas y promoviendo el crecimiento de bacterias anaeróbicas y hongos Sharma et al., (2021).
- b. **Contaminación del agua por industria láctea:** la acumulación no deseada de compuestos y organismos en un ecosistema acuático. En referencia a las aguas nacionales, se refiere a la acumulación de una variedad de elementos y compuestos introducidos por vertir aguas residuales sin tratar o tratadas de manera insuficiente, lo cual sobrepasa la capacidad de asimilación y autodepuración del cuerpo de agua receptor. Esto resulta en concentraciones que exceden los estándares de calidad establecidos para la zona sujeta a regulación. Las aguas residuales lácteas contaminan los recursos hídricos a raíz de las concentraciones elevadas de compuestos orgánicos, DBO, DQO y aceites y grasas Módenes et al., (2024).
- c. **Contaminación del suelo por la industria láctea:** esto conlleva efectos adversos en la sanidad ambiental, la salud pública y la producción agrícola, resultando en productos no saludables, degradación del suelo y cambios en su uso, lo que limita su aprovechamiento óptimo y altera las condiciones naturales del entorno. La contaminación del suelo por las aguas residuales de la industria láctea se da por el vertimiento sin tratamiento produciendo impactos negativos al producir endurecimiento del suelo y aumento de concentración de metales Rahul et al., (2022).

2.2.9. Métodos de tratamiento de aguas residuales de industria láctea.

Existen diferentes métodos de tratar y depurar las aguas residuales lácteas contaminadas, que abarcan técnicas físicas, químicas y biológicas. Sin embargo, su eficiencia no es suficiente para cumplir límites de descargas, algunas tecnologías de tratamiento biológico convencional como los lodos activados, contactor biológico, microalgas etc. Tienen limitaciones al tratar sólidos, cargas orgánicas, sólidos totales y residuos de lactosa Sharma et al., (2021), sin embargo el uso de vegetación en humedales ha traído buenos resultados en Argentina Schierano et al., (2020a), Italia Gorra et al., (2014). El tipo de tratamiento con plantas macrófitas por humedales pueden ser primarios Gorra et al., (2014) secundarios Licata et al., 2022b; Pelissari et al., (2014), o tratamiento terciario (Schierano et al., 2020b), esto depende de la concentración y tipo de contaminantes presente en el agua residual.

a. Método de tratamiento físico: los métodos físicos considerados también como métodos de tratamiento primario que involucra fenómenos naturales para tratar el agua residual tales como: fuerzas de van der Waals, la atracción eléctrica y gravedad, no hay intervención de productos químicos, estos tipos de métodos de tratamiento físico no cambian la estructura química y composición biológica de las sustancias, algunos de estos métodos de tratamiento son: la sedimentación, la aireación, igualación de flujo y la filtración, Afolalu et al., (2022).

b. Método de tratamiento biológico: este método actúa por medio de actividad biológica, tanto por microorganismos como por la biorremediación, en los microorganismos el tratamiento de aguas se realiza utilizando métodos biológicos

como la oxidación biológica y biosíntesis, biodegradando los compuestos orgánicos presentes en aguas residuales y en la biorremediación el tratamiento esta implementado por la interacción de microorganismos (autótrofos y heterótrofos), los microorganismos autótrofos son encargados de la fijación de carbono y producción de compuestos orgánicos mientras que los microorganismos heterótrofos se encargan del aprovechamiento de los compuestos orgánicos como recurso energético para su desarrollo la biorremediación se puede dar por medio de la fitorremediación, rizofiltración, bioestimulación o por la bioaumentación Saravanan et al., (2021). Los métodos de tratamiento biológico están divididos en dos grupos, tratamientos anaeróbicos sin presencia de oxígeno y aeróbicos donde la biodegradación por microorganismos se da en presencia de oxígeno, en este sistema se incluye a filtros de goteo, lodos activados, lagunas de aireación y estanques de oxidación, Afolalu et al., (2022).

- c. **Método de tratamiento químico:** los tratamientos químicos son métodos para la eliminación segura de contaminantes, como complemento a los métodos de tratamiento físicos o biológicos, algunos de estos métodos químicos son los siguientes: intercambio iónico, ozonización, adsorción, precipitación química, floculación y coagulación Saravanan et al., (2021).

2.2.10. Parámetros fisicoquímicos evaluados

- a. **pH:** es un parámetro que muestra la presencia de iones hidronio en una solución acuosa, lo que a su vez determina su nivel de acidez o alcalinidad. La escala de pH abarca valores desde 0 hasta 14, donde 0 representa la máxima acidez, 7 es neutro y

14 indica la máxima alcalinidad. Esta escala proporciona una referencia fundamental para entender y controlar las propiedades químicas de diversas soluciones. Las aguas residuales demasiada ácidas o alcalinas son perjudiciales para los seres vivos Oré, (2017).

- b. Conductividad eléctrica:** es la habilidad intrínseca de una sustancia en conducir la corriente eléctrica a través de ella. Esta característica está estrechamente ligada a la existencia de sales disueltas en agua, tales como calcio, bicarbonatos, magnesio, sodio y potasio, que influyen en la habilidad de la solución para conducir cargas eléctricas. La medición de la conductividad eléctrica es esencial en numerosos campos, dado que ofrece información importante acerca de la composición y la calidad de las soluciones acuosas.

- c. Demanda química de oxígeno (DQO):** se manifiesta típicamente por mgO_2/L de agua y se utiliza como una medida rápida y más amplia de la contaminación orgánica en comparación con la DBO. Debido a que la DQO incluye la oxidación de sustancias tanto biodegradables como no biodegradables, puede proporcionar una evaluación más detallada de la calidad del agua Lizana, (2018).

- d. Demanda biológica de oxígeno (DBO):** medida del oxígeno disuelto necesario para la descomposición microbiana de la materia orgánica acuática durante un intervalo de tiempo específico. Es una prueba comúnmente utilizada para la evaluación de la calidad del agua, dado que permite determinar cuánta materia orgánica biodegradable hay en una muestra de agua, por lo tanto, cuánta contaminación orgánica existe. La

DBO está expresada típicamente en miligramos de oxígeno por litro de agua y se realiza durante un período de incubación específico Lizana, (2018).

- e. **Fósforo total:** cantidad total de fósforo presente en una muestra de agua, independientemente de su forma química. El fósforo es crucial para el desarrollo de plantas y organismos hidrobiológicos, pero el exceso de este nutriente en los cuerpos de agua puede conducir a problemas de calidad del agua, como el enriquecimiento excesivo de nutrientes que puede provocar una proliferación desmesurada de algas y vegetación acuática, lo cual puede resultar en la disminución del oxígeno en el agua y dañar el ecosistema acuático.

- f. **Sólidos totales:** “Están conformados por sólidos de distintos tamaños, que a su vez se definen como sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, coloides y sólidos disueltos” (Lizana, 2018, p. 27).

- g. **Aceites y grasas:** sustancias orgánicas constituidos por ácidos grasos diferentes orígenes, una de sus características es que son poco solubles en agua, poseen baja densidad y baja o nula biodegradabilidad, formando natas en las superficies de las aguas y espumas. Estas espumas y natas no ayudan al tratamiento químico o físico de aguas residuales por lo que se debe eliminar en la primera etapa de tratamiento, el efecto que tiene es la interferencia de gases intercambiados entre atmosfera-agua, obstruyendo la transición de oxígeno hacia el agua y evitando el retiro del CO₂ del agua, pudiendo llegar a acidificar el agua Toapanta, (2016).

h. Nitrógeno total: es la suma de todas las formas de nitrógeno presentes en el agua. Los valores altos de nitrógeno total provocan aumento de la acidez, eutrofización, que puede alterar la capacidad de los seres vivos para crecer, reproducirse y sobrevivir Cárdenas Calvachi & Sánchez Ortiz, (2013).

2.2.11. planta macrófita *Cortaderia jubata*

El género *Cortaderia* agrupa 24 especies, 6 se encuentran registradas en el Perú. *La Cortaderia jubata*, planta perenne de la familia gramíneas, considerada una planta altamente competitiva, su biomasa aérea y subterránea le permite adquirir humedad y nutrientes es de densas matas de color verde claro a blanquecino de 2 a 4 m de altura con hojas de 1 a 3 m de largo y de 3 a 8 cm de ancho, con ramas, de pelos sedosos y largos que sobrepasan la patea. Su hábitat son suelos húmedos generalmente presentes en los bordes de los manantiales y ríos, se distribuyen por Bolivia, Perú y Ecuador Tovar, (1993).

a. Clasificación Taxonómica

Reino: Plantae

Phylum: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Poales

Familia: Gramineas

Género: *Cortaderia*

Nombre científico: *Cortaderia jubata*

Nombre común: “Sewenk’a”



Figura 3. Planta Cortaderia jubata

b. Establecimiento.

La *Cortaderia jubata* habita comúnmente en zonas subhúmedas. Es capaz de habitarse en varios tipos de suelo así como humedales, dunas, matorrales, es una planta que puede colonizar rápidamente CONAVIO, (2016), el género *cortaderia* es una planta que tiene capacidades fitorremediadoras en sistemas de humedales (Aguilar Diaz & Aguilar Dias, 2017).

2.2.12. Planta macrófita *Schoenoplectus totora*

La *Schoenoplectus totora* pertenece a la familia Cyperaceas que comprende alrededor de 3000 especies distribuidas en partes húmedas. El género *Schoenoplectus* se encuentra ampliamente distribuido geográficamente, prosperando en áreas de humedales y terrenos con suelos constantemente húmedos. La *Schoenoplectus* es una planta perenne de raíces fibrosas de talla mediana a grande, generalmente rizomatosas, de tallos erectos y trígono, de base no tuberosa, las hojas con vainas foliares y de inflorescencia simple pseudolateral de espinguillas (Calcina, 2009).

a. Clasificación Taxonómica

Reino: Plantae

Phylum: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Cyperales

Familia: Cyperaceae

Género: Schoenoplectus

Nombre científico: *Schoenoplectus totora*

Nombre común: “Totora”



Figura 4. Schoenoplectus totora

Vegetación más abundante de la laguna de Orurillo, crece hasta 4 m de altura de inflorescencia en umbela conocida también con el nombre de *Scirpus totora*.

2.3. Marco legal Nacional

2.3.1. Límite máximo permisible

El 17 de 2010 se publicó el D.S. N° 003-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

Tabla 2.

LMP para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

Parámetro	Unidad	LMP
pH	pH	6.5-8.5
Conductividad Eléctrica	uS/cm	No regula la norma
DQO	mgO ₂ /L	200
DBO	mgO ₂ /L	100
Fosforo total	mg/L	No regula la norma
Sólidos totales	mg/L	No regula la norma
Aceites y grasas	mg/L	20
Nitrógeno total	mg/L	No regula la norma

2.3.2. Valores máximos admisibles (VMA)

El 11 de marzo de 2019 se publicó Decreto Supremo N° 010-2019-vivienda que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

Tabla 3.

VMA para descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

Parámetro	Unidad	VMA
pH	pH	6.9
Conductividad Eléctrica	uS/cm	No regula la norma
DQO	mgO ₂ /L	1000
DBO	mgO ₂ /L	500
Fosforo total	mg/L	No regula la norma
Sólidos totales	mg/L	No regula la norma
Aceites y grasas	mg/L	100
Nitrógeno total	mg/L	No regula la norma

2.4. Normativa internacional

2.4.1. Límites máximos admisibles-Argentina

Se tomó como referencia los límites máximos admisibles para descargas de efluentes líquidos industriales-Argentina.

Tabla 4.

Límites máximos admisibles

Parámetro	Unidad	LMA-Argentina
pH	pH	6.0-9.0
Conductividad Eléctrica	uS/cm	No regula la norma
DQO	mgO ₂ /L	No regula la norma
DBO	mgO ₂ /L	≤50
Fósforo total	mg/L	≤10
Sólidos totales	mg/L	No regula la norma
Aceites y grasas	mg/L	No regula la norma
Nitrógeno total	mg/L	≤20

2.4.2. Límites máximos de descarga a acuíferos

Norma ambiental sobre calidad de aguas subterráneas y descargas al subsuelo de Republica Dominicana (MMARN, 2004).

Tabla 5.

Límites máximos de descarga de aguas industriales lácteas a acuíferos.

Parámetro	Unidad	Lim Max de descarga
pH	pH	6.0-8.5
Conductividad Eléctrica	uS/cm	No regula la norma
DQO	mgO ₂ /L	400
DBO	mgO ₂ /L	100
Fosforo total	mg/L	3.0
Sólidos totales	mg/L	No regula la norma
Aceites y grasas	mg/L	10
Nitrógeno total	mg/L	30

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito de estudio

La investigación se ejecutó en el distrito de Orurillo provincia de Melgar, situada a 3897 m.s.n.m. con coordenadas UTM WGS84 E: 335484, N: 8375200.

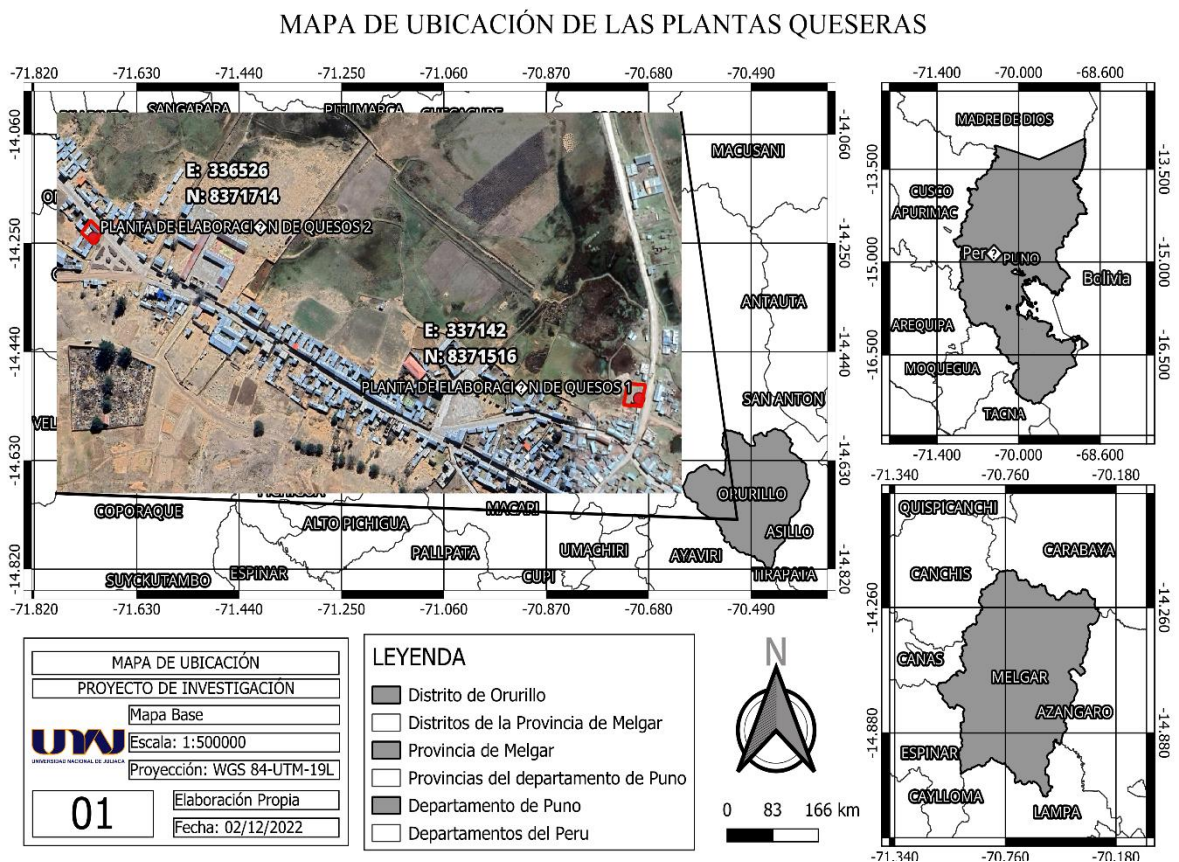


Figura 5. Mapa de ubicación (ArcGIS V. gratuita)

3.2. Tipo, diseño y nivel de la investigación

El tipo de investigación es no probabilístico experimental de nivel longitudinal.

3.3. Población de estudio

La población de estudio estuvo constituida por las aguas residuales lácteas de dos plantas queseras del distrito de Orurillo.

3.4. Muestra

Las muestras de agua residual recolectadas para el análisis fisicoquímico fueron 20 litros, por cada mes de análisis, esto según los protocolos de muestreo existentes.

3.5. Materiales y equipos

3.5.1. Materiales

Tanque de capacidad 600 L, 4 codos de PVC 1" 90°, 11 Tee PVC 1" 9 reductores de PVC de 1" a ½", 20 llaves de paso de ½" 9 uniones de PVC de ½" 3 tubos PVC de 1" 2 tubos PVC de ½", Cinta métrica de 50 M, 5 bidones de 5 galones, grava de río, plástico de polietileno.

3.5.2. Equipos.

GPS de mano (GARMIN-Etrex 30x), multiparámetro (HANNA-HI 98194), termómetro digital (JR9X-MAX39).

3.6. Procedimiento metodológico

La investigación, comprendió las siguientes etapas:

3.6.1. Construcción del estanque del humedal

En esta fase se construyó los estanques para el microcosmos de dimensiones de (largo: 0.65 m, ancho: 0.40 m, alto: 0.45 m), impermeabilizándose con plástico de polietileno e instalándose las tuberías y accesorios para el funcionamiento del humedal. Los microcosmos se rellenaron con arena de 20 mm y 30mm hasta 40 cm de cada microcosmo.

3.6.2. Identificación de plantas macrófitas y aclimatación.

En esta etapa se realizó la identificación y selección de 4 especies de macrófitas, esto se realizó por el método no probabilístico muestreo por conveniencia, estas especies son: *Stipa ichu*, *cortaderia jubata*, *Rumex crispus* y *Schoenoplectus totora*, estas especies se seleccionaron por ser más abundantes en la zona, tomando en cuenta el método de muestreo por conveniencia, quiere decir, que se eligieron porque se encontraban disponibles para el investigador Otzen & Manterola, (2017)., de las 4 especies seleccionadas se seleccionaron 2 especies de macrófitas teniendo en cuenta la aclimatación a la zona, tamaño de raíces, biomasa, plantas perennes Queiroz et al., (2020), estas dos plantas fueron la *Cortaderia jubata* que se seleccionó y extrajo 3 lotes de estas plantas, estas plantas fueron encontradas en un río cercano, posteriormente se trasplantó al estanque A-1, A-2, y A-3, la segunda planta macrófita seleccionada fue la *Schoenoplectus totora*, esta planta se ubicó en el lago del distrito de Orurillo,

trasplantándose en los estanques B-1, B-2 y B-3, ambas plantas son de la zona. Las plantas macrófitas fueron adaptadas 2 meses antes de iniciar el tratamiento, primero la adaptación se realizó con agua pura, después con agua residual láctea.

Tabla 6.

Especies de macrófitas seleccionadas

Macrófitas seleccionada

Muestra 01. Stipa ichu



Muestra 02. Cortaderia jubata



Muestra 03. Rumex crispus



Muestra 04. Shoenoplectus totora



La tabla 6 evidencia la selección de las cuatro especies de macrófitas previamente seleccionadas antes de escoger las dos macrófitas para tratar los efluentes lácteos.

