UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

EFICIENCIA DE LA TOTORA (*Schoenoplectus californicus*) Y EL JUNCO (*Juncus effusus*) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN MOQUEGUA

TESIS

Presentada por:

Bach. Gerson Elisban Alarcón Maquera

Para optar por el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

TACNA - PERÚ

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

TESIS

EFICIENCIA DE LA TOTORA (*Schoenoplectus californicus*) Y EL JUNCO (*Juncus effusus*) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN MOQUEGUA

SUSTENTADA Y APROBADA EL 12 DE ABRIL DEL 2024, SIENDO EL JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE: .....
Dr. Efrén Eugenio Chaparro Montoya

SECRETARIO: .....
Dr. Carlos Francisco Tito Vargas

VOCAL: .....
Dr. Juan Carlos Tejada Vizcarra

ASESOR: .....
Dr. Edgar Chaparro Aguilar

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo **Dr. Edgar Chaparro Aguilar**, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 7337-2022-FCAG de la tesis titulada: **"EFICIENCIA DE LA TOTORA (*Schoenoplectus californicus*) Y EL JUNCO (*Juncus effusus*) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN MOQUEGUA"**. Presentada por el **Bachiller Gerson Elisban Alarcón Maquera**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual considerando que, según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del Software de similitud textual Turnitin cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es del 6%. Por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciada líneas arriba la cual esta expedita para continuar con los trámites para la obtención del título profesional, según corresponda consiguientemente la publicación en el repositorio institucional.

.....

Dr. Edgar Chaparro Aguilar
DNI: 40206961

.....

Gerson Elisban Alarcon Maquera
DNI: 75697723

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a las personas que me ayudaron a culminar mi formación profesional, especialmente a mis familiares, mis padres Leonor y Elisban, mis hermanos Duverly y Lucia y a mis amigos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, que me brindaron su conocimiento y apoyo en la ejecución de mi tesis.

A mis padres y hermanos por brindarme los medios necesarios para obtener mi título.

A mi prima Sandra que me ayudo como asistente en la ejecución de mi tesis.

CONTENIDO

Pág.

DEDICATORIA iv

AGRADECIMIENTOS v

CONTENIDO vi

ÍNDICE DE TABLAS xi

ÍNDICE DE FIGURAS xiv

ÍNDICE DE ANEXOS xv

RESUMEN xvi

ABSTRACT xvii

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema 5

1.2 Formulación del problema 7

1.2.1 Formulación del problema general 7

1.2.2 Formulación de los problemas específicos 7

1.3 Delimitación de la investigación 8

1.3.1 Delimitación temporal 8

1.3.2 Delimitación espacial 8

1.3.3 Delimitación teórica 8

1.4 Justificación de la investigación 9

1.4.1 Justificación ambiental 9
1.4.2 Justificación económica.....9
1.4.3 Justificación social.....10
1.5 Limitaciones 10

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos 11
2.1.1 Objetivo general 11
2.1.2 Objetivos específicos 11
2.2 Hipótesis 12
2.2.1 Hipótesis general.....12
2.2.2 Hipótesis específicas.....12
2.3 Variables 12
2.3.1 Variable independiente.....12
2.3.2 Variable dependiente 13
2.3.3 Operalización de variables 13

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1 Antecedentes bibliográficos.....14
3.2 Bases teóricas.....24
3.2.1 Aguas residuales.....24
3.2.2 Sistema de tratamiento de aguas residuales 25
3.2.3 Sistema de plantas acuáticas flotantes.....28

3.2.4 Parámetros fisicoquímicos 31
3.2.5 Parámetros microbiológicos 35
3.2.6 Normas para descargas de aguas residuales en Perú 36
3.3 Definición de términos 38
3.3.1 Aguas residuales 38
3.3.2 Fitorremediación 38
3.3.3 Plantas acuáticas 38
3.3.4 pH 39
3.3.5 Conductividad eléctrica (CE) 39
3.3.6 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) 39
3.3.7 Demanda química de oxígeno (DQO) 39
3.3.8 Turbidez 40
3.3.9 Coliformes totales (CT) 40
3.3.10 Coliformes fecales (CF) 40
3.3.11 Determinación de cenizas 40

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y diseño de investigación 41
4.1.1. Tipo de investigación 41
4.1.2. Nivel de investigación 41
4.1.3 Diseño de investigación 41
4.2 Población y muestra de estudio 41
4.2.1 Población 41