3.6.3. Caracterización del agua residual lácteas

La caracterización inicial de aguas residuales lácteas se realizó de dos plantas de producción de quesos del distrito de Orurillo, las muestras se colectaron del punto donde las plantas queseras vierten las aguas residuales, para ser analizadas en el laboratorio de aguas y suelos del Instituto Nacional de Innovación Agraria-Puno, considerando los parámetros de: pH, DBO, DQO, Aceites y grasa, nitrógeno total, fósforo total, y sólidos totales, determinando así el nivel de concentración inicial de contaminantes de los efluentes lácteos. Así mismo se realizó el análisis en el afluente y efluente en cada mes de tratamiento, los métodos de análisis están detalladas en la siguiente tabla.

Tabla 7.

Metodología de análisis.

Ensayo	Unidad	Metodología
pH	pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	uS/cm	ISO 11265:1994/Cor.1:1996. Soil quality- Determination of the Specific
DQO	mgO ₂ /L	ISO 6060/1989 UDC 628.312.4 water, quality, chemical analysis, determination, oxygen demand.
DBO	mgO ₂ /L	ISO 6060/1989 water, quality, chemical analysis, determination biological oxygen demand
Fosforo total	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P, B (item 5) y E, 23rd Ed.
Sólidos totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B. Solids.Total Solids Dried at 103-105°C. 23rd Edition, 2017.
Aceites y grasas	mg/L	ISO 6060
Nitrógeno total	mg/L	Kjeldahl

3.6.4. Evaluación comparativa de dos especies de macrófitas

La investigación se realizó simulando microcosmos de humedales construido con dos especies de macrófitas seleccionadas (*Cortaderia jubata* y *Schoenoplectus totora*), para cada microcosmos de humedales con cada especie de macrófita se tuvo 3 réplicas y también un testigo sin macrófitas Maucieri et al., (2020) para ver la influencia de las macrófitas en cada microcosmos de humedales, teniendo así un total de 9 unidades experimentales que fueron alimentadas por un tanque de 600 L de la misma agua residual láctea. El tratamiento inició el 6 de abril de 2023 realizándose los análisis en efluente-afluente una vez por mes durante 4 meses (abril, mayo, junio y Julio). El agua residual se trajo desde dos plantas queseras juntándose en un tanque de capacidad de 600 L, distribuyendo a los microcosmos. El tiempo de retención hidráulico (TRH) para los 9 microcosmos fue de dos días y medio, misma que fue calculada con la siguiente ecuación Qadiri et al., (2021):

$$TRH = \frac{l*w*d*\varphi}{q} \quad (1)$$

Donde:

l : Es la longitud del microcosmo

w : Es el ancho del microcosmo

d : Es la profundidad del microcosmo

φ : Es la porosidad del medio (40%)

q : tasa de flujo de entrada a cada microcosmo

Al comienzo de cada ciclo de tratamiento se dosificó un volumen de 20 litros de agua residual láctea a cada unidad de microcosmos.

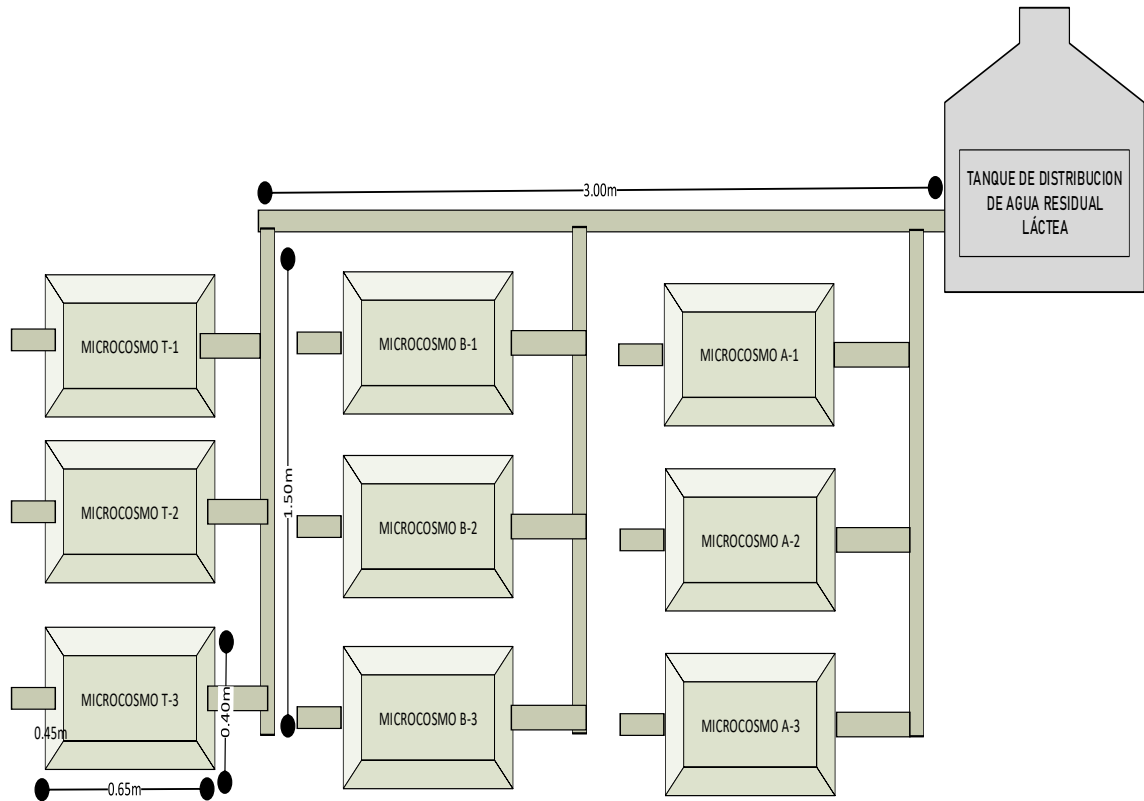


Figura 6. Diagrama esquemático del diseño experimental aplicado.

3.7. Evaluación estadística

Se empleo un diseño completamente al azar factorial 3x4 con 3 repeticiones con un total de 36 unidades experimentales, en su forma lineal modelo aditivo es:

$$Y_{ijk} = \mu + E_i + T_j + ET_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (2)$$

Donde:

Y_{ijk} : es la variable de respuesta

μ : es la media poblacional

E_i : es el efecto del i-iesimo tratamiento

T_j : es el efecto del j-iesimo tiempo de evaluación (mes)

ET_{ij} : es el efecto de la interacción de primer orden en i-iesimo tratamiento y j-iesimo tiempo de evaluación

ε_{ijk} : es el error experimental

Por el diseño de los tratamientos en el cual se considera un testigo, implicara que se realizara comparaciones múltiples de medias de Dunnett en donde compararon con el testigo, para las comparaciones de mes evaluación se utilizó Tukey y en las comparaciones de efectos simples también se utilizó este último.

3.7.1. Método de análisis estadístico

Con el fin de facilitar una comprensión más exacta de los datos obtenidos del afluente y efluente de cada parámetro evaluado se realizó por sustracción y el resultado de esta operación fueron sometidos al análisis de la varianza.

Según Bandera & Pérez, (2018) indican que no siempre se cumplen las premisas de los análisis paramétricos (normalidad y homogeneidad de varianzas). Este caso dificulta la aplicabilidad de modelos convencionales, de modo que, se busca de identificar la estrategia analítica más adecuada.

En casos donde se realizan evaluaciones repetidas de una característica particular o de niveles similares dentro de una fuente de variación, existe la tendencia errónea de asumir una distribución normal al aplicar un análisis de varianza (ANOVA), identificando individuos y momentos de evaluación. Sin embargo, lo correcto es no suponer normalidad y obtener una mayor eficiencia mediante ecuaciones de estimación generalizada Gómez et al., (2012).

Considerando lo mencionado anteriormente y de acuerdo con nuestros datos se optó por el análisis bajo un modelo lineal generalizado respetando el modelo aditivo descrito anteriormente.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Selección de dos macrófitas con características de buena biomasa aérea y radicular, de mejor aclimatación y adaptación en la zona, para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.

Tabla 8.

Resultados de las características obtenidas en la selección de macrófitas

Características	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04
Especie	<i>Stipa ichu</i>	<i>Cortaderia jubata</i>	<i>Rumex crispus</i>	<i>Shoenoplectus totora</i>
Clasificación	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne
Tipo de raíz	Fasciculadas	Fasciculadas	Pivolante gruesas	Adventicias
Longitud de raíz	0.24 m	0.35 m	0.40 m	0.34 m
Biomasa aerea (por panojo)	H: 0.64 m A: 0.10m	H: 2.65 m A: 0.70 m	H:0.39 m A: 0.30 m	H: 1.34 m A: 0.73 m
Tallo	Ciliado	Redondo	Con rayas longitudinales	Redondo con espacios porosos

La tabla 8 evidencia 4 especies de macrófitas, dicha selección se realizó por ser más abundantes en la zona y ser plantas perennes, de estas se seleccionó dos especies para tratar las aguas residuales lácteas (*Cortaderia jubata* y *Schoenoplectus totora*) por poseer buenas características aéreas al poseer tallos redondeados donde pueden absorber contaminantes fácilmente y ambas poseen raíces que favorecen a la formación de rizosfera y con ella favorecer el crecimiento de microorganismos eficaces Coaquira & Cauna, (2021), la especie

stipa ichu no se tomó por ser planta adaptable a lugares secos y no humedales, utilizándose en su mayoría para remediación de suelos Benites & artha, 2021; Vargas P. María I., (2020), así mismo ambas plantas seleccionadas poseen buena biomasa aérea por panojos en lo que respecta a la altura donde se obtuvo como medidas máximas de 2.65 m para la *Cortaderia jubata* y 1.34 m para la *Schoenoplectus totora* a la vez ambas se encontraron de mayor dimensión de ancho de panojos.



Figura 7. toma de dimensiones de las macrófitas seleccionadas para el tratamiento

4.2. Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales de la industria láctea

La determinación inicial de los parámetros fisicoquímicos propuestos fue analizada en abril de 2023, antes de iniciar con los tratamientos en las unidades de microcosmos, dichos parámetros fueron analizados en el laboratorio del INIA Puno.

La comparación se realizó con los (LMP) para efluentes de aguas residuales domésticas como referencia al no encontrarse LMP para las aguas residuales lácteas, así mismo se realizó una comparación con los valores máximos admisibles (VMA) porque una parte de las aguas residuales evaluadas son vertidos a alcantarillas. Por otro lado, se realiza la comparación también con los LMP de Argentina, esta norma está dada para proteger los recursos hídricos superficiales y subterráneos para descargas de aguas residuales industriales, finalmente referencialmente se realiza la comparación con los LM de descarga de aguas industriales como la industria láctea a acuífero.

Tabla 9.

Resultados de la caracterización fisicoquímico de las aguas residuales lácteas.

Ensayo	Unidad	Resultados	LMP	VMA	LMP Argentina	Lim Max de descarga a acuífero
pH	pH	5.45	6.5-8.5	6.9	6.0-9.0	6.0-8.5
Conductividad Eléctrica	uS/cm	2720.0	No regula	No regula	No regula	No regula
DQO	mgO ₂ /L	2121	200	1000	No regula	400
DBO	mgO ₂ /L	1700	100	500	≤50	100
Fósforo total	mg/L	2.48	No regula	No regula	≤10	3.0
Sólidos totales	mg/L	74000	No regula	No regula	No regula	No regula
Aceites y grasas	mg/L	11000	20	100	No regula	10
Nitrógeno total	mg/L	22000	No regula	No regula	≤20	30

La tabla 9 presenta los resultados de caracterización fisicoquímico de las aguas residuales de la industria láctea, observando un valor de 5.45 para el pH, siendo este valor ligeramente ácido, estando fuera de los valores exigidos por los LMP, VMA, LMP-Argentina y fuera de LM de descarga a acuíferos exigido por la normativa internacional; la DQO es de 2121 mgO₂/L indicando, esto indica una concentración elevada de contaminantes que podría afectar la vida acuática, este resultado está fuera del LMP (200 mgO₂/L), VMA (1000 mgO₂/L) y fuera de lo establecido por el LM de descarga a acuífero (400 mgO₂/L); la DBO es de 1700 mgO₂/L y se encuentra fuera de lo regulado por LMP (100 mgO₂/L), VMA (500 mgO₂/L), LMP-Argentina (≤ 50) y superando a los LM de descarga a acuífero (100 mgO₂/L); el resultado de fósforo total es 2.48 mg/L, estando dentro de todas las normas en comparación; nitrógeno total es 22000 mg/L superando las normas internacionales LMP-argentina (≤ 20 mg/L) y LM de descarga a acuífero (30 mg/L), este último valor indican que existe demasiada oferta de nutrientes que puedan generar eutrofización en cuerpos de agua como la laguna de Orurillo; el resultado de aceites y grasas es de 11000 mg/L, superando los LMP, VMA, y los LM de descarga a acuífero (10 mg/L). Finalmente, los resultados de sólidos totales y CE son de 74000 mg/L y 2720 uS/cm respectivamente, estos parámetros no están regulados por las normas tomadas referencialmente para la comparación.

Los resultados alcanzados en este estudio con respecto al pH, DQO y CE son: 5.45, 2121 mgO₂/L y 2720 uS/cm respectivamente, estos resultados son parecidos a los evidenciados por Flores, (2018) 5.60 pH y 1649 mgO₂/L DQO y CE 2720 uS/cm, sin embargo existe una variación significativa en sólidos totales 74000 mg/L con los resultados del mismo autor (sólidos totales 37540 mg/L), por otro lado existe una similitud con los resultados de Sinthia, (2018) en sólidos totales 66000 mg/L”, así mismo en nuestra investigación la DBO es de 1700

mgO₂/L, fósforo total es 2.48 mg/L y nitrógeno total es 22000 mg/L, estos resultados son muy distintos a los encontrados por Rani et al., (2022) (DBO 2900 mgO₂/L, fósforo total 184 mg/L y nitrógeno total 242 mg/L) y Enrique, (2019) (DBO 9060 mgO₂/L, fósforo total 31.4 mg/L), la diferencia se debe a los diferentes procesos realizados, puesto que las plantas queseras de las cuales se tomó las muestras para la presente investigación se procesaba leche para dos productos el queso y yogurt, sin embargo las plantas queseras que estudiaron los autores, tenían como propósito el procesamiento de varios derivados.

4.3. Evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes obtenidas con las macrófitas en los microcosmos de humedales, después de los tratamientos.

Se tiene resultados obtenidos en cada tratamiento y mes, los resultados de análisis de los parámetros fisicoquímicos de los efluentes fueron analizados por el laboratorio del INIA-PUNO.

Tabla 10.

Resultados del análisis de varianza para los parámetros evaluados

Factores	pH	Conductividad Eléctrica	DQO	DBO	Fósforo Total	Sólidos Totales	Aceites y grasas	Nitrógeno Total
Efectos principales								
Tratamiento (Trat)	**	**	**	**	**	**	Ns	**
Mes	**	**	**	**	**	**	Ns	**
Mes* Tratamiento	**	**	**	**	Ns	**	Ns	**
Efectos simples								
Mes de evaluación dentro de A	Ns	**	**	**	-	**	-	**
Mes de evaluación dentro de B	**	**	**	**	-	**	-	**
Mes de evaluación dentro de T	Ns	NS	Ns	Ns	-	Ns	-	Ns
Trat dentro del mes de abril	**	**	**	**	-	*	-	**
Trat dentro del mes de mayo	**	**	**	**	-	**	-	**
Trat dentro del mes de junio	**	**	**	**	-	**	-	**
Trat dentro del mes de julio	**	**	**	**	-	*	-	**

** : Altamente significativo (existe efecto del factor al 99%); * : significativo (existe efecto del factor 95%) Ns: no significativo (no hay efecto).

La tabla 10 evidencia los resultados del análisis de varianza para los parámetros fisicoquímicos de los tratamientos de las aguas residuales lácteas: donde la eficiencia del pH, CE, DQO, DBO, sólidos totales y nitrógeno total de los efluentes según tratamientos, mes e interacción mes*tratamiento resultaron altamente significativos ($p \leq 0.01$), indicando que existe variación significativa del valor final con el inicial por efecto de los tratamientos, también en el tiempo de evaluación (mes) existe variaciones altamente significativas, finalmente la interacción significativa indica que existen cambios de cada tratamiento a cada mes de evaluación y que no necesariamente siguen un mismo comportamiento en los demás tratamientos. Por otro lado la eficiencia de fósforo total de los efluentes según tratamiento y mes resultaron altamente significativos ($p \leq 0.01$) y para el factor mes*tratamiento resultó no significativo lo que quiere decir que no existen cambios significativos de cada tratamiento a cada mes de evaluación, para aceites y grasas de los efluentes según tratamientos, mes e interacción mes*tratamiento resultaron no significativos lo que quiere decir que no existe variación significativa del valor final con el inicial por efecto de los tratamientos, también el tiempo de evaluación (mes) no existe variaciones altamente significativas, finalmente la interacción significativa indica que tampoco existen cambios de cada tratamiento a cada mes de evaluación.

En la prueba de efectos simples que se muestran en la tabla 10, resulta que la eficiencia de cada mes del pH con la macrófita *Schoenoplectus totora* (tratamiento B) tiene una variación altamente significativa, mientras que la macrófita *Cortaderia jubata* (tratamiento A) y el tratamiento testigo (T) con respecto al mes no resultaron significativos. Así mismo la eficiencia de cada mes con los parámetros: CE, DQO, DBO, sólidos totales y nitrógeno total, tratamientos con las plantas macrófitas *Cortaderia jubata* y *Schoenoplectus totora* tienen

una variación altamente significativa, mientras que el tratamiento testigo con respecto al mes no resultaron significativos.

También los tratamientos en el mes de evaluación de abril, mayo, junio y julio los parámetros pH, CE, DQO, DBO, sólidos totales y nitrógeno total resultaron altamente significativos.

Tabla 11.

Comparaciones múltiples de medias Dunnett y Tukey para la eficiencia de los parámetros evaluados.

Factores	pH	CE	DQO	DBO	Fósforo Total	Sólidos Totales	Aceites y grasas	Nitrógeno Total
Testigo	-0.02	-14.42	-2.50	-4.71	-0.04	-2875.00	-508.33	-262.50
<i>Cortaderia jubata</i>	0.11 ***	-247.00 ***	-82.33 ***	-54.96 ***	-0.29 ***	-15916.67 ***	-737.50 ns	-1100.00 ns
<i>Schoenoplectus totora</i>	0.54 ***	-454.17 ***	-190.08 ***	-218.38 ***	-0.49 ***	-21000.00 ***	-954.17 ns	-5591.67 ***
Abril	0.10 c	-63.89 a	-21.33 a	-21.78 a	-0.09 a	-3333.33 a	-466.67 a	-800.00 a
Mayo	0.34 a	-395.56 d	-235.00 c	-138.11 c	-0.41 b	-19777.78 c	-611.11a	-1777.78b
Junio	0.25 ab	-340.67 c	-86.00 b	-170.94 d	-0.31 ab	-21777.78 c	-772.22 a	-3611.11 c
Julio	0.16 bc	-154.00 b	-24.22 a	-39.89 b	-0.28 ab	-8166.67 b	-1083.33 a	-3083.33 c

***: Diferente estadísticamente a su testigo; columnas con letras similares son estadísticamente iguales.

Tabla 12.