4.2.2 Muestra 43
4.2.3 Muestreo 43
4.3 Metodología 43
4.3.1 Diseño estadístico 43
4.3.2 Procedimiento experimental 44
4.3.3 Materiales y equipos 54
4.4 Análisis estadístico 56

CAPÍTULO V

TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS

5.1 Resultados 57
5.1.1 Analisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual doméstica de Moquegua 57
5.1.2 Eficiencia de la totora (*Schoenoplectus californicus*) y junco (*Juncus effusus*) sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual tratada.....58
5.1.3 Contenido de cenizas en la totora (*Schoenoplectus californicus*) y el junco (*Juncus effusus*) antes y después del tratamiento de aguas residuales. 73
5.2 Discusión de resultados 77
5.2.1 Discusión de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual doméstica de Moquegua 77
5.2.2 Discusión del efecto de la totora (*Schoenoplectus californicus*) y junco (*Juncus effusus*) sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual tratada 81

5.2.3 Discusión del contenido de cenizas en la totora (*Schoenoplectus californicus*) y el junco (*Juncus effusus*) antes y después del tratamiento de aguas residuales.....89

CONCLUSIONES.....93

RECOMENDACIONES.....95

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....96

ANEXOS.....106

Anexo 1. Matriz de consistencia 107

Anexo 2. Panel fotográfico del trabajo experimental 108

Anexo 3. Informe de análisis de laboratorio 113

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Operacionalización de las variables.....13
Tabla 2. Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.....37
Tabla 3. Tratamientos aplicados en el proceso de tratamiento de aguas residuales.....44
Tabla 4. Modelo de tabla de análisis de varianza (ANOVA) 56
Tabla 5. Características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual doméstica de Moquegua.....58
Tabla 6. Análisis de varianza del pH de las aguas residuales tratadas....59
Tabla 7. Eficiencia de los tratamientos en el pH de las aguas residuales tratadas.....59
Tabla 8. Análisis de varianza de la conductividad eléctrica de las aguas residuales tratadas.....60
Tabla 9. Prueba de rango múltiple de Tukey (p <0,05) para la conductividad eléctrica de las aguas residuales tratadas 61
Tabla 10. Eficiencia de los tratamientos en la conductividad eléctrica de las aguas residuales tratadas.....62
Tabla 11. Análisis de varianza de la turbidez de las aguas residuales tratadas.....62
Tabla 12. Prueba de rango múltiple de Tukey (p <0,05) para la turbidez de las aguas residuales tratadas.....63
Tabla 13. Eficiencia de los tratamientos en la turbidez de las aguas residuales tratadas.....64
Tabla 14. Análisis de varianza de la DBO de las aguas residuales tratadas.....64

Tabla 15. Prueba de rango múltiple de Tukey (p <0,05) para la DBO de las aguas residuales tratadas.....65
Tabla 16. Eficiencia de los tratamientos en DBO de las aguas residuales tratadas.....66
Tabla 17. Análisis de varianza de la DQO de las aguas residuales tratadas.....67
Tabla 18. Prueba de rango múltiple de Tukey (p <0,05) para la DQO de las aguas residuales tratadas.....67
Tabla 19. Eficiencia de los tratamientos en la DQO de las aguas residuales tratadas.....68
Tabla 20. Análisis de varianza de los coliformes totales por tratamiento de las aguas residuales tratadas.....69
Tabla 21. Prueba de rango múltiple de Tukey (p <0,05) para los coliformes totales de las aguas residuales tratadas 70
Tabla 22. Eficiencia de los tratamientos en los coliformes totales de las aguas residuales tratadas.....70
Tabla 23. Análisis de varianza de los coliformes fecales de las aguas residuales tratadas.....71
Tabla 24. Prueba de rango múltiple de Tukey (p <0,05) para los coliformes fecales de las aguas residuales tratadas 72
Tabla 25. Eficiencia de los tratamientos en los coliformes fecales de las aguas residuales tratadas.....73
Tabla 26. Análisis de varianza del contenido de cenizas en la totora y el junco.....74
Tabla 27. Prueba de rango múltiple de Tukey (p <0,05) para el tipo de macrófita.....74
Tabla 28. Prueba de rango múltiple de Tukey (p <0,05) para el tiempo de medición 75