Comparación múltiple de medias de Tukey de la prueba de efectos simples mes de evaluación para cada tratamiento para la eficiencia de los parámetros evaluados

Factores	pH	Conductivida Eléctrica	DQO	DBO	Sólidos Totales	Nitrógeno Total
<i>Cortaderia jubata</i>						
Abril	0.06 a	-67.67 a	-10.00 a	-9.67 a	-2666.67 a	-500.00 a
Mayo	0.18 a	-414.00 d	-228.33 c	-65.00 b	-23333.33 b	-733.33 a
Junio	0.11 a	-324.33 c	-67.67 b	-133.83 c	-29333.33 c	-800.00a
Julio	0.90 a	-259.67 b	-23.33 a	-11.33 a	-8333.33 a	-2366.67 b
<i>Schoenoplectus totora</i>						
Abril	0.24 b	-109.33 a	-50.33 a	-46.67 a	-6333.33 a	-1800.00a
Mayo	0.86 a	-753.33 c	-474.67 c	-347.67 c	-31666.67 b	-4050.00 c
Junio	0.67 a	-694.33 c	-188.00 b	-375.17 c	-34666.67 b	-9916.67 d
Julio	0.40 b	-259.67 b	-47.33 a	-104.00 b	-11333.33 a	-6600.00b
Testigo						
Abril	0.00 a	-14.67 a	-3.67 a	-9.00 a	-1000.00a	-100.00 a
Mayo	-0.04 a	-19.33 a	-2.00 a	-1.67 a	-4333.33 a	-550.00 a
Junio	-0.02 a	-3.33 a	-2.33 a	-3.83 a	-1333.33 a	-116.67 a
Julio	-0.02 a	-20.33 a	-2.00 a	-4.33 a	-4833.33 a	-283.33 a

columnas con letras similares son estadísticamente iguales

Tabla 13.

Comparación múltiple de medias de Tukey de la prueba de efectos simples, tratamiento en cada mes de evaluación para eficiencia de los parámetros evaluados.

Factores	pH	CE	DQO	DBO	Sólidos T.	Nitrógeno Total
Abril						
<i>Cortaderia jubata</i>	0.06 ab	-67.67 ab	-10.00 a	-9.67 a	-2666.67 ab	-500.00 a
<i>Schoenoplectus totora</i>	0.24 a	-109.33 b	-50.33 b	-46.67 b	-6333.33 b	-1800 b
Testigo	0.00 b	-14.67 a	-3.67 a	-9.00 a	-1000.00 a	-100 a
Mayo						
<i>Cortaderia jubata</i>	0.18 b	-414.00 b	-228.33 b	-65.00 b	-23333.33 b	-733.33 a
<i>Schoenoplectus totora</i>	0.86 a	-753.33 c	-474.67 c	-347.67 c	-31666.67c	-4050 b
Testigo	-0.04 b	-19.33 a	-2.00 a	-1.67 a	-4333.33 a	-550.00 a
Junio						
<i>Cortaderia jubata</i>	0.11 b	-324.33 b	-67.67 b	-133.83 b	-29333.33 b	-800.00a
<i>Schoenoplectus totora</i>	0.67 a	-694.33 c	-188.00 c	-375.17 c	-34666.67 b	-9916.67 b
Testigo	-0.02 b	-3.33 a	-2.33 a	-3.83 a	-1333.33 a	-116.67 a
Julio						
<i>Cortaderia jubata</i>	0.90 b	-182.00 b	-23.33 ab	-11.33 a	-8333.33 ab	-2366.67 b
<i>Schoenoplectus totora</i>	0.40 b	-259.67 c	-47.33 b	-104.00 b	-11333.33 b	-6600.00 c
Testigo	-0.02 a	-20.33 a	-2.00 a	-4.33 a	-4833.33 a	-283.33 a

columnas con letras similares son estadísticamente iguales.

Tabla 14.

Resultados alcanzados con la macrófita Cortaderia jubata después del tratamiento

Parámetro	Unidad	Abril	mayo	junio	julio	LMP	VMA	LMP Argentina	Lim de descarga a acuífero	Max
pH	Und pH	5.51	5.60	5.34	5.26	6.5-8.5	6.9	6.0-9.0	6.0-8.5	
CE	uS/cm	2652.33	2086.00	2494.67	2618.00	No regula	No regula	No regula	No regula	
DQO	mgO ₂ /L	2111.00	2268.67	1975.33	2035.67	200	1000	No regula	400	
DBO	mgO ₂ /L	1690.33	1735.00	1645.67	1744.67	100	500	≤50	100	
Fósforo total	mg/L	2.41	2.25	2.15	2.41	No regula	No regula	≤10	3.0	
Sólidos totales	mg/L	71333.33	51666.67	48666.67	73666.67	No regula	No regula	No regula	No regula	
Aceites y grasas	mg/L	10666.67	10666.67	10716.67	10600.00	20	100	No regula	10	
Nitrógeno total	mg/L	21500.00	24316.67	23350.00	23333.33	No regula	No regula	≤20	30	

La tabla 14 evidencia que el valor del pH en los meses de tratamiento va desde 5.26 a 5.60 estando fuera del rango establecido por los LMP, VMA, LMA-Argentina y Lim Max de descarga a acuífero; el menor valor alcanzado por la DQO fue de 1975.33 mgO₂/L este y los otros valores de los meses de tratamiento no llegan a cumplir con los LMP (200 mgO₂/L), VMA (mgO₂/L) y Lim Max de descarga a acuífero (400 mgO₂/L); los valores de DBO alcanzados se encuentran entre 1645.67 mgO₂/L y 1744.67 mgO₂/L estando por encima de lo exigido por los LMP (100 mgO₂/L), VMA (500 mgO₂/L), LMA-Argentina (≤ 50 mgO₂/L) y Lim Max de descarga a acuífero (100mgO₂/L); fósforo total los valores alcanzados fueron entre 2.25 a 2.41 mg/L, cumpliendo con el LMA-Argentina que exige que este por debajo de (≤ 10 mg/L) y Lim Max de descarga a acuífero (3.0 mg/L); el valor de aceites y grasas es 10600.00 mg/L en los meses de tratamiento, este valor está por encima de lo exigido por los LMP(20 mg/L), VMA (100 mg/L) y Lim Max de descarga a acuífero (10mg/L); el valor del nitrógeno total alcanzado es de 21500.00mg/L a 24316.67 mg/L estos valores siguen estando fuera de los LMA-Argentina que exige un valor ≤ 20 mg/L y Lim Max de descarga a acuífero (30 mg/L). Así mismo la CE llegó hasta 2086.00 uS/cm en el mes de mayo y los sólidos totales alcanzaron a reducir a 48666.67 mg/L, sin embargo, estos parámetros no están regulado por las normas en comparación.

Tabla 15.

Resultados alcanzados con la macrófita *Schoenoplectus totora* después del tratamiento.

Parámetro	Unidad	abril	mayo	junio	julio	LMP	VMA	LMP Argentina	Lim de descarga a acuífero	Max
pH	Und pH	5.69	6.28	5.90	5.57	6.5-8.5	6.9	6.0-9.0	6.0-8.5	
CE	uS/cm	2610.67	1746.67	2124.67	2540.33	No regula	No regula	No regula	No regula	
DQO	mgO ₂ /L	2070.67	2022.33	1855.00	2011.67	200	1000	No regulado	400	
DBO	mgO ₂ /L	1653.33	1452.33	1404.33	1652.00	100	500	≤50	100	
Fósforo total	mg/L	2.31	1.74	2.09	2.25	No regula	No regula	≤10	3.0	
Sólidos totales	mg/L	67666.67	43333.33	43333.33	70666.67	No regula	No regula	No regula	No regula	
Aceites y grasas	mg/L	10333.33	10500.00	10583.33	10366.67	20	100	No regula	10	
Nitrógeno total	mg/L	20200.00	21000.00	14233.33	19100.00	No regula	No regula	≤20	30	

La tabla 15 evidencia que el valor del pH alcanzó 6.28 solo en el mes de mayo, llegando a cumplir solo con las normas de referencia internacional LMA-Argentina (6.0 a 9.0) y Lim Max de descarga a acuífero (6.0 a 8.5); los valores alcanzados para la DQO fue desde 1746.67 mgO₂/L a 2070.67 mgO₂/L, estos valores están por encima de lo exigido por los LMP (200 mgO₂/L), VMA (mgO₂/L) y Lim Max de descarga a acuífero (400 mgO₂/L); los valores de DBO alcanzados se encuentran entre 1404.33 mgO₂/L y 1653.33 mgO₂/L estando por muy encima de lo exigido por los LMP (100 mgO₂/L), VMA (500 mgO₂/L), LMA-Argentina (≤ 50 mgO₂/L) y Lim Max de descarga a acuífero (100 mgO₂/L); fósforo total el valor de reducción alcanzado fue de 1.74 mg/L en mayo, cumpliendo con el LMA-Argentina (≤ 10 mg/L) y Lim Max de descarga a acuífero (3,0 mg/L); el valor de aceites y grasas se encuentran entre 10333.33 mg/L y 10500.00 mg/L, estos valores siguen superando las normas de referencia LMP(20 mg/L), VMA (100 mg/L) y Lim Max de descarga a acuífero (10 mg/L); el valor del nitrógeno total alcanzado es de 19100.00 mg/L a 20200.00 mg/L este supera la norma tomada como referencia de LMA-Argentina que exige un valor ≤ 20 mg/L y Lim Max de descarga a acuífero (30 mg/L). Así mismo la CE llegó a reducir hasta 1746.67 uS/cm en el mes de mayo y los sólidos totales alcanzaron a reducir a 43333.33 mg/L, sin embargo, estos parámetros no están regulados por las normas referenciales en comparación.

Tabla 16.

Comparación de los resultados antes y después del tratamiento.

Parámetro	Unidad	Antes del tratamiento (mayo)	Antes del tratamiento (junio)	<i>Después del T. Cortaderia jubata-junio</i>	<i>Después del T. Schoenoplec tus totora- mayo</i>
pH	Und pH	5.42	5.23	5.34	6.28
CE	uS/cm	2500	2819	2494.67	1746.67
DQO	mgO ₂ /L	2497	2043	1975.33	2022.33
DBO	mgO ₂ /L	1800	1779.5	1645.67	1452.33
Fósforo total	mg/L	2.6	2.55	2.15	1.74
Sólidos totales	mg/L	75000	78000	48666.67	43333.33
Aceites y grasas	mg/L	11000.00	11700	10716.67	10500.00
Nitrógeno total	mg/L	25050.00	24150.00	23350.00	21000.00

La tabla 16 muestra el valor inicial del pH en las aguas residuales lácteas fue 5.42 y 5.23 en mayo y junio respectivamente y después del tratamiento con la macrófita *Cortaderia jubata* esta aumentó a 5.34 al igual que el tratamiento con la macrófita *Schoenoplectus totora* que subió a 6.28, y para los demás parámetros analizados se evidencia una reducción de la tasa de contaminantes por ambas plantas macrófitas después del tratamiento, afirmando su remoción por acción de las macrófitas, sin embargo la macrófita *Schoenoplectus totora* fue la que más remoción de contaminantes tuvo.

4.3.1. pH en los tratamientos con humedales

En la tabla 11 se evidencia la eficacia del pH con las macrófitas *Schoenoplectus totora* y *Cortaderia jubata* con medias 0.54 y 0.11 respectivamente, estas son estadísticamente diferentes al testigo con -0.02. La eficiencia del pH en el mes de abril con 0.10 es estadísticamente diferente a la eficiencia del mes de mayo y junio con medias 0.34 y 0.25 e igual estadísticamente al mes de julio.

La tabla 12 muestra la eficiencia del pH para la *Schoenoplectus totora* donde se ve una alta eficiencia en el mes de mayo y junio con medias 0.86 y 0.67 respectivamente, pero en los meses abril y julio tienen poca eficiencia con medias de 0.24 y 0.40 respectivamente, por último, el testigo y *Cortaderia jubata* no reportan una variación diferente estadísticamente, por lo que se asume que en todo el periodo de evaluación no tienen eficiencia.

La tabla 13 muestra la eficiencia del pH en el mes de abril de los tratamientos *Schoenoplectus totora* con 0.24 es diferente al testigo con 0.00, mientras que el *Cortaderia jubata* con 0.06 es igual al testigo estadísticamente. En la evaluación del mes de mayo, junio y julio siempre el tratamiento *Schoenoplectus totora* se diferencia del testigo.

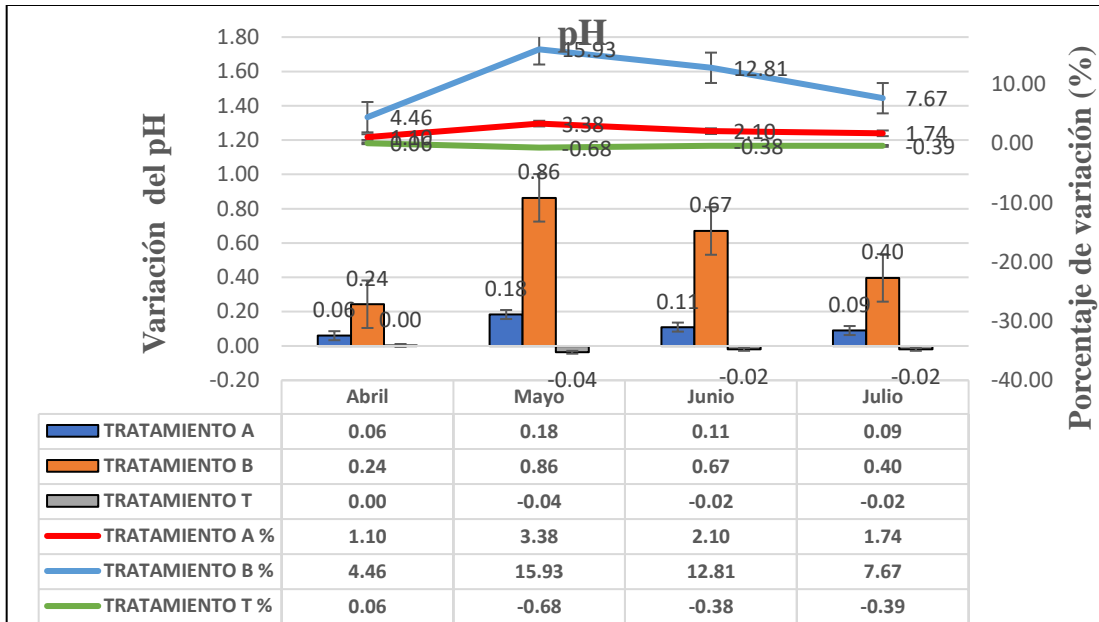


Figura 8. Comparación del comportamiento del pH en los 3 microcosmos de humedales tratamiento A (*Cortaderia jubata*), tratamiento B (*Schoenoplectus totora*) y tratamiento T (testigo -sin macrófita), en función al tiempo.

En la figura 8 se evidencia que el valor del pH incrementó en +0.86 en el mes de mayo con la macrófita *Schoenoplectus totora*, cabe señalar que el pH del afluente en el mes de mayo fue de 5.42 (ligeramente ácido), este resultado es contrario al determinado por Licata et al., (2022a), donde el valor del pH inicial fue de 7.9 ligeramente alcalino, donde después del tratamiento empezó a disminuir el pH, contrario al comportamiento de la presente investigación. La acidez del agua residual se debe a los exudados de ácidos orgánicos de la secreción de las raíces y descomposición de residuos vegetales Chen et al., (2019), los valores de pH de la presente investigación fueron ligeramente ácidos, casi alcanzando la neutralidad, puede ser por eso que a lo largo del tratamiento no se haya comportado muy bien como los niveles que alcanzaron Queiroz et al., 2020; Sharma et al., (2021).

4.3.2. Eficiencia de reducción de conductividad eléctrica (CE)

La tabla 11 evidencia la reducción de la CE con las macrófitas *Schoenoplectus totora* y *Cortaderia jubata* con medias -454.17 y -247.00 son estadísticamente diferentes al testigo con -14.42, la eficiencia en reducción de la CE en el mes de abril con -63.89 es estadísticamente diferente a la eficiencia del mes de mayo, junio y julio con medias de -395.56, -340.67 y -154.00 respectivamente.

La tabla 12 evidencia la eficacia de la *Cortaderia jubata* para la reducción de la CE son diferentes estadísticamente durante los meses de tratamiento de abril, mayo, junio y julio con medias de -67.67, -414.00, -324.33 y -259.67 respectivamente; para la *Schoenoplectus totora* reporta una alta eficiencia en mayo y junio con medias -753.33 y -694.33 respectivamente, siendo iguales estadísticamente, en abril y julio las eficiencias de reducción son diferentes con medias de -109.33 y -259.67 respectivamente, por último el testigo no muestra diferencias estadísticamente en abril, mayo, junio y julio.

La tabla 13 muestra la eficacia de reducción de CE en el mes de abril, el tratamiento con la macrófita *Cortaderia jubata* es estadísticamente igual al tratamiento testigo y al tratamiento con la macrófita *Schoenoplectus totora* con medias de -67.67, -14.67 y -109.33 respectivamente, por su parte el tratamiento con la macrófita *Schoenoplectus totora* es diferente del tratamiento testigo con una media de -109.33; en mayo, junio y julio los tratamientos con la macrófita *Cortaderia jubata*, *Schoenoplectus totora* y testigo son diferentes y el

de mejor eficiencia es la macrófita *Schoenoplectus totora* con medias de -753.33(mayo), -694.33 (junio) y -259.67 (julio).

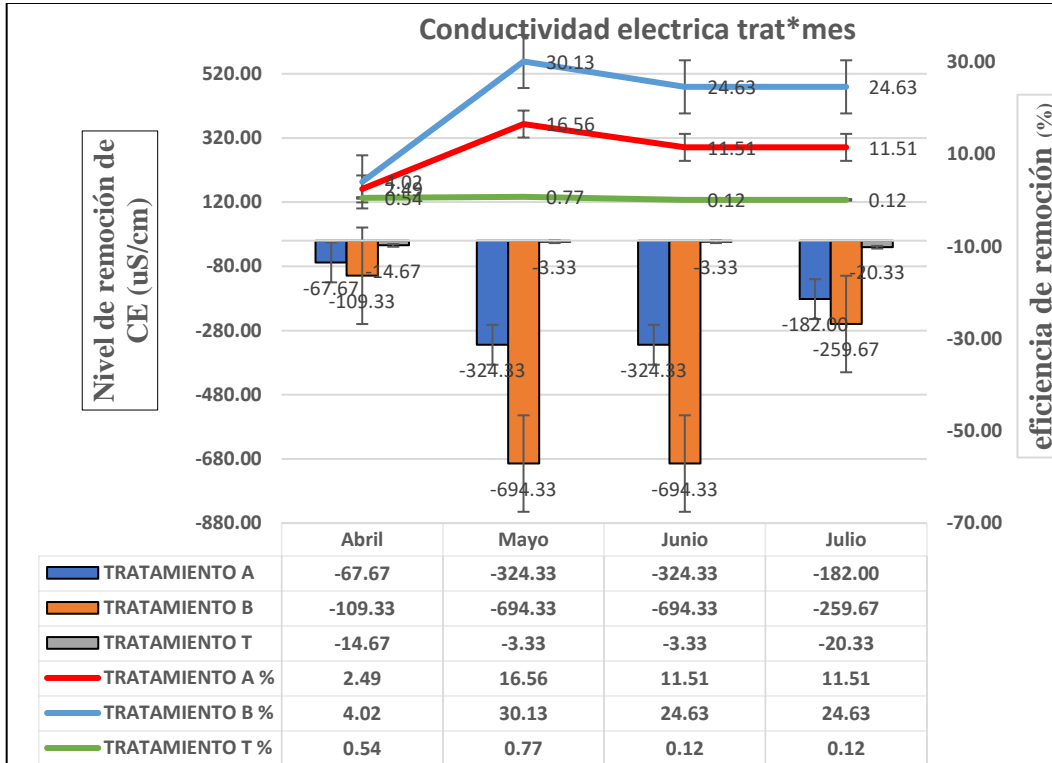


Figura 9. Nivel remoción de CE en los 3 microcosmos de humedales tratamiento A (*Cortaderia jubata*), tratamiento B (*Schoenoplectus totora*) y tratamiento T(sin macrófita- testigo) en función al tiempo.