Tabla 29. Prueba de rango múltiple de Tukey (p <0,05) para el contenido de ceniza según la interacción del tipo de macrófita y el tiempo de medición 76
Tabla 30. Comparación de los resultados del agua tratada con los LMP 92

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas.....42
Figura 2. Principales etapas en el desarrollo del experimento 45
Figura 3. Recolección del agua residual doméstica canal PTAR Omo.108
Figura 4. Análisis del agua residual doméstica 109
Figura 5. Recolección de macrófitas 109
Figura 6. Construcción de los sistemas de humedales (tratamientos)...110
Figura 7. Sistemas de humedales (tratamientos) con el agua residual doméstica 110
Figura 8. Muestreo del agua tratada de los sistemas de humedales (tratamientos).....111

ÍNDICE DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1. Matriz de consistencia.....107

Anexo 2. Panel fotográfico del trabajo experimental 108

Anexo 3. Informe de análisis de laboratorio 113

RESUMEN

El presente estudio evaluó la eficiencia de la totora y el junco para el tratamiento de aguas residuales domésticas en Moquegua. Se analizaron las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual antes y después del tratamiento con ambas plantas acuáticas. Se determinó la eficiencia de remoción de DBO_5, DQO, pH, conductividad eléctrica, turbidez, coliformes totales y fecales. Se analizó el contenido de cenizas en las plantas antes y después del tratamiento. Los resultados indicaron que la totora destaca en la reducción de DBO_5 y DQO, mientras que el junco sobresale en la disminución de la conductividad eléctrica, así mismo, ambas plantas mostraron un efecto similar en el pH, la turbidez y la eliminación de coliformes. En cuanto al contenido de cenizas de la totora y junco se observó un aumento después del tratamiento. En conclusión, la totora y el junco son eficientes en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados, cumpliendo con la normativa para descarga de aguas residuales.

Palabras clave: Agua residual doméstica, eficiencia, humedal, junco, totora.

ABSTRACT

The present study evaluated the efficiency of cattails and reeds for the treatment of domestic wastewater in Moquegua. The physicochemical and microbiological characteristics of the wastewater were analyzed before and after treatment with both aquatic plants. The removal efficiency of BOD_5, COD, pH, electrical conductivity, turbidity, total and fecal coliforms was determined. The ash content in the plants was analyzed before and after treatment. The results indicated that the cattail stands out in the reduction of BOD_5 and COD, while the reed stands out in the reduction of electrical conductivity. Likewise, both plants showed a similar effect on pH, turbidity and the elimination of coliforms. Regarding the ash content of the cattail and reed, an increase was observed after treatment. In conclusion, cattails and reeds are efficient in removing the physicochemical and microbiological parameters evaluated, complying with the regulations for wastewater discharge.

Keywords: Domestic wastewater, efficiency, wetland, rush, totora.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el crecimiento demográfico y la creciente demanda de agua han ocasionado un preocupante incremento en la contaminación y la degradación de la calidad del recurso hídrico. Esta problemática ha generado desafíos significativos para un número creciente de personas, tanto en términos de acceso a agua potable segura como en la correcta gestión de las aguas residuales generadas por las actividades humanas. En el caso específico del Perú, se estima que aproximadamente el 30,6 % de las aguas residuales domésticas se vierten directamente en cuerpos de agua cercanos sin recibir ningún tipo de tratamiento previo (SUNASS, 2022). Esta práctica irresponsable tiene un impacto negativo significativo tanto en el ambiente, como en la salud de las personas.

Es de vital importancia tomar medidas preventivas para evitar la contaminación de los ecosistemas a causa de las aguas residuales domésticas, con el objetivo de asegurar un futuro sostenible para las próximas generaciones. En la actualidad, el costo asociado a la purificación de cuerpos de agua está en constante aumento debido al uso intensivo de productos químicos y servicios requeridos en los procesos de tratamiento fisicoquímico convencionales (Ancalle y Ledesma, 2020). Por lo tanto, se

hace imperativo desarrollar tecnologías alternativas de bajo costo y eficientes en el consumo de energía para abordar este desafío.