La figura 9 evidencia la reducción de la CE que tuvieron los tratamientos con las plantas macrófitas, disminuyendo 324.33 uS/cm la planta macrófita *Cortaderia jubata* y 694.33 uS/cm la *Schoenoplectus totora*, esta reducción máxima la obtuvieron en el mes de mayo y junio, estos valores fueron significativos, contrariamente a los resultados que obtuvo Schierano et al., (2020^a) donde la reducción de la CE no fueron significativas después del tratamiento, en la figura 9 también se observa que la reducción de la CE es

diferente tanto en la macrófita *Schoenoplectus totora* como en la macrófita *Cortaderia jubata*, de esto se puede deducir que es por las diferencias morfológicas que existen entre ambas plantas, esto habría afectado la evapotranspiración, a mayor evapotranspiración mayor es el incremento de niveles de sal en el agua residual Licata et al., (2022a).

4.3.3. Eficiencia de reducción de DQO y de DBO

a. Reducción de DQO: los resultados se explican a continuación:

La tabla 11 presenta la eficacia de la DQO con las macrófitas *Schoenoplectus totora* y *Cortaderia jubata* con medias -190.08 y -82.33 son estadísticamente diferentes al testigo con una media de -2.50, la eficiencia de la DQO en el mes de abril con -21.33 es estadísticamente igual a la eficiencia del mes de julio con media de -24.22; y en mayo y junio son estadísticamente diferentes con medias de -235.00 y -86.00 respectivamente.

En la tabla 12 se observa que la *Cortaderia jubata* tiene los meses de abril y julio iguales eficiencias estadísticamente con medias de -10.00 y -23.33, sin embargo en mayo, junio y julio tienen diferentes eficiencias; la *Schoenoplectus totora* tiene igual eficiencia estadísticamente en abril y julio con medias de -50.33 y -47.33 respectivamente, mientras que en mayo, junio y julio tienen eficiencias diferentes, sin embargo el tratamiento testigo no muestra diferencias estadísticamente entre los meses.

La tabla 13 muestra la eficiencia de la *Cortaderia jubata* para remoción de la DQO, donde en el mes de abril es estadísticamente igual al tratamiento testigo con medias de -10.00 y -3.67 respectivamente, mientras que el tratamiento utilizando la macrófita *Schoenoplectus totora* es diferente a ambos tratamientos en abril, mayo y junio con medias de -50.33, -474.67 y -188.00 respectivamente; en el mes de julio la macrófita *Cortaderia jubata* es igual a los tratamientos testigo y *Schoenoplectus totora* con una media de -23.33.

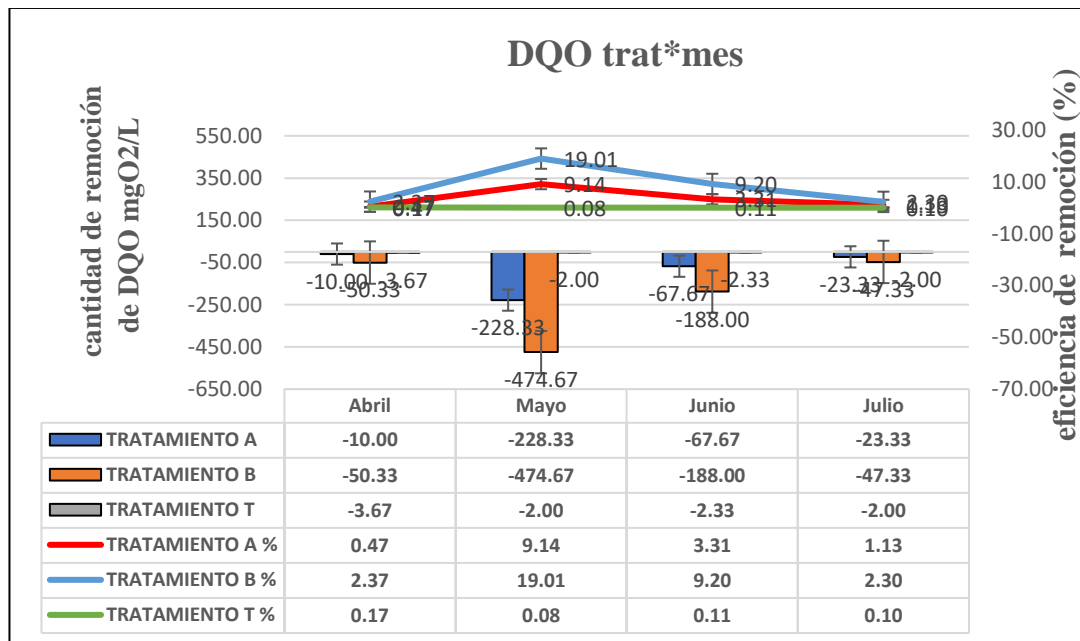


Figura 10. Eficiencia de reducción DQO en los 3 microcosmos de humedales tratamiento A (*Cortaderia jubata*), tratamiento B (*Schoenoplectus totora*) y tratamiento T (sin macrófita- testigo) en función al tiempo.

La figura 10 evidencia que existe eficiencia de remoción de la DQO por los microcosmos plantados con las macrófitas *Cortaderia jubata* y *Schoenoplectus totora* en comparación con el microcosmo sin plantas (testigo), esto se debe a que la presencia de vegetación incrementa la eficiencia de eliminación de carga orgánica de los humedales (Licata et al., 2019), las dos

plantas macrófitas evidencian eficiencia de remoción de la DQO en el mes de mayo, disminuyendo 228.33 mgO₂/L y 474.67 mgO₂/L, estos resultados son similares al estudio de Schierano et al., (2020), donde obtuvo una eficiencia de eliminación de 68.7% en el tratamiento de agua residual láctea con la macrófita *Typha domingensis*. Así mismo la figura 10 evidencia que la macrófita *Schoenoplectus totora* es la que mejor remueve la DQO, esto debido a que es una planta autóctona del lugar y realiza un buen proceso de fitorremediación a la vez es una planta que mejor tolera los cambios de temperatura Guerra Sandoval, (2018).

b. Reducción de DBO: Los resultados se explican a continuación:

La tabla 11 presenta la eficiencia de remoción para la DBO con las macrófitas *Schoenoplectus totora* y *Cortaderia jubata* con medias -218.38 y -54.96 estas son estadísticamente diferentes al testigo con una media de -4.71, la eficiencia para la DBO en del mes de abril, mayo junio y julio son estadísticamente diferentes con medias de -21.78, -138.11, -170.94 y -39.89 respectivamente.

En la tabla 12 se observa a la macrófita *Cortaderia jubata* que los meses de abril y julio son estadísticamente iguales al no presentan variación, mientras que en mayo y junio si existe variaciones con medias de -65.00 y -133.83; la *Schoenoplectus totora* no presenta variación estadísticamente en mayo y junio, mientras que los meses de abril y julio si existe variación estadísticamente con medias de -46.67 y -104.00 respectivamente, finalmente el tratamiento testigo

no muestras diferencias estadísticamente por lo que se afirma que no hubo eficiencia de tratamiento,

La tabla 13 muestra la eficiencia de la DBO en abril donde el tratamiento con la macrófita *Cortaderia jubata* es estadísticamente igual al tratamiento testigo con medias de -9.67 y -9.00 respectivamente, por otra parte el tratamiento con la macrófita *Schoenoplectus totora* es diferente a ambos tratamientos con una media de -46.67; en mayo y junio los tratamientos *Cortaderia jubata*, *Schoenoplectus totora* y testigo son diferentes y en el mes de julio el tratamiento con la macrófita *Schoenoplectus totora* es diferente de los tratamientos *Cortaderia jubata* y testigo.

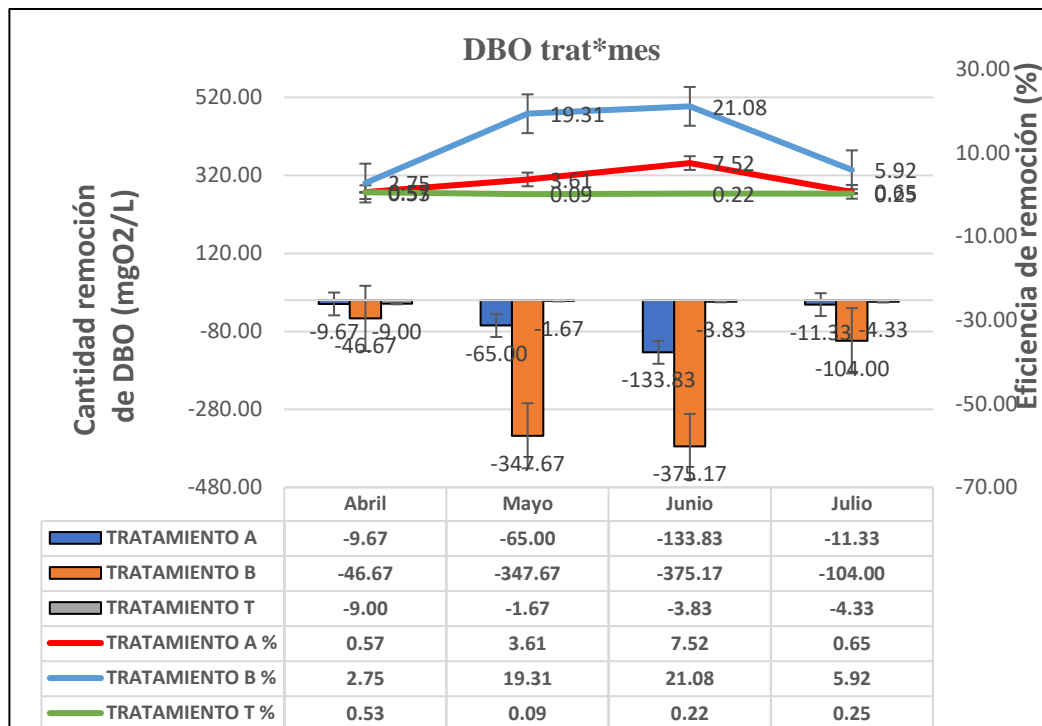


Figura 11. Cantidad de Remoción y Eficiencia de remoción % de DBO en los 3 microcosmos de humedales tratamientos A (*Cortaderia jubata*), tratamiento B (*Schoenoplectus totora*) y tratamiento T (testigo – sin macrófita) función al tiempo.

La figura 11 evidencia que el tratamiento sin planta macrófita (testigo) no tiene eficiencia de remoción de DBO, a diferencia de los microcosmos con plantas macrófitas, donde de estas la planta *Schoenoplectus totora* tiene mejor eficiencia de remoción de DBO en los meses de tratamiento, por otro lado, esta misma planta tuvo mayor remoción en mayo y junio con una disminución de 347.67 mgO₂/L Y 375.17 mgO₂/L respectivamente. Para este parámetro con la especie de *Schoenoplectus Totora* la reducción de aguas residuales lácteas alcanzada por Guerra Sandoval, (2018) fue de 98.1% a los 60 días. Mientras que (Mena Ayala, 2022) en el tratamiento de aguas residuales domesticas obtuvo 70% de retención de DBO, siendo 130.4 mgO₂/L la disminución total desde el afluente hasta la salida después del tratamiento que tuvo la planta Junco (totora).

Los resultados determinados para la DQO y DBO, no mantienen una relación de 2 a 1 (0.5) como se evidencia. Según (Von Sperling, 1996) indica que solo para aguas residuales domesticas la relación de estos parámetros varían desde 1.7 a 2.4 y para las aguas residuales industriales esta relación varia más ampliamente, esta variación va a depender del tipo de proceso de tratamiento y de la biodegradabilidad de residuos al pasar por las distintas unidades de estación, mientras la fracción inerte permanece sin cambios es así que el efluente final después del tratamiento biológico tiene una relación de la DQO y DBO hasta superior de 3.0. Así mismo existen indicadores sobre la relación de estos parámetros, estos son:

- Baja relación de DQO Y DBO: la fracción biodegradable es alta, esto indica que probablemente el tratamiento a emplear sea el biológico.
- Relación intermedia de DQO Y DBO: la fracción biodegradable no es alta en términos de receptor biodegradable. Para esto recomienda hacer pruebas de tratamiento para la validación del uso del tratamiento biológico.
- Relación alta de DQO Y DBO: si la fracción no biodegradable es importante en términos de contaminación del cuerpo receptor, se recomienda el uso de tratamiento fisicoquímico.

A si mismo existen estudios científicos que dan crédito a lo mencionado por el anterior autor. Isea et al., (2015) es uno de ellos donde en su investigación sobre el parámetro de la DBO para aguas residuales de la industria procesadora de cangrejos, evidencia que la relación DBO/DQO varia de 0.265 a 0.514, esto se debe a la variación que existe en los procesos productivos, de la misma forma (Ortiz & Andrés, 2016) evidencia en su investigación desempeño de planta de tratamiento de aguas residuales donde sus resultados muestran que la relación de los parámetros DBO y DQO son de 1.27 y 4.70, sugiriendo que las aguas residuales reciben diferentes efluentes que afectan la biodegradabilidad de materia orgánica haciendo esto que la relación de estos parámetros sean diferentes a lo normal, los resultados de Mendonça et al., (2022) en el tratamiento de aguas residuales lácteas por humedales evidencian una

variación amplia de la relación de estos parámetros, con ello afirmamos que la relación de 2 a 1 de la DQO y DBO no siempre se da.

4.3.4. Eficiencia de reducción de fósforo total

La tabla 11 presenta la eficiencia de fósforo total con las macrófitas *Schoenoplectus totora* y *Cortaderia jubata* con medias -0.49 y -0.29 son estadísticamente diferentes al testigo con una media de -0.04, la eficiencia de remoción del fósforo total en abril, mayo son estadísticamente diferentes con medias de -0.09 y -0.41 respectivamente.

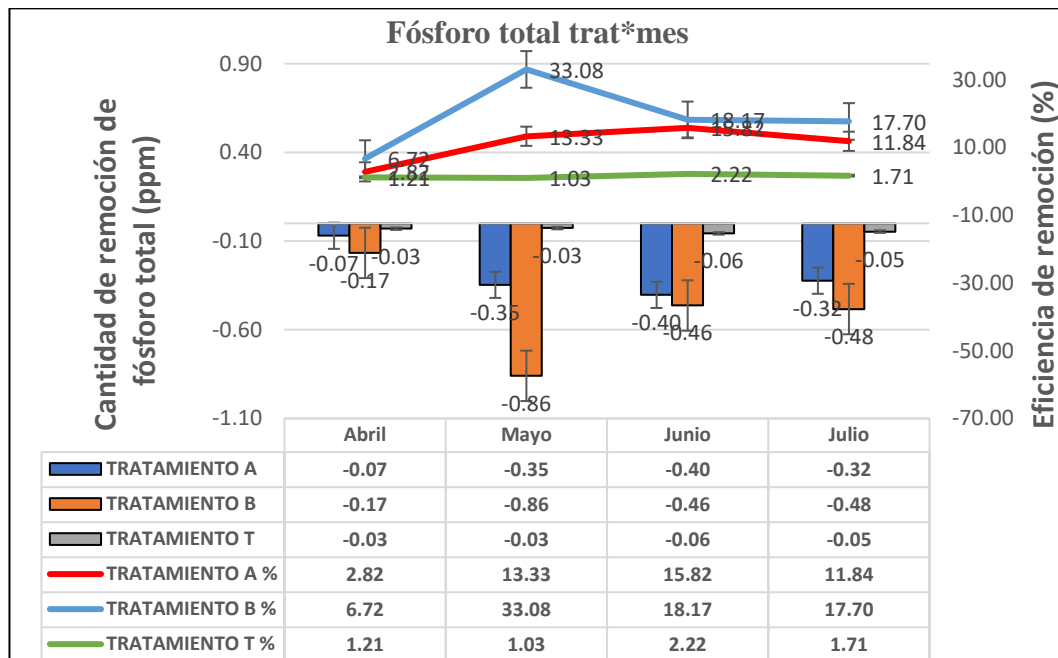


Figura 12. Cantidad de Remoción y Eficiencia de remoción % del fósforo total en los 3 microcosmos de humedales tratamientos A (*Cortaderia jubata*), tratamiento B (*Schoenoplectus totora*) y tratamiento T (testigo – sin macrófita) función al tiempo.

La figura 12 evidencia que el mes de mayo fue donde mejor remoción se tuvo de fósforo total, reduciendo 0.86 mg/L por la macrófita *Schoenoplectus totora*. Este es uno de los parámetros más bajos en demostrar una eficiencia de remoción, esto se debe a la baja capacidad de absorción que tiene la grava de río, ya que del sustrato depende la eliminación del fósforo total, la estabilidad del sustrato fortalece la adsorción y absorción del fósforo total por parte de los microorganismos (Lu et al., 2016). En el caso de la grava de río, este contiene bajas fracciones de hierro, calcio y aluminio, por eso su capacidad de adsorción es baja Schierano et al., (2020a) citó a Bai et al., (2014). El mismo autor al tratar aguas residuales lácteas encontró una baja cantidad de eliminación de fósforo total, llegando solo a una eficiencia de 29.9%. Queiroz et al., (2020), al tratar el mismo tipo de agua residual no encontró una buena eficiencia de remoción del fósforo total, alcanzando solo 40%, esto a temperaturas de aire de 12°C (-10 °C a 27 °C) indicando que a bajas temperaturas hay una reducción de la eliminación de contaminantes.

La figura 12 muestra también que el tratamiento testigo (sin macrófita) no alcanzó reducción del fósforo total, a diferencia de los tratamientos con las dos macrófitas *Cortaderia jubata* y *Schoenoplectus totora*, podría afirmarse que las plantas tienen un mecanismo importante en adsorber de fósforo, estos resultados mantienen similitud con los obtenidos por (Maucieri et al., 2020) al realizar una comparación de humedales plantados con diferentes macrófitas y un control sin plantas, para así evaluar la contribución que tienen las plantas en la eliminación de fósforo, llegando a concluir que la cantidad de fósforo reducido en el humedal con plantas está influenciado por la biomasa aérea.

4.3.5. Eficiencia de reducción de sólidos totales

La tabla 11 muestra la eficiencia de sólidos totales con las macrófitas *Schoenoplectus totora* y *Cortaderia jubata* con medias -21000.00 y -15916.67 donde estas son estadísticamente diferentes al testigo con una media de -2875.00. La eficiencia de los sólidos totales en de mayo y junio son estadísticamente iguales con medias de -19777.78 y -21777.78 respectivamente.

La tabla 12 muestra que la *Cortaderia jubata* en abril y julio tiene iguales eficiencias de sólidos totales estadísticamente, con medias de -2666.67 y -8333.33 respectivamente y en mayo y junio son estadísticamente diferentes; la *Schoenoplectus totora* tiene igual eficiencia estadísticamente en mayo y junio con medias de -31666.67 y -34666.67 respectivamente y los meses de abril y julio también son iguales estadísticamente con medias de -6333.33 y -11333.33 respectivamente, y finalmente el tratamiento testigo no muestra diferencias estadísticamente entre los meses.

La tabla 13 presenta la eficiencia de los sólidos totales en abril con la macrófita *Cortaderia jubata* (-2666.67) donde es estadísticamente igual al tratamiento testigo (-1000.00) y al tratamiento con la macrófita *Schoenoplectus totora* (-6333.33); en el mes de mayo todos los tratamientos son estadísticamente diferentes; en el mes de junio los tratamientos *Cortaderia jubata* y *Schoenoplectus totora* son estadísticamente iguales con medias de -29333.33 y -34666.67 a la vez ambos son diferentes al testigo con media de -1333.33 y finalmente para el mes de julio los tratamientos *Cortaderia jubata* y *Schoenoplectus totora* son estadísticamente

iguales con medias de -8333.33 y -11333.33, a su vez el tratamiento con la macrófita *Cortaderia jubata* y el testigo (-4833.33) son estadísticamente iguales.

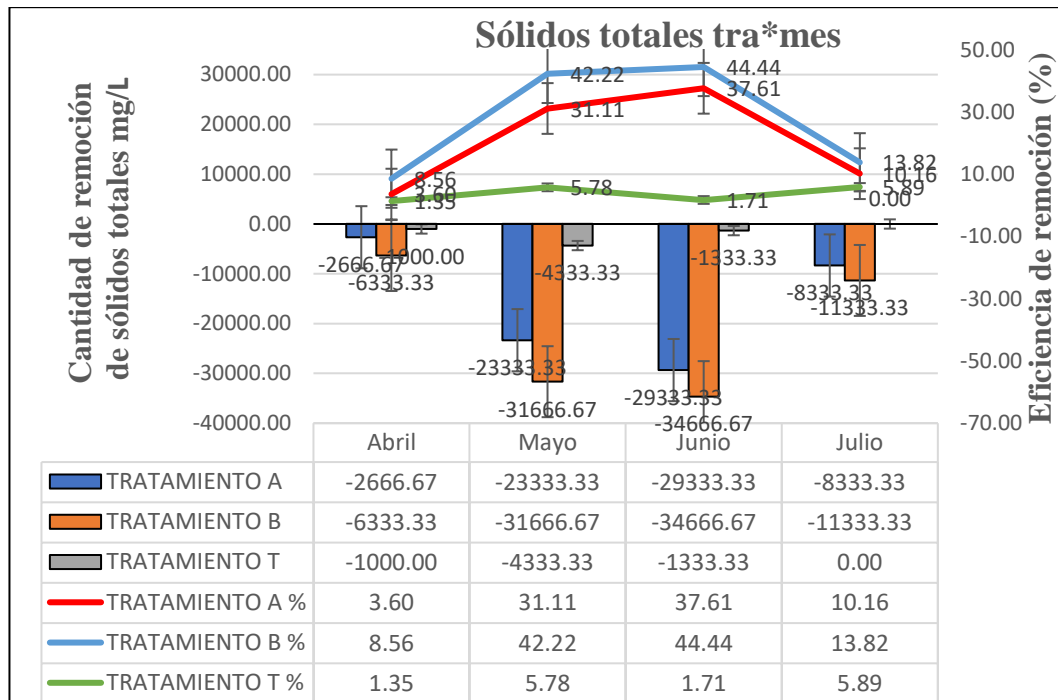


Figura 13. Cantidad y Eficiencia de remoción % de los sólidos totales en los 3 microcosmos de humedales tratamientos A (*Cortaderia jubata*), tratamiento B (*Schoenoplectus totora*) y tratamiento T (testigo – sin macrófita) función al tiempo.

La figura 13 muestra la diferencia de remoción de sólidos totales existentes entre los dos tratamientos con macrófitas y con el testigo sin macrófita, donde los meses de mayo y junio son donde mejor reducción tuvieron ambas macrófitas, a la vez de estas dos especies de macrófitas la que mejor eficiencia de remoción tuvo, fue la macrófita *Schoenoplectus totora* alcanzando una disminución de 34666.67 mg/L, así mismo se evidencia que en el cuarto mes (julio) la eficiencia bajó en ambos tratamientos con las macrófitas *Cortaderia jubata* y *Schoenoplectus totora*, este comportamiento es idéntico al estudio demostrado por (Queiroz et al., 2020) donde su máxima reducción con la macrófitas llegó a los 40 días, después de ello inició

con la disminución de la reducción de contenidos, según este autor esto se debe a la descomposición de las especies de macrófitas y a la formación de biopelículas en las raíces, produciéndose la adhesión de partículas reduciendo así la eficiencia de reducción de sólidos.

4.3.6. Eficiencia de reducción de aceites y grasas

La tabla 11 muestra la eficiencia de aceites y grasas con las macrófitas *Schoenoplectus totora* y *Cortaderia jubata* con medias -0.10 y -0.07 respectivamente, donde estas no son significativas.

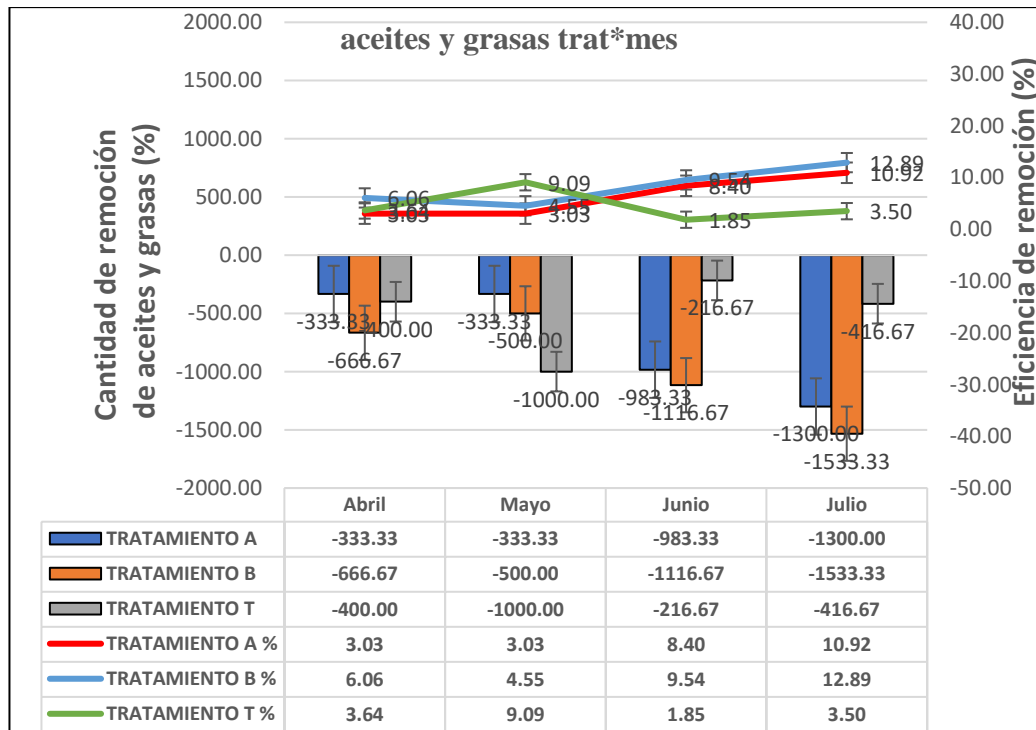


Figura 14. Cantidad de Remoción y Eficiencia de remoción % de los aceites y grasas en los 3 microcosmos de humedales tratamientos A (*Cortaderia jubata*), tratamiento B (*Schoenoplectus totora*) y tratamiento T (testigo – sin macrófita) función al tiempo.

La figura 14 muestra la remoción de aceites y grasas hasta 1300 mg/L en julio, esta reducción se debe a que el tanque de almacenamiento de las aguas residuales lácteas, cumplió un papel de un tanque séptico y trampa de grasas pues debido a su densidad estos se quedan suspendidos en la parte superior del tanque Guerra Sandoval, (2018).

4.3.7. Eficiencia de reducción de nitrógeno total

La tabla 11 muestra que la eficiencia de nitrógeno total con las macrófitas *Schoenoplectus totra* con una media de -5591.67 es estadísticamente diferente al testigo con una media de -262.50, mientras que el tratamiento con la *Cortaderia jubata* es no significativa. Y existe diferencias entre abril, mayo y junio.

La tabla 12 muestra que la *Cortaderia jubata* en abril, mayo y junio son iguales estadísticamente con medias de -500.00, -733.33 y -800.00 respectivamente a la vez estos son diferentes con el mes de julio con una media de -2366.67; la *Schoenoplectus totra* tiene diferentes eficiencias estadísticamente en abril, mayo, junio y julio con medias de -1800.00, -4050.00, -9916.67 y -6600.00 respectivamente y finalmente el tratamiento testigo no muestra diferencias estadísticamente entre los meses.

La tabla 13 presenta la eficiencia en remoción de nitrógeno total de abril, mayo y junio, donde la macrófita *Cortaderia jubata* es estadísticamente igual al testigo, mientras que la macrófita *Schoenoplectus totra* es diferente estadísticamente a ambos tratamientos y en el mes de julio los tratamientos *Cortaderia jubata*,

Schoenoplectus totora y testigo son diferentes con medias de -2366.00, -6600.00 y -283.33 respectivamente.

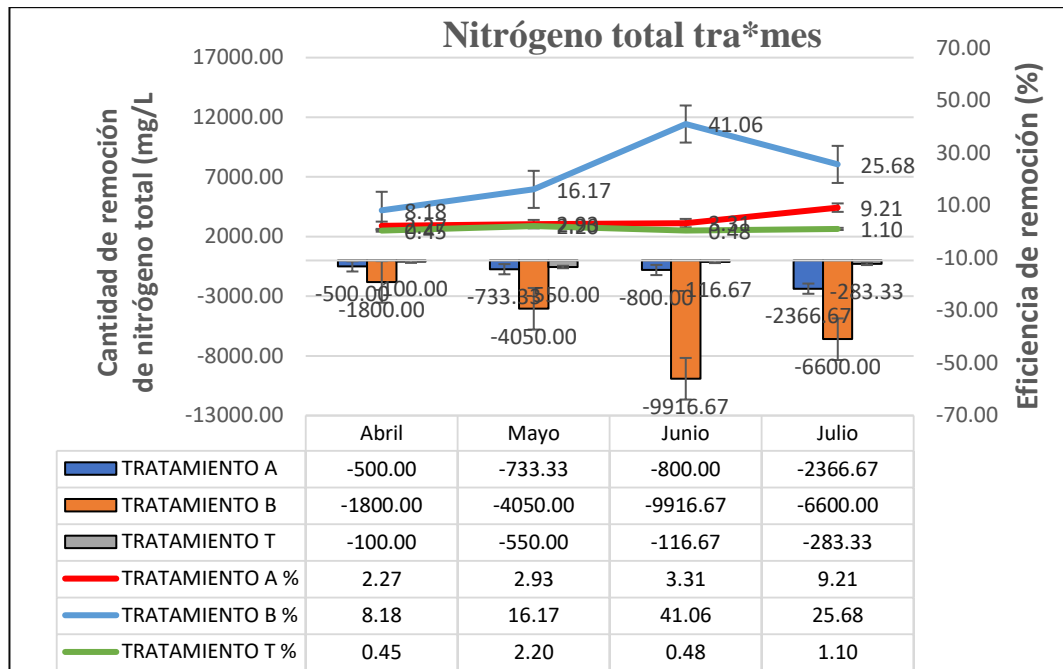


Figura 15. Cantidad de Remoción y Eficiencia de remoción % de nitrógeno total en los 3 microcosmos de humedales tratamientos A (*Cortaderia jubata*), tratamiento B (*Schoenoplectus totora*) y tratamiento T (testigo – sin macrófita) función al tiempo.

En la figura 15 se evidencia que el tratamiento testigo y el tratamiento con la macrófita *Cortaderia jubata* casi no obtuvieron eficiencia de remoción de nitrógeno total, a diferencia de la planta *Schoenoplectus totora* que alcanzó eficiencias significativas desde el mes de mayo y junio disminuyendo -4050.00 mg/L y 9916.67 mg/L de nitrógeno total respectivamente, se evidencia también que en el mes de julio la eficiencia disminuye, esto se debe a que las plantas macrófitas en julio se empezaron a marchitar por las altas temperaturas que sufrieron en los meses junio y julio, produciéndose marchites en las plantas y baja actividad de microorganismos Queiroz et al., (2020) a bajas temperaturas la eficiencia de remoción disminuye, debido a que al exponerse a temperaturas bajas las partes

superficiales de la planta empiezan a marchitarse, reduciendo la eficiencia de la fitorremediación Cao et al., (2016) al ser las partes aéreas de las plantas uno de los mecanismos por donde se acumula el nitrógeno Schierano et al., (2020).

La obtención de una buena eficiencia de remoción de nitrógeno total en el mes de junio por la macrófita *Schoenoplectus totora* se cree que se debe a las abundantes raíces que posee y que llegó a alcanzar al tercer mes, pues al tener buena biomasa radicular existe mayor superficie bacteriana para el proceso de nitrificación y desnitrificación por ende es mayor la eliminación de nitrógeno Jiang et al., (2020), este autor obtuvo resultados similares a los de la presente investigación llegando a tratar 41.06% de nitrógeno.

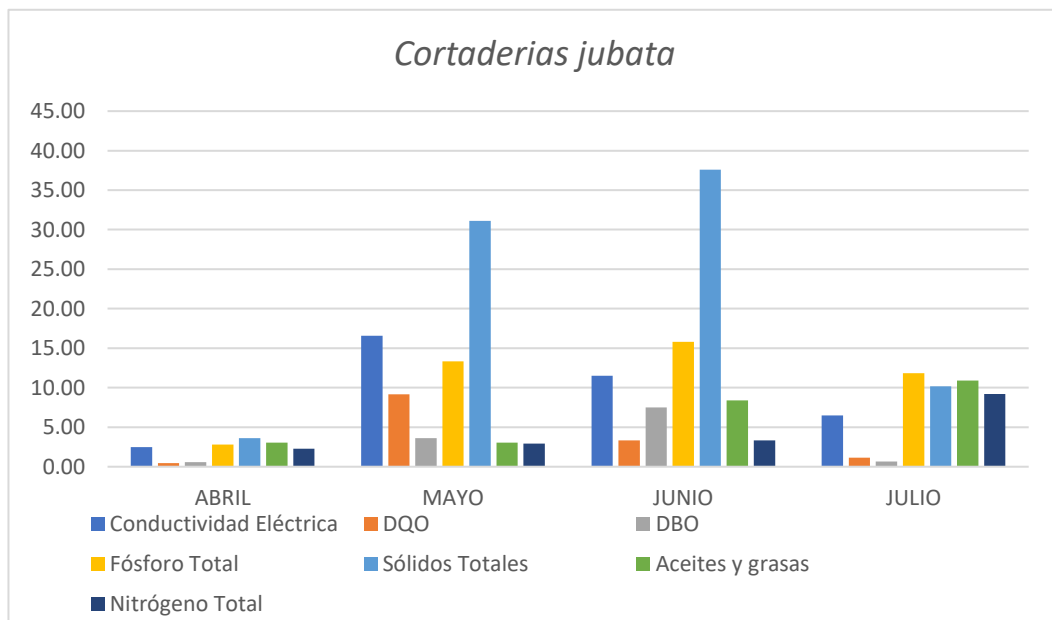


Figura 16. Gráfico de barras de la eficiencia de remoción % alcanzado por el tratamiento A (*Cortaderia jubata*) en función del tiempo.

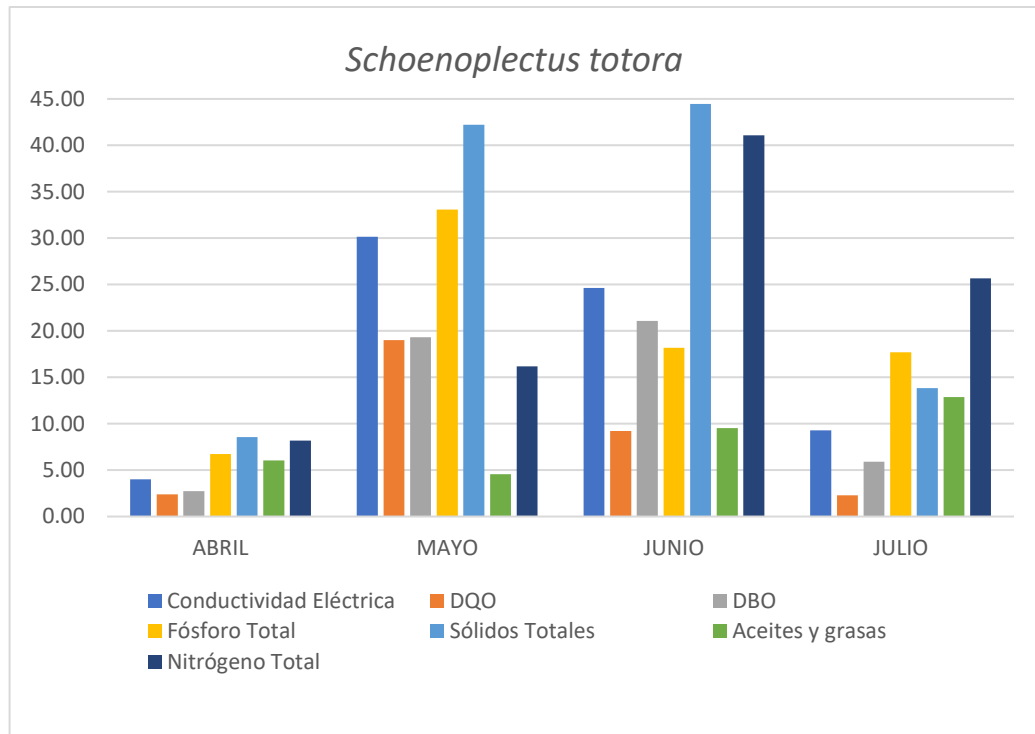


Figura 17. Gráfico de barras de la eficiencia de remoción % alcanzado por el tratamiento B (*Schoenoplectus totora*) en función del tiempo.

Las condiciones climáticas, medio filtrante, caudal de entrada y tiempo de retención hidráulico fueron las mismas para los microcosmos plantados; a pesar de eso existe diferentes comportamientos entre el tratamiento A plantada con la planta macrófita *Cortaderia jubata* y el tratamiento B plantada con la macrófita *Schoenoplectus totora* en términos de eficiencia de remoción de contaminantes de las aguas residuales lácteas, donde según las figuras 16 y 17 evidencian que el tratamiento B con la macrófita *Schoenoplectus totora* tiene la mejor eficiencia de remoción % de contaminantes que el tratamiento A con la macrófita *Cortaderia jubata*, lo que se debe a que la planta *Schoenoplectus totora* posee un sistema de raíces que crece densamente, propagándose rápidamente con extensión de raíces y rizomas que son estas las que se encargan de la disminución de contaminantes orgánicos Céspedes Pillaca, (2021), así mismo según Licata et al., (2019) las

macrófitas de mayor producción de biomasa favorece la concentración de nutrientes en partes aéreas y subterráneas de la planta, esto debido a que al existir mayor biomasa subterránea aumenta el tiempo de retención hidráulica y eso hace que exista más interacción del agua residual con las partes subterráneas de las plantas, aumentando la eficiencia en remoción de contaminantes.