En este sentido, se ha prestado mucha atención recientemente a la utilización del sistema de humedales como la forma natural de tratar las aguas residuales domésticas antes de verterlas en los cuerpos de agua (Hernández y Vargas, 2021). Este sistema es una alternativa de solución apta para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Esta tecnología se caracteriza por tener bajos costos de capital y mantenimiento, ejemplifica grandes eficiencias en términos de eliminación de contaminantes y se considera la tecnología más respetuosa con el ambiente (Mellado, 2018). El concepto principal es imitar la condición natural de los humedales en el ambiente, lo que implica el complejo tratamiento físico y bioquímico del suelo, las plantas mismas y también los microorganismos que viven en la rizosfera de la planta (Baldeón et al., 2017).

En la actualidad, los humedales artificiales han ganado reconocimiento a nivel global debido a su capacidad altamente efectiva para eliminar tanto contaminantes orgánicos como inorgánicos, logrando como resultado efluentes con una baja carga de contaminantes (Cubas y Mireles, 2020). Esta eficacia se atribuye a su capacidad de operar sin

necesidad de consumir energía, así como a su capacidad para minimizar la emisión de olores desagradables. Además, su presencia estética y su enfoque sostenible los convierten en una opción cada vez más atractiva y principalmente sustentable (Yáñez, 2018).

En la región de Moquegua, existe una limitada implementación de sistemas efectivos de tratamiento de aguas residuales (Morocco y Paye, 2022). Algunas áreas carecen de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para uso doméstico, mientras que otras se encuentran en proceso de construcción. Aunque algunas PTAR ya están establecidas, aún no están operativas. Por otro lado, en otras partes de la región, las PTAR se encuentran fuera de servicio debido a problemas de gestión y mantenimiento inadecuados, lo que ha llevado a un funcionamiento deficiente y a una baja calidad del agua tratada. En general, el tratamiento aplicado resulta ineficiente e insuficiente.

Entre las especies de plantas acuáticas utilizadas en los sistemas de humedales, se pueden mencionar el junco (*Juncus effusus*) y la totora (*Schoenoplectus californicus*). Aunque no se trata de un enfoque novedoso, estas plantas han demostrado tener diversas aplicaciones exitosas en experiencias previas (Cubas y Mireles, 2020; Guevara y Eduardo, 2022). Además, es importante destacar que estas especies se encuentran de

manera natural en la zona de Moquegua, lo que las convierte en opciones viables y prometedoras para la solución de la problemática del tratamiento de las aguas residuales domesticas de Moquegua.

En vista de todos los factores, el objetivo principal de esta investigación es evaluar la eficiencia de la totora (*Schoenoplectus californicus*) y el junco (*Juncus effusus*) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en Moquegua.

En el Capítulo I se presenta el planteamiento del problema, formulación del problema, justificación, alcances y limitaciones. En el Capítulo II se exponen los objetivos y variables. En el Capítulo III se muestran los antecedentes del estudio, bases teóricas y definición de términos. En el Capítulo IV se introduce el marco metodológico donde se muestra el tipo de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos. El Capítulo V presenta los resultados obtenidos y se incluye una discusión comparativa con otros autores relevantes. Además, se presentan las conclusiones, las recomendaciones, las referencias bibliográficas y, por último, los anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La contaminación de aguas en la actualidad representa uno de los más grandes problemas ambientales en el contexto global, esto como fruto de la globalización, el desarrollo poblacional, la urbanización e industrialización. Las aguas residuales domésticas cuando se combinan con los cuerpos receptores incrementan las concentraciones normales de materia orgánica, demanda biológica de oxígeno, incluso microorganismos que pueden generar enfermedades. En el Perú en el año 2020 se descargó 246 714 334 m^3 de aguas residuales domésticas que no tienen un tratamiento primario o secundario, de este valor, el 3 456 920 m^3 pertenece a la ciudad de Moquegua (SINIA, 2021).

Como medida mitigadora está el uso de tecnologías convencionales, empleado mayormente en los países de primer mundo. Estas tecnologías son eficientes, pero por lo general tiene un elevado costo de instalación y mantenimiento, por ello es importante innovar con nuevas tecnologías con un costo menor para mejorar la calidad de vida de las personas y el ambiente (Ajalin et al., 2020).

Dentro de estas nuevas tecnologías tenemos la fitorremediación en el que se usan las macrófitas acuáticas, a pesar que muchas veces las consideran una plaga debido a un acelerado crecimiento y reproducción, incluso pueden afectar lagunas (Lahiguera, 2016); pero si a las macrófitas se les brinda un correcto manejo, pude ser utilizado como una herramienta para el tratamiento de aguas