Las figuras 16 y 17 evidencian que el mes de mayo y junio fueron los meses donde las plantas macrófitas tuvieron mejor eficiencia de remoción % que los meses de julio y abril. En el mes de abril la eficiencia de remoción es muy mínima, esto debido a que las raíces de las plantas macrófitas recién están empezando a adaptarse y aun no hay una buena maduración, por lo que aún no captan bien los nutrientes, pasado el tiempo de maduración las raíces ya absorben contaminantes Guerra Sandoval, (2018), explicándose así del porque existe mayor eficiencia de remoción en los meses de mayo y junio, así mismo según D. Q. Zhang et al., (2015) existe impactos adversos en el tratamiento cuando las temperaturas ambientales son bajas, debido a que los procesos biológicos que se dan en los humedales dependen de la temperatura, quiere decir que a temperaturas cálidas (15-25 °C) mejoran la eliminación de contaminantes y en el mes de junio y julio se tuvo temperaturas mínimas de hasta -8 °C, y las partes aéreas de las macrófitas empezaron a marchitarse, provocando esto la disminución de la reducción de eliminación de contaminantes. Así mismo en el mes de julio las macrófitas se estaba recuperando del friaje del mes de junio.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Las especies de macrofitas seleccionadas fueron la *Cortaderia jubata* y la *Schoenoplectus totora*, ambas seleccionadas de cuatro especies previamente seleccionadas (*Stipa ichu*, *Cortaderia jubata*, *Rumex crispus* y *Schoenoplectus totora*) todas plantas perennes, sin embargo ambas plantas seleccionadas para el tratamiento de las aguas residuales lácteas, fueron seleccionadas por poseer mayor biomasa aérea y radicular por panajos, llegando a medir la *Cortaderia jubata* 2.65 m de alto, 0.70 m de ancho por panajo y la *Schoenoplectus totora* 1.34 m de altura y 0.73 m de ancho de panajo, así mismo ambas especies poseían buenas características en la raíz respecto a las otras macrófitas no seleccionadas.

Los resultados de análisis de caracterización de las aguas residuales lácteas de las plantas queseras, evidenciaron altas concentraciones de contaminantes, con valores de pH 5.45, DQO 2121 mgO₂/L, DBO 1700 mgO₂/L, fósforo total 2.48 mg/L, aceites y grasas 11000 mg/L y nitrógeno total 22000.00 mg/L estando fuera de lo regulado por las normas referenciales (límites máximos permisibles, valores máximos admisibles y límites máximos de descargas a acuíferos), así mismo se tiene elevadas concentraciones de sólidos totales 74000 mg/L y CE 2720.0 uS/cm, sin embargo, estas no se encuentran reguladas por las normas tomadas referencialmente al no contar con LMP para agua residual de la industria láctea.

Los resultados alcanzados por los microcosmos de humedales con la macrofita *Schoenoplectus totora* tienen una remoción de hasta 474.67 mgO₂/L de DQO, 375.17 mgO₂/L de DBO, 9916.67 mg/L de nitrógeno total, 34666.67 mg/L de sólidos totales y una reducción de la conductividad eléctrica de 753.33 uS/cm respecto al valor inicial, así mismo se obtuvo una baja remoción de fósforo total y en aceites y grasas no hubo disminución significativa, estos resultados demuestran que la *Schoenoplectus totora* es más eficiente que la macrofita *Cortaderia jubata* en la remoción de contaminantes, pues esta última solo llegó disminuir 228.33 mgO₂/L de DQO, 133.33 mgO₂/L de DBO, 29333.33 mg/L de sólidos totales, 2366.67 mg/L de nitrógeno total y una reducción de la conductividad eléctrica de 414.00 uS/cm con respecto al valor inicial, el fósforo total al igual que la anterior macrofita y para aceites y grasas no hubo disminución significativa. Por otro lado, los valores alcanzados por ambas macrofitas no llegaron a cumplir los LMP. VMA y límites máximos de descarga a acuíferos, excepto el fósforo total que su concentración no superaba las normas, sin embargo, si hubo remoción de grandes cantidades de contaminantes de las aguas residuales lácteas. Por otra parte la macrofita *Schoenoplectus totora* al poseer buena formación de raíces tiene mejor eficiencia de remoción de contaminantes y la biomasa aérea que posee favorece en la reducción de la conductividad eléctrica al no producir mayor evapotranspiración como lo hace la planta *Cortaderia jubata*, demostrándose también que existe influencia de las plantas macrofitas en la remoción de contaminantes de las aguas residuales lácteas, ya que el tratamiento testigo tuvo resultados no significativos, así también la reducción de contaminantes se encuentra influenciado por otros factores como los medios de sustrato y temperatura.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar un pretratamiento con sedimentadores y trampa de grasas, para reducir los sólidos y grasas e impedir que se saturen y formen biopelículas en las raíces que producen la adhesión de partículas reduciendo así la eficiencia del tratamiento y obtener mejores resultados.

Se recomienda hacer investigaciones similares con diferentes tipos de sustrato, para determinar la mejor opción de uso para ayudar a la eliminación de contaminantes.

Se recomienda realizar investigaciones similares a temperaturas más cálidas (cubriendo los microcosmos con fito-toldos) para ver si existe mejor tratamiento, puesto que las bajas temperaturas de invierno no ayudan al desarrollo de las plantas y microorganismos para un buen resultado de tratamiento, además de que este factor produjo marchites en las plantas.

Se recomienda optar por otra planta macrófita diferente de la *Cortaderia jubata* pues esta sufrió marchites temprana por las bajas temperaturas y al estar en medio de humedal, pues la remoción de contaminantes fue baja.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Afolalu, S. A., Ikumapayi, O. M., Ogedengbe, T. S., Kazeem, R. A., & Ogundipe, A. T. (2022). Waste pollution, wastewater and effluent treatment methods – An overview. *Materials Today: Proceedings*, 62, 3282–3288.
<https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.04.231>
- Aguilar Diaz, A., & Aguilar Dias, H. (2017). *Sistemas piloto de fitorremediación para el tratamiento de aguas ácidas de los pasivos ambientales mineros de la quebrada Mesa de Plata - Hualgayoc - 2017*.
- Ahmad, T., Aadil, R. M., Ahmed, H., Rahman, U. ur, Soares, B. C. V., Souza, S. L. Q., Pimentel, T. C., Scudino, H., Guimarães, J. T., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., Almada, R. B., Vendramel, S. M. R., Silva, M. C., & Cruz, A. G. (2019). Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 88, pp. 361–372). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003>
- Alarcon, T., Zurita, F., Hadad, H., Garcia, A., Vidal, G., Maine, A., Lara, J., Rivas, A., Moeller, G., & Vera, I. (2018). *Humedal e s de tratami ento : alternat i va de saneami ento de agua s re s i dual e s apl i cable en amér i ca lat i na*.
- Alsubih, M., El Morabet, R., Khan, R. A., Khan, N. A., Khan, A. R., Khan, S., Mubarak, N. M., Dehghani, M. H., & Singh, L. (2022). Field performance investigation for constructed wetland clubbed with tub settler for hospital wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*, 49(July), 103147.
<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103147>
- Alvarez, V. B., Eastridge, M. L., Lee, C., & Sarantis, S. D. (2021). Sustainable Processing:

Minimizing the Impact of the Dairy Industry on the Environment—Toward Zero Carbon Footprint. *Reference Module in Food Science*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818766-1.00307-X>

Ancori, V. R. (2019). *Impacto del proyecto minero poderosa en los derechos ancestrales de la comunidad de Santa Cruz, distrito de Orurillo; provincia de Melgar, región Puno en los años 2018- 2019*. 29.

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/10559/ANhaanrv.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Arias Martínez, S. A., Betancur Toro, F. M., Gómez Rojas, G., Salazar Giraldo, J. P., & Hernández Ángel, M. L. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador Técnico*, 74.

<https://doi.org/10.23850/22565035.5>

Bai, L., Wang, C., Huang, C., He, L., & Pei, Y. (2014). Reuse of drinking water treatment residuals as a substrate in constructed wetlands for sewage tertiary treatment.

Ecological Engineering, 70, 295–303. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.06.015>

Bandera Fernández, E., & Pérez Pelea, L. (2018). Los modelos lineales generalizados mixtos. Su aplicación en el mejoramiento de plantas. *Cultivos Tropicales*, 39(1), 127–133.

Benites, M., & artha. (2021). *Prototipo de camellón modificado para la mejora de la capacidad fitorremediadora del Stipa ichu en suelos contaminados con plomo, La Oroya 2022*". <http://hdl.handle.net/20.500.12952/5615>

Brix, H. (1997). Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Water Science and Technology*, 35(5), 11–17. <https://doi.org/10.1016/S0273->

1223(97)00047-4

Calcina, L. (2009). *Determinacion del potencial de schoenoplectus tatora "totora" como especie usada para fitorremediacion, Lago Titicaca – 2007*. 137.

<http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/6884/80.0688.MG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cao, W., Wang, Y., Sun, L., Jiang, J., & Zhang, Y. (2016). Removal of nitrogenous compounds from polluted river water by floating constructed wetlands using rice straw and ceramsite as substrates under low temperature conditions. *Ecological Engineering*, 88, 77–81. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.12.019>

Cárdenas Calvachi, G. L., & Sánchez Ortiz, I. A. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Universidad y Salud*, 72–88.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072013000100007&lang=pt

Cecilio Cabrera, Y. (2016). *Remoción de materia orgánica, influenciada por la Macrofitas Scirpus Californicus, en humedales artificiales subsuperficiales*.

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_14f37435322f7850b574e0d631a-ddcac

Cespedes Pillaca, R. V. (2021). *Análisis del uso de humedales artificiales empleando plantas macrofitas para el tratamiento de aguas residuales en el ámbito rural, Apurímac 2021*.

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_cca98f9e9745b0ecf1787e64755125af

- Chamorro Romero, G. K. (2014). *Evaluación del funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa de fabricación de quesos*.
<http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/3851>
- Chen, D., Gu, X., Zhu, W., He, S., Wu, F., Huang, J., & Zhou, W. (2019). Denitrification- and anammox-dominant simultaneous nitrification, anammox and denitrification (SNAD) process in subsurface flow constructed wetlands. *Bioresource Technology*, 271(September 2018), 298–305. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.123>
- Coaquira, C., & Cauna, H. (2021). Eficiencia de fitorremediación de *Schoenoplectus californicus* y *Lemna minor* en la desembocadura de la laguna Lagunillas, del río Santa Lucía, Juliaca -2021. *Universidad César Vallejo*, 1–118.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/81087/Coaquira_QC-Cauna_PH-SD.pdf?sequence=1pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Coaquira H., A. L. (2018). *Determinación de la eficacia en humedades artificiales de flujo sub superficial con totora (*Schoenoplectus californicus*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la comunidad de San Antonio de Chujura – Región Puno, 2018 Tesis*.
https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3344/Adelis_Tesis_Licenciatura_2018.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- CONAVIO (Comision Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad). (2016). *Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México Cortaderia selloana (Schult. & Schult. f.) Asch.* 1–7.
http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/MenuPrincipal/07Fichas tecnicas_OK/02Fichas tecnicas/Fichas técnicas CONABIO_especies exóticas/Fichas

plantas invasoras/C/Cortaderia selloana.pdf

Das, B., Sarkar, S., Sarkar, A., Bhattacharjee, S., & Bhattacharjee, C. (2016). Recovery of whey proteins and lactose from dairy waste: A step towards green waste management. *Process Safety and Environmental Protection*, *101*, 27–33.

<https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2015.05.006>

de Mendonça, H. V., Otenio, M. H., Lomeu, A. A., & Rita, A. V. S. (2022). Post-treatment of an aerated facultative pond with constructed wetland: First two years of operation in a dairy industry. *Ecological Engineering*, *179*(December 2021), 106623.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106623>

Delgadillo, O., Camacho, A., Andrade, M., & Pérez, L. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales - Universidad Mayor de San Simón*.

<https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>

Enrique, G. (2019). *Evaluación del impacto ambiental en la industria de derivados lácteos Tinajani EIRL 2019*. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/6407>

Faußer, A. C., Hoppert, M., Walther, P., & Kazda, M. (2012). Roots of the wetland plants *Typha latifolia* and *Phragmites australis* are inhabited by methanotrophic bacteria in biofilms. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, *207*(11),

775–782. <https://doi.org/10.1016/J.FLORA.2012.09.002>

Flores, A. (2018). *Estimación de efluentes líquidos producidos en el procesamiento de queso en la región Puno 2018*. <https://doi.org/https://doi.org/10.51392/rcidas.v1i1.3>

Gamarra, J. (2018). *Evaluación del impacto ambiental del lactosuero generado en la línea de producción de quesos de la planta de lácteos Huacariz alternativas de mitigación Cajamarca – Perú - 2016*. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2126>

- Gamarra Rojas, J. (2016). *Evaluación De Un Sistema De Tratamiento De Aguas Grises Con Humedal Artificial En Una Asociación De Viviendas En Ate Vitarte*. 100.
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/3188>
- Gómez, S., Torres, V., García, Y., Fraga, L. M., & Sarduy, L. (2012). Comparación de modelos de efectos fijos y mixto en el análisis de un experimento con cepas mutantes de hongos celulolíticos *Trichoderma viride*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(2), 127–131.
https://www.researchgate.net/publication/331210329_Comparacion_de_modelos_de_efectos_fijos_y_mixto_en_el_analisis_de_un_experimento_con_cepas_mutantes_de_hongos_celuloliticos_Trichoderma_viride
- Gorra, R., Freppaz, M., Zanini, E., & Scalenghe, R. (2014). Mountain dairy wastewater treatment with the use of a ‘irregularly shaped’ constructed wetland (Aosta Valley, Italy). *Ecological Engineering*, 73, 176–183.
<https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2014.09.013>
- Guerra Sandoval, B. G. (2018a). *Tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria de productos lácteos San Salvador – cantón Riobamba, mediante Fitorremediación con humedales artificiales empleando totora* [Universidad Nacional de Chimborazo,2018]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4523>
- Guerra Sandoval, B. G. (2018b). *Tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria de productos lácteos San Salvador – cantón Riobamba, mediante Fitorremediación con humedales artificiales empleando totora*.
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4523>
- Hu, H., Li, X., Wu, S., & Yang, C. (2020). Sustainable livestock wastewater treatment via

- phytoremediation: Current status and future perspectives. *Bioresource Technology*, 315, 123809. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2020.123809>
- Hussam Faraj, Ahmad Jamrah, Saif Al-Omari, T. M. A.-Z. (2023). Optimization of an electrocoagulation-assisted adsorption treatment system for dairy wastewater. *Building and Environment*, 107386. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100574>
- Isea, D., Vargas, L., Durán, J., Delgado, J., & Mendoza, R. (2015). Biokinetics parameters governing of BOD equation in a crab-processing industry wastewater. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, 38, 112–121. <https://doi.org/ISSN 0254-0770>.
- Jiang, X., Tian, Y., Ji, X., Lu, C., & Zhang, J. (2020). Influences of plant species and radial oxygen loss on nitrous oxide fluxes in constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 142, 105644. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2019.105644>
- Jin Chung, W., Shim, J., & Ravindran, B. (2022). Characterization of cheese processed wastewater and treatment using calcium nanoparticles synthesised by *Senna auriculata* L flower extract. *Journal of King Saud University - Science*, 34(2), 101793. <https://doi.org/10.1016/J.JKSUS.2021.101793>
- Kafle, A., Timilsina, A., Gautam, A., Adhikari, K., Bhattarai, A., & Aryal, N. (2022). Phytoremediation: Mechanisms, plant selection and enhancement by natural and synthetic agents. *Environmental Advances*, 8, 100203. <https://doi.org/10.1016/J.ENVADV.2022.100203>
- Karadag, D., Köroğlu, O. E., Ozkaya, B., & Cakmakci, M. (2015). A review on anaerobic biofilm reactors for the treatment of dairy industry wastewater. In *Process Biochemistry* (Vol. 50, Issue 2, pp. 262–271). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.11.005>

- Kaur, N. (2021). Different treatment techniques of dairy wastewater. *Groundwater for Sustainable Development*, 100640. <https://doi.org/10.1016/J.GSD.2021.100640>
- Kothari, R., Pathak, V. V., Kumar, V., & Singh, D. P. (2012). Experimental study for growth potential of unicellular alga *Chlorella pyrenoidosa* on dairy waste water: An integrated approach for treatment and biofuel production. *Bioresource Technology*, 116, 466–470. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2012.03.121>
- Licata, M., Farruggia, D., Tuttolomondo, T., Iacuzzi, N., Leto, C., & Di Miceli, G. (2022a). Seasonal response of vegetation on pollutants removal in constructed wetland system treating dairy wastewater. *Ecological Engineering*, 182(April). <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106727>
- Licata, M., Farruggia, D., Tuttolomondo, T., Iacuzzi, N., Leto, C., & Di Miceli, G. (2022b). Seasonal response of vegetation on pollutants removal in constructed wetland system treating dairy wastewater. *Ecological Engineering*, 182, 106727. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2022.106727>
- Licata, M., Gennaro, M. C., Tuttolomondo, T., Leto, C., & la Bella, S. (2019). Research focusing on plant performance in constructed wetlands and agronomic application of treated wastewater - A set of experimental studies in Sicily (Italy). *PLoS ONE*, 14(7), 1–27. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219445>
- Liu, W. L., Guan, M., Liu, S. Y., Wang, J., Chang, J., Ge, Y., & Zhang, C. B. (2015). Fungal denitrification potential in vertical flow microcosm wetlands as impacted by depth stratification and plant species. *Ecological Engineering*, 77, 163–171. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2015.01.017>
- Lizana, P. (2018). Tratamiento de Aguas Residuales para el Caserío Villa Palambra.

Universidad de Piura, 142.

https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3636/ING_605.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Llberto Jimenez, L., Faustino, M., Jahuira, A., Vladimiro, H., & Quispe, I. (2016).

Tratamiento de aguas eutrofizadas de la bahía interior de Puno, Perú, con el uso de
dos Macrófitas. *Journal of Journal of High Andean High Andean Research Research
Journal of High Andean Research*, 18, 403–410.

<https://doi.org/10.18271/ria.2016.232>

Lu, S., Zhang, X., Wang, J., & Pei, L. (2016). Impacts of different media on constructed
wetlands for rural household sewage treatment. *Journal of Cleaner Production*, 127,
325–330. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.166>

Mansoorian, H. J., Mahvi, A. H., Jafari, A. J., & Khanjani, N. (2016). Evaluation of dairy
industry wastewater treatment and simultaneous bioelectricity generation in a
catalyst-less and mediator-less membrane microbial fuel cell. *Journal of Saudi
Chemical Society*, 20(1), 88–100. <https://doi.org/10.1016/J.JSCS.2014.08.002>

Maucieri, C., Salvato, M., & Borin, M. (2020). Vegetation contribution on phosphorus
removal in constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 152, 105853.

<https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2020.105853>

Mejía, A., Orozco, P., & Sánchez, W. (2020). *Biorremediación de las aguas residuales
provenientes de la industria láctea a escala de laboratorio mediante el sistema Tohá*
[Universidad Nacional de Chimborazo,2020].

<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6363>

Mena Ayala, A. (2022). *Eficiencia del sistema de humedales artificiales, en el tratamiento*

de aguas residuales domésticas.

<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/18006>

MIDAGRI. (2021). *Midagri en el país existen 6500 plantas queseras.*

<https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/350614-midagri-en-el-pais-existen-6-500-plantas-queseras-siendo-puno-el-lider-de-la-produccion-total>

MMARN, S. de estado de medio ambiente y recursos naturales. (2004). *Norma Ambiental*

De, Calidad Subterráneas, Aguas Descargas, Y Subsuelo. <https://idard.org.do/wp-content/uploads/2018/11/Norma-Ambiental-sobre-Calidad-de-Aguas-Subterraneas-y-Descargas-al-Subsuelo.pdf>

Módenes, A. N., Fernandes, D. G., Trigueros, D. E. G., Amador, M. G., Espinoza-

Quiñones, F. R., de Souza Braniz, T., Schuelter, A. R., da Silva, G. J., & Bonett, L. P.

(2024). Progressive pollution abatement in raw dairy wastewater induced by the algae

Poterioochromonas malhamensis with a high-value biomass yield. *Biochemical*

Engineering Journal, 201(October 2023). <https://doi.org/10.1016/j.bej.2023.109138>

Mohamed, A. Y. A., Siggins, A., Healy, M. G., Ó hUallacháin, D., Fenton, O., & Tuohy,

P. (2022). A novel hybrid coagulation-constructed wetland system for the treatment of dairy wastewater. *Science of the Total Environment*, 847(July).

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157567>

Morales, E. N., Rios, N. S., & Huaranga, M. C. (2019). Fitorremediación mediante las

especies palustre y flotante, *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* en el

tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural Quechua-

Cajamarca. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 5(2).

<https://doi.org/10.17162/RICTD.V5I2.886>

- Municipalidad Distrital de Orurillo. (2020). *Plan nacional de evaluación y fiscalización ambiental-PLANEFA 2020*.
- Nocetti, E., Maine, M. A., Hadad, H. R., Mufarrege, M. de las M., Di Luca, G. A., & Sánchez, G. C. (2020). Selection of macrophytes and substrates to be used in horizontal subsurface flow wetlands for the treatment of a cheese factory wastewater. *Science of The Total Environment*, 745, 141100.
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.141100>
- Oré, A. (2017). Influencia del sulfato de aluminio y pH en la remoción de la materia orgánica para el tratamiento del agua residual del camal municipal de Chupaca (Tesis de Pregrado). *Universidad Nacional Del Centro Del Perú*, 54.
- Ortiz, S., & Andrés, I. (2016). Desempeño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Sao Joao de Iracema. *Revista Ingenieria*, 1.
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Passero, M. L., Cragin, B., Hall, A. R., Staley, N., Coats, E. R., McDonald, A. G., & Feris, K. (2014). Ultraviolet radiation pre-treatment modifies dairy wastewater, improving its utility as a medium for algal cultivation. *Algal Research*, 6(PA), 98–110.
<https://doi.org/10.1016/J.ALGAL.2014.09.008>
- Patel, A. K., Gupta, D., Singh, A., Mishra, V. K., & Sharma, N. K. (2021). Green-synthesized nanoparticles for treatment of wastewater: an environmentally sustainable pollution remediation technology. In *Sustainable Environmental Clean-up* (pp. 29–70). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823828-8.00002-5>

- Pelissari, C., Sezerino, P. H., Decezaró, S. T., Wolff, D. B., Bento, A. P., Junior, O. de C., & Philippi, L. S. (2014). Nitrogen transformation in horizontal and vertical flow constructed wetlands applied for dairy cattle wastewater treatment in southern Brazil. *Ecological Engineering*, *73*, 307–310.
<https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2014.09.085>
- Prazeres, A. R., Rivas, J., Almeida, M. A., Patanita, M., Dôres, J., & Carvalho, F. (2016). Agricultural reuse of cheese whey wastewater treated by NaOH precipitation for tomato production under several saline conditions and sludge management. *Agricultural Water Management*, *167*, 62–74.
<https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2015.12.025>
- Qadiri, R. Z. Z., Gani, K. M., Zaid, A., Aalam, T., Kazmi, A. A., & Khalil, N. (2021). Comparative evaluation of the macrophytes in the constructed wetlands for the treatment of combined wastewater (greywater and septic tank effluent) in a sub-tropical region. *Environmental Challenges*, *5*, 100265.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVC.2021.100265>
- Queiroz, R. de C. S. de, Maranduba, H. L., Hafner, M. B., Rodrigues, L. B., & de Almeida Neto, J. A. (2020). Life cycle thinking applied to phytoremediation of dairy wastewater using aquatic macrophytes for treatment and biomass production. *Journal of Cleaner Production*, *267*, 122006.
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.122006>
- Quispe, N. (2019). *Producción de biogas y biol como alternativa para tratar el lactosuero en un reactor Batch de una planta quesera*. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/1252>
- Rahul, K., Bhuvaneshwari, S., Majeed, F., M. M. M., Jose, E., & Mohan, A. (2022).

- Different treatment methodologies and reactors employed for dairy effluent treatment - A review. *Journal of Water Process Engineering*, 46(December 2021), 102622.
<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102622>
- Rani, G., Banu, J. R., Kumar, G., & Yogalakshmi, K. N. (2022). Statistical optimization of operating parameters of microbial electrolysis cell treating dairy industry wastewater using quadratic model to enhance energy generation. *International Journal of Hydrogen Energy*. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2022.03.120>
- Reyes Luz M., Zárate, A. G., Carrillo Núñez, S. G., & Durán De Bazúa, C. (2017). *Remoción de Fósforo en un Sistema de Humedales Artificiales a Escala de Laboratorio*. <https://doi.org/https://doi.org/10.29166/quimica.v2i1.546>
- Romero, M., Colín, A., Sánchez, E., & Ortiz, L. (2009). *Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992009000300004&script=sci_abstract
- Saravanan, A., Senthil Kumar, P., Jeevanantham, S., Karishma, S., Tajsabreen, B., Yaashikaa, P. R., & Reshma, B. (2021). Effective water/wastewater treatment methodologies for toxic pollutants removal: Processes and applications towards sustainable development. *Chemosphere*, 280, 130595.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130595>
- Schierano, M. C., Panigatti, M. C., Maine, M. A., Griffa, C. A., & Boglione, R. (2020a). Horizontal subsurface flow constructed wetland for tertiary treatment of dairy wastewater: Removal efficiencies and plant uptake. *Journal of Environmental Management*, 272, 111094. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.111094>

- Schierano, M. C., Panigatti, M. C., Maine, M. A., Griffa, C. A., & Boglione, R. (2020b). Horizontal subsurface flow constructed wetland for tertiary treatment of dairy wastewater: Removal efficiencies and plant uptake. *Journal of Environmental Management*, 272, 111094. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.111094>
- Sembera, C., Macintosh, C., Astals, S., & Koch, K. (2019). Benefits and drawbacks of food and dairy waste co-digestion at a high organic loading rate: A Moosburg WWTP case study. *Waste Management*, 95, 217–226. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2019.06.008>
- Sharma, P. K., Rausa, K., Rani, A., Mukherjee, S., & Kumar, M. (2021). Biopurification of dairy farm wastewater through hybrid constructed wetland system: Groundwater quality and health implications. *Environmental Research*, 200, 111426. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111426>
- Shi, W., Healy, M. G., Ashekuzzaman, S. M., Daly, K., Leahy, J. J., & Fenton, O. (2021). Dairy processing sludge and co-products: A review of present and future re-use pathways in agriculture. *Journal of Cleaner Production*, 314, 128035. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128035>
- Sinthia, A. (2018). *Evaluación de propiedades físicas, organolepticas y vida util de queso ricotta elaborado a partir del lactosuero de queso tipo paria pasteurizado*. https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/17899/Aguilar_Condori_Sinthia_Rocio.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Solano Carrion, A. L. (2019). Comparación de la eficiencia de Pistia stratiotes y Azolla filiculoides para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000 [Universidad César Vallejo]. In *Repositorio Institucional - UCV*.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/35251>

Stasinakis, A. S., Charalambous, P., & Vyrides, I. (2022). Dairy wastewater management in EU: Produced amounts, existing legislation, applied treatment processes and future challenges. *Journal of Environmental Management*, 303(September 2021).

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114152>

SUNASS. (2015). *Diagnostico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento*.

<https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>

Tabelini, D. B., Lima, J. P. P., Borges, A. C., & 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(April).

<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103779>

Tabra, S. (2013). *La preocupante y desigual situación del agua en el Perú*.

<https://www.servindi.org/actualidad/84511>

Toapanta, M. I. (2016). Calidad del agua: Grasas y Aceites. *Grasas y Aceites*.

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6161/8/GRASASYACEITES.pdf>

Tovar, Ó. (1993). Las Gramineas (Poaceae) del Perú. *Monografías Del Real Jardín*

Botánico, 13, 481. <https://bibdigital.rjb.csic.es/records/item/1525845-ruizia-tomo-13?offset=5>

Turcios, A. E., Miglio, R., Vela, R., Sánchez, G., Bergier, T., Włodyka-Bergier, A.,

Cifuentes, J. I., Pignataro, G., Avellan, T., & Papenbrock, J. (2021). From natural habitats to successful application - Role of halophytes in the treatment of saline

wastewater in constructed wetlands with a focus on Latin America. *Environmental and Experimental Botany*, 190, 104583.

<https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2021.104583>

Umasi, E. (2023). *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales de flujo subsuperficial y flujo superficial con dos especies fitodepuradoras para la remoción de material orgánica de las aguas residuales domésticas - Juliaca, 2018.*

<https://doi.org/z>

Vargas P. María I. (2020). *Asimilación y evaluación de Pb, Cd, Fe y Zn en los relaves de Quiulacocha utilizando procesos de cobertura biológica – 2019.* 139.

Villena, L. . (1995). Contaminacion De La Industria Lactea. *Insacan.*

<http://www.insacan.org/racvao/anales/1995/articulos/08-1995-02.pdf>

Von Sperling, M. (1996). *Introdução a qualidade de água e tratamento de esgoto.*

Wang, Q., Ren, Y., Ding, Y., Xu, M., & Chen, B. (2018). The influence of pH and enzyme cross-linking on protein delivery properties of WPI-beet pectin complexes. *Food Research International*, 105, 678–685.

<https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2017.11.076>

Yapıcıoğlu, P., & Yeşilnacar, M. I. (2020). Energy cost assessment of a dairy industry wastewater treatment plant. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(8).

<https://doi.org/10.1007/S10661-020-08492-Y>

Zhang, D. Q., Jinadasa, K. B. S. N., Gersberg, R. M., Liu, Y., Tan, S. K., & Ng, W. J.

(2015). Application of constructed wetlands for wastewater treatment in tropical and subtropical regions (2000–2013). *Journal of Environmental Sciences*, 30, 30–46.

<https://doi.org/10.1016/J.JES.2014.10.013>

Zhang, L., Lyu, T., Zhang, Y., Button, M., Arias, C. A., Weber, K. P., Brix, H., & Carvalho, P. N. (2018). Impacts of design configuration and plants on the functionality of the microbial community of mesocosm-scale constructed wetlands treating ibuprofen. *Water Research*, *131*, 228–238.
<https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2017.12.050>

ANEXOS

Anexo 1. Registro de panel fotográfico



Imagen 01. Evidencia de contaminación del suelo por las aguas residuales lácteas



Imagen 2. Construcción de las pozas para los humedales



Imagen 2. Tratamiento de las aguas residuales lácteas con la macrófita *Cortaderia jubata*

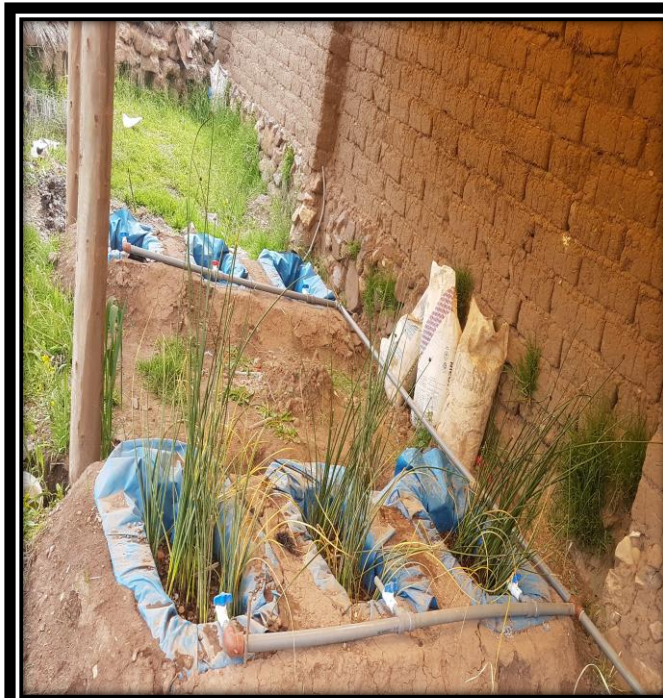


Imagen 2. Tratamiento de las aguas residuales lácteas con la macrófita *Schoenoplectus totora*



Imagen 2. Tratamiento testigo sin plantas macrófitas

Anexo 2. Informe de laboratorio.

INFORME DE ENSAYO

N° 04047-23/SU/ILLPA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Estación Experimental Agraria Illpa/Prosuelos.
 Propietario / Productor : Reservado por el Cliente
 Dirección del cliente : La Rinconada - Salcedo S/N.
 Solicitado por : Clorinda Fiorella Jara Harcco.
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 10 muestras.
 Producto declarado : Agua residual Láctea
 Presentación de las muestras(s) : Frasco de plástico.
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente.
 Procedencia de muestra(s) : Orurillo / Melgar / Puno.
 Fecha(s) de muestreo : 2023-04-20
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2023-04-21
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliaves - LABSAF Illpa.
 Fecha(s) de análisis : 2023-04-21
 Cotización del servicio : 047-23-ILL
 Fecha de emisión : 2023-04-27



II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6		
Código de Laboratorio	AG601-ILL-23	AG602-ILL-23	AG603-ILL-23	AG604-ILL-23	AG605-ILL-23	AG606-ILL-23		
Matriz Analizada	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua		
Fecha de Muestreo	2023-04-20	2023-04-20	2023-04-20	2023-04-20	2023-04-20	2023-04-20		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	16:00	16:05	16:10	16:15	16:20	16:25		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	unid. pH	-	5.51	5.47	5.55	5.69	5.74	5.65
Conductividad Eléctrica	uS/cm	-	2870.0	2639.0	2648.0	2600.0	2610.0	2622.0
DQO	mgO2/L	-	2100	2110	2123	2071	2075	2086
DBO	mgO2/L	-	1690	1693	1688	1651	1649	1660
Fósforo Total	ppm	-	2.30	2.48	2.45	2.36	2.28	2.30
Sólidos Totales	mg/L	-	73000	70000	71000	69000	66000	68000
Aceites y grasas	mg/L	-	10000	11000	11000	10000	10000	11000
Nitrógeno Total	mg/L	-	21500	21800	21200	20400	20200	20000

ITEM	7	8	9	10	11	12		
Código de Laboratorio	AG607-ILL-23	AG608-ILL-23	AG609-ILL-23	AG610-ILL-23	-	-		
Matriz Analizada	Agua	Agua	Agua	Agua	-	-		
Fecha de Muestreo	2023-04-20	2023-04-20	2023-04-20	2023-04-20	-	-		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	16:30	16:35	16:40	16:45	-	-		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	-	-		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	T-1	T-2	T-3	Afuente 1	-	-		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	unid. pH	-	5.43	5.45	5.48	5.45	-	-
Conductividad Eléctrica	uS/cm	-	2712.0	2704.0	2700.0	2720.0	-	-
DQO	mgO2/L	-	2117	2120	2115	2121	-	-
DBO	mgO2/L	-	1695	1690	1688	1700	-	-
Fósforo Total	ppm	-	2.43	2.47	2.45	2.48	-	-
Sólidos Totales	mg/L	-	72000	74000	73000	74000	-	-
Aceites y grasas	mg/L	-	11000	10800	10000	11000	-	-
Nitrógeno Total	mg/L	-	21900	22000	21800	22000	-	-

INFORME DE ENSAYO
 N° 04047-23/SU/ILLPA

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994/Cor.1:1996. Soil quality- Determination of the Specific Electrical Conductivity-Technical Corrigendum 1.
DQO	ISO 6060
DBO	ISO 6060
Fósforo Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P, B (item 5) y E.
Sólidos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B. Solids. Total Solids Dried at 103-105°C. 23rd Edition, 2017.
Aceites y grasas	ISO 6060
Nitrógeno Total	kjeldahl

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron.
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Jorge Canihua Rojas - Responsable del laboratorio del LABSAF Sede Illpa.



Firma
Jorge Canihua Rojas
 Responsable de Laboratorio del LABSAF-Illpa

FIN DE INFORME DE ENSAYO

INFORME DE ENSAYO
N° 05073-23/SU/ILLPA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Estación Experimental Agraria Illpa/Prosuelos.
 Propietario / Productor : Reservado por el Cliente
 Dirección del cliente : La Rinconada - Salcedo S/N.
 Solicitado por : Clorinda Fiorela Jara Hancoco
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 10 muestras.
 Producto declarado : Agua residual Láctea
 Presentación de las muestras(s) : Frasco de plástico.
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente.
 Procedencia de muestra(s) : Orunlio / Mejgar / Puno.
 Fecha(s) de muestreo : 2023-05-28
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2023-05-29
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Follares - LABSAF Illpa.
 Fecha(s) de análisis : 2023-05-29
 Cotización del servicio : 073-23-ILL
 Fecha de emisión : 2023-06-09



II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6		
Código de Laboratorio	AG1936-ILL-23	AG1940-ILL-23	AG1941-ILL-23	AG1942-ILL-23	AG1943-ILL-23	AG1944-ILL-23		
Matriz Analizada	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua		
Fecha de Muestreo	2023-05-28	2023-05-28	2023-05-28	2023-05-28	2023-05-28	2023-05-28		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	16:00	16:05	16:10	16:15	16:20	16:25		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	A-1	A-2	A-3	B1	B-2	B-3		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	unid. pH	--	5.48	5.80	5.53	6.47	6.20	6.18
Conductividad Eléctrica	uS/cm	--	2120	2040	2098	1728	1743	1769
DQO	mgO2/L	--	2260	2287	2269	2020	2038	2009
DBO	mgO2/L	--	1701.5	1760.5	1743	1432	1447	1478
Fósforo Total	ppm	--	2.36	2.30	2.10	2.10	2.03	1.09
Sólidos Totales	mg/L	--	54000	51000	50000	45000	43000	42000
Aceites y grasas	mg/L	--	10000	11000	11000	10000	11000	10500
Nitrógeno Total	mg/L	--	24300	24050	24600	21000	22000	20000
ITEM	7	8	9	10	11	12		
Código de Laboratorio	AG1945-ILL-23	AG1946-ILL-23	AG1947-ILL-23	AG1948-ILL-23	--	--		
Matriz Analizada	Agua	Agua	Agua	Agua	--	--		
Fecha de Muestreo	2023-05-28	2023-05-28	2023-05-28	2023-05-28	--	--		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	16:30	16:35	16:40	16:45	--	--		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	--	--		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	T-1	T-2	T-3	Afluente-1	--	--		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	unid. pH	--	5.37	5.40	5.38	5.42	--	--
Conductividad Eléctrica	uS/cm	--	2459.0	2487.0	2496.0	2500.0	--	--
DQO	mgO2/L	--	2493	2495	2497	2497	--	--
DBO	mgO2/L	--	1799	1786	1788	1800	--	--
Fósforo Total	ppm	--	2.55	2.57	2.60	2.60	--	--
Sólidos Totales	mg/L	--	71000	67000	74000	75000	--	--
Aceites y grasas	mg/L	--	10000	10000	10000	11000	--	--
Nitrógeno Total	mg/L	--	25000	24500	24000	25050	--	--

INFORME DE ENSAYO
N° 05073-23/SU/ILLPA

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11285:1994/Cor.1:1996. Soil quality- Determination of the Specific Electrical Conductivity-Technical Corrigendum 1.
DQO	ISO 8060
DBO	ISO 8060
Fósforo Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P. B (item 5) y E.
Sólidos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B. Solids, Total Solids Dried at 103-105°C, 23rd Edition, 2017.
Aceites y grasas	ISO 8060
Nitrógeno Total	kjeldahl

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras. Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron.
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente informe de ensayo ha sido autorizado por: Jorge Canihua Rojas - Responsable del laboratorio del LABSAF Sede Illpa.



Firma
Jorge Canihua Rojas
 Responsable de Laboratorio del LABSAF-Illpa

FIN DE INFORME DE ENSAYO

INFORME DE ENSAYO
N° 06106-23/SU/ILLPA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Estación Experimental Agraria Illpa/Prosuelos.
 Propietario / Productor : Reservado por el Cliente
 Dirección del cliente : La Rinconada - Salcedo S/N.
 Solicitado por : Clorinda Fiorela Jara Hencco
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 10 muestras.
 Producto declarado : Agua residual Láctea
 Presentación de las muestras(s) : Frasco de plástico.
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente.
 Procedencia de muestra(s) : Orullillo / Maigar / Puno.
 Fecha(s) de muestreo : 2023-06-21
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2023-06-22
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliaves - LABSAF Illpa.
 Fecha(s) de análisis : 2023-06-22
 Cotización del servicio : 106-23-ILL
 Fecha de emisión : 2023-07-04



II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6		
Código de Laboratorio	AG2266-ILL-23	AG2267-ILL-23	AG2268-ILL-23	AG2269-ILL-23	AG2270-ILL-23	AG2271-ILL-23		
Matriz Analizada	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua		
Fecha de Muestreo	2023-06-21	2023-06-21	2023-06-21	2023-06-21	2023-06-21	2023-06-21		
Hora de inicio de Muestreo (h)	18:00	16:05	16:10	16:15	16:20	16:25		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/identificación de la Muestra por el Cliente	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	unid. pH	--	5.34	5.37	5.31	5.87	5.93	5.9
Conductividad Eléctrica	uS/cm	--	2500	2479	2505	2167	2107	2100
DQO	mgO ₂ /L	--	1989	1964	1973	1857	1853	1855
DBO	mgO ₂ /L	--	1644	1647	1646	1400	1404	1408
Fósforo Total	ppm	--	2.12	2.15	2.17	2.07	2.09	2.1
Sólidos Totales	mg/L	--	53000	48000	45000	46000	42000	42000
Aceites y grasas	mg/L	--	10000	10000	12150	10000	11200	10550
Nitrógeno Total	mg/L	--	22300	24550	23200	15000	23900	13400

ITEM	7	8	9	10	11	12		
Código de Laboratorio	AG1972-ILL-23	AG1973-ILL-23	AG1974-ILL-23	AG1975-ILL-23	--	--		
Matriz Analizada	Agua	Agua	Agua	Agua	--	--		
Fecha de Muestreo	2023-06-21	2023-06-21	2023-06-21	2023-06-21	--	--		
Hora de inicio de Muestreo (h)	16:30	16:35	16:40	16:45	--	--		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	--	--		
Código/identificación de la Muestra por el Cliente	T1	T2	T3	Afluente-1	--	--		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	unid. pH	--	5.21	5.20	5.22	5.23	--	--
Conductividad Eléctrica	uS/cm	--	2817	2818	2812	2819	--	--
DQO	mgO ₂ /L	--	2040	2043	2039	2043	--	--
DBO	mgO ₂ /L	--	1779	1775	1773	1779.5	--	--
Fósforo Total	ppm	--	2.51	2.47	2.50	2.55	--	--
Sólidos Totales	mg/L	--	76000	77500	76500	78000	--	--
Aceites y grasas	mg/L	--	11700	11200	11550	11700	--	--
Nitrógeno Total	mg/L	--	23900	24200	24000	24150	--	--

INFORME DE ENSAYO

N° 06106-23/SU/ILLPA

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994/Cor.1:1996. Soil quality- Determination of the Specific Electrical Conductivity-Technical Corrigendum 1.
DQO	ISO 6060
DBO	ISO 6060
Fósforo Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P. B (Item 5) y E
Sólidos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B. Solids, Total Solids Dried at 103-105°C, 23rd Edition, 2017.
Aceites y grasas	ISO 6060
Nitrógeno Total	kjeldahl

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que Ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este Informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los Items sometidos a ensayo.
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron.
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Jorge Canihua Rojas - Responsable del laboratorio del LABSAF Sede Illpa.





Jorge Canihua Rojas
 Responsable del Laboratorio del LABSAF-Illpa

FIN DE INFORME DE ENSAYO

INFORME DE ENSAYO
N° 07192-23/SU/ILLPA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Estación Experimental Agraria Illpa/Prosuelos.
 Propietario / Productor : Reservado por el Cliente
 Dirección del cliente : La Rinconada - Salcedo S/N.
 Solicitado por : Clorinda Fiorela Jara Hancoo.
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 10 muestras.
 Producto declarado : Agua residual Láctea
 Presentación de las muestras(s) : Frasco de plástico.
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente.
 Procedencia de muestra(s) : Orullito / Melgar / Puno.
 Fecha(s) de muestreo : 2023-07-16
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2023-07-17
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Follares - LABSAF Illpa.
 Fecha(s) de análisis : 2023-07-17
 Cotización del servicio : 182-23-ILL
 Fecha de emisión : 2023-07-24



II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM			1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio			AG2924-ILL-23	AG2925-ILL-23	AG2926-ILL-23	AG2927-ILL-23	AG2928-ILL-23	AG2929-ILL-23
Matriz Analizada			Agua	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua
Fecha de Muestreo			2023-07-16	2023-07-16	2023-07-16	2023-07-16	2023-07-16	2023-07-16
Hora de Inicio de Muestreo (h)			16:00	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
Condición de la muestra			Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente			A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	unid. pH	--	5.24	5.21	5.33	5.57	5.61	5.52
Conductividad Eléctrica	uS/cm	--	2603	2633	2615	2528	2544	2549
DQO	mgO2/L	--	2040	2036	2031	2020	2015	2000
DBO	mgO2/L	--	1747	1748	1739	1642	1625	1689
Fósforo Total	ppm	--	2.41	2.38	2.43	2.20	2.25	2.29
Sólidos Totales	mg/L	--	75000	75000	71000	68000	71000	73000
Aceites y grasas	mg/L	--	10000	11000	10800	10300	10000	10800
Nitrógeno Total	mg/L	--	23100	23400	23500	19600	19000	18700
ITEM			7	8	9	10	11	12
Código de Laboratorio			AG2930-ILL-23	AG2931-ILL-23	AG2932-ILL-23	AG2933-ILL-23	--	--
Matriz Analizada			Agua	Agua	Agua	Agua	--	--
Fecha de Muestreo			2023-07-16	2023-07-16	2023-07-16	2023-07-16	--	--
Hora de Inicio de Muestreo (h)			16:00	16:00	16:00	16:00	--	--
Condición de la muestra			Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	--	--
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente			T-1	T-2	T-3	Afuente-1	--	--
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	unid. pH	--	5.15	5.18	5.12	5.17	--	--
Conductividad Eléctrica	uS/cm	--	2800	2750	2789	2800	--	--
DQO	mgO2/L	--	2057	2059	2055	2059	--	--
DBO	mgO2/L	--	1748	1753	1754	1758	--	--
Fósforo Total	ppm	--	2.80	2.72	2.73	2.73	--	--
Sólidos Totales	mg/L	--	80000	75000	76500	82000	--	--
Aceites y grasas	mg/L	--	11700	11200	11550	11900	--	--
Nitrógeno Total	mg/L	--	25650	25400	25200	25700	--	--

INFORME DE ENSAYO
 N° 07192-23/SU/ILLPA

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994/Cor.1:1996. Soil quality- Determination of the Specific Electrical Conductivity-Technical Corrigendum 1.
DQO	ISO 6060
DBO	ISO 6060
Fósforo Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P, B (Item 5) y E.
Sólidos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B. Sólidos. Total Solids Dried at 103-105°C. 23rd Edition, 2017.
Aceites y grasas	ISO 6060
Nitrógeno Total	kjeldahl

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron.
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Jorge Canihua Rojas - Responsable del laboratorio del LABSAF Sede Illpa.




 Firma
Jorge Canihua Rojas
 Responsable de Laboratorio del LABSAF-Illpa

FIN DE INFORME DE ENSAYO

Anexo 3. Informe de identificación de especies

SOLICITO: IDENTIFICACIÓN DE CUATRO ESPECIES DE PLANTAS

SR. DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS, DR. MARCO ARO ARO.



Yo, **Clorinda Fiorela Jara Hanco**, identificado con DNI: 73764154, egresado y bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca. Ante usted con el debido respeto me presento y expongo lo siguiente:

Siendo tesista de la escuela profesional ya mencionada, desarrollando el tema denominado "EVALUACIÓN COMPARATIVA DE DOS MACROFITAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA, POR MEDIO DE HUMEDALES EN EL DISTRITO DE ORURILLO-MELGAR-PUNO", realicé la selección de cuatro especies como parte de la presente investigación, donde se me solicitó realizar la identificación de estas por medio de una institución, viendo ello la escuela profesional de ingeniería agronómica de la Universidad Nacional Del Altiplano, cuenta con el laboratorio de pastos y forrajes, razón por la petición a dicha entidad. Para la identificación adjunto fotografías de las especies.

Por lo expuesto:

Ruego a Usted, tenga la amabilidad de acceder a mi solicitud y derivar mi solicitud a quien corresponda.

Puno, 13 de diciembre del 2023

Atentamente,


Clorinda Fiorela Jara Hanco
DNI: 73764154



IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES

ASUNTO : Solicita identificación de especies nativas
INTERESADO : Clorinda Fiorela Jara Hanco
PROCEDENCIA : Distrito de Orurillo – Melgar – Puno
MUESTREO : 04/12/2022
RECEPCION : 12/12/2023

En atención a la solicitud de la interesada Srta. Clorinda Fiorela Jara Hanco, se realizó la identificación de 04 muestras de especies de plantas nativas, se concluye en lo siguiente:

MUESTRA 1	
Familia	: Poaceae
Género	: Stipa
Especie	: <i>Stipa ichu</i>
Nombre común	: ichu
	

MUESTRA 2	
Familia	: Poaceae
Género	: Cortaderia
Especie	: <i>Cortaderia jubata</i>
Nombre común	: sewenk'a
	



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRONOMICA
LABORATORIO DE PASTOS Y FORRAJES



MUESTRA 3

Familia : Polygonaceae
Género : Rumex
Especie : *Rumex crispus*
Nombre común : lengua de vaca



MUESTRA 4

Familia : Cyperaceae
Género : Schoenoplectus
Especie : *Schoenoplectus tatora*
Nombre común : totora



Puno C.U. 15 de diciembre de 2023



Nicaela Pilar Terriba Quispe
MSc. Nicaela Pilar Terriba Quispe
JEFE COORDINADORA DEL L.A. PASTOS Y FORRAJES
EPIA-FCA-UNA-PUNO

Anexo 4. Procesamiento estadístico.

Resultados del análisis de varianza para la eficiencia de PH

Efecto	Grados de libertad	Den DF	F-Valor	Pr > F
Mes	3	18	15.67	<.0001
Tratamiento	2	6	237.35	<.0001
Tratamiento*Mes	6	18	11.38	<.0001

Resultados de la prueba de efectos simples Mes de evaluación dentro de cada tratamiento para la eficiencia del PH.

Efecto	Grados de libertad	Den DF	F-Valor	Pr > F
Mes de evaluación dentro de A	3	18	1.33	0.296
Mes de evaluación dentro de B	3	18	36.97	<.0001
Mes de evaluación dentro de T	3	18	0.13	0.941

Resultados de la prueba de efectos simples tratamiento de dentro de cada mes para la eficiencia del pH

Efecto	Grados de libertad	Den DF	F-Valor	Pr > F
Trat dentro del mes de abril	2	23.55	8.2	0.002
Trat dentro del mes de mayo	2	23.55	24.29	<.0001
Trat dentro del mes de junio	2	23.55	70.04	<.0001
Trat dentro del mes de julio	2	23.55	114.69	<.0001

Resultados del análisis de varianza para la eficiencia de conductividad eléctrica

Efecto	Grados de libertad	Den DF	F-Valor	Pr > F
MES	3	18	424.55	<.0001
TRATAMIENTO	2	6	1956.24	<.0001
TRAT*MES	6	18	151.91	<.0001

resultados de la prueba de efectos simples Mes de evaluación dentro de cada tratamiento para la eficiencia del CE.

Efectos	Grados de libertad	Den DF	F-Valor	Pr > F
Mes de evaluación dentro de A	3	18	136.69	<.0001
Mes de evaluación dentro de B	3	18	591.33	<.0001
Mes de evaluación dentro de T	3	18	0.35	0.7866

resultados de la prueba de efectos simples tratamiento de dentro de cada mes para la eficiencia de la CE

Efecto	Grados de libertad	Den DF	F-Valor	Pr > F
Trat dentro del mes de abril	2	23.04	14.69	<.0001
Trat dentro del mes de mayo	2	23.04	97.29	<.0001
Trat dentro del mes de junio	2	23.04	780.32	<.0001
Trat dentro del mes de julio	2	23.04	880.66	<.0001

Resultados del análisis de varianza para la eficiencia de la DQO

Efecto	Núm. DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
MES	3	18	1099.08	<.0001
TRAT	2	6	1653.7	<.0001
TRAT*MES	6	18	371.14	<.0001

Resultados de la prueba de efectos simples Mes de evaluación dentro de cada tratamiento para la eficiencia de la DQO.

Efectos	Grados de libertad	Den DF	F-Valor	Pr > F
Mes de evaluación dentro de A	3	18	368.46	<.0001
Mes de evaluación dentro de B	3	18	1472.89	<.0001
Mes de evaluación dentro de T	3	18	0.02	0.9951

Resultados de la prueba de efectos simples tratamiento de dentro de cada mes para la eficiencia de la DQO

MES	Grados de libertad	Den DF	F-Valor	Pr > F
Trat dentro del mes de abril	2	23.77	24.76	<.0001
Trat dentro del mes de mayo	2	23.77	19.88	<.0001
Trat dentro del mes de junio	2	23.77	342.74	<.0001
Trat dentro del mes de julio	2	23.77	2159.49	<.0001

Resultados del análisis de varianza para la eficiencia de la DBO

Efecto	Grados de libertad	Den DF	F-Valor	Pr > F
MES	3	18	311.95	<.0001

TRAT	2	6	344.79	<.0001
TRAT*MES	6	18	149.96	<.0001

Resultados de la prueba de efectos simples Mes de evaluación dentro de cada tratamiento para la eficiencia de la DBO.

Efectos	Grados de Libertad	Den DF	F-Valor	Pr > F
Mes de evaluación dentro de A	3	18	66.77	<.0001
Mes de evaluación dentro de B	3	18	544.92	<.0001
Mes de evaluación dentro de T	3	18	0.19	0.9047

Resultados de la prueba de efectos simples tratamiento de dentro de cada mes para la eficiencia de la DBO

Efectos	Grados de libertad	Den DF	F-Valor	Pr > F
Trat dentro del mes de abril	2	18.55	6.22	0.0086
Trat dentro del mes de mayo	2	18.55	41.45	<.0001
Trat dentro del mes de junio	2	18.55	475.47	<.0001
Trat dentro del mes de julio	2	18.55	454.48	<.0001

Resultados del análisis de varianza para la eficiencia de fosforo total

Efecto	Grados de libertad	Den DF	F-Valor	Pr > F
MES	3	18	5.16	0.0095
TRAT	2	6	25.2	0.0012
TRAT*MES	6	18	2.3	0.0798

Resultados del análisis de varianza para la eficiencia de solidos totales

Efecto	Grados de libertad	Den DF	F-Valor	Pr > F
MES	3	18	164.67	<.0001
TRAT	2	6	121.51	<.0001
TRAT*MES	6	18	42.46	<.0001

Resultados de la prueba de efectos simples Mes de evaluación dentro de cada tratamiento para la eficiencia de solidos totales

Efecto	Grados de libertad	Den DF	F-Valor	Pr > F
Mes de evaluación dentro de A	3	18	107.27	<.0001

Mes de evaluación dentro de B	3	18	139.59	<.0001
Mes de evaluación dentro de T	3	18	2.72	0.0752

Resultados de la prueba de efectos simples tratamiento de dentro de cada mes para la eficiencia de sólidos totales

Efecto	Grados de libertad	Den DF	F-Valor	Pr > F
Trat dentro del mes de abril	2	18	4.11	0.0338
Trat dentro del mes de mayo	2	18	108.42	<.0001
Trat dentro del mes de junio	2	18	177.1	<.0001
Trat dentro del mes de julio	2	18	5.85	0.0111

Resultados del análisis de varianza para la eficiencia de Aceites y grasas

Efecto	Grados de libertad	Den DF	F-Valor	Pr > F
MES	3	18	2.98	0.0591
TRAT	2	6	0.91	0.4505
TRAT*MES	6	18	2.66	0.0501

Resultados del análisis de varianza para la eficiencia de Nitrógeno total

Efecto	Grados de libertad	Den DF	F-Valor	Pr > F
MES	3	18	63.09	<.0001
TRAT	2	6	171.88	<.0001
TRAT*MES	6	18	51.74	<.0001

Resultados de la prueba de efectos simples Mes de evaluación dentro de cada tratamiento para la eficiencia de nitrógeno total.

Efecto	Grados de libertad	Den DF	F-Valor	Pr > F
Mes de evaluación dentro de A	3	18	9.36	0.0006
Mes de evaluación dentro de B	3	18	156.72	<.0001
Mes de evaluación dentro de T	3	18	0.5	0.6895

Resultados de la prueba de efectos simples tratamiento de dentro de cada mes para la eficiencia de nitrógeno total.

Efecto	Grados de libertad	Den DF	F-Valor	Pr > F
Trat dentro del mes de abril	2	18	7.39	0.0045
Trat dentro del mes de mayo	2	18	37.88	<.0001
Trat dentro del mes de junio	2	18	281.46	<.0001
Trat dentro del mes de julio	2	18	97.31	<.0001



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
"Universidad Pública de Calidad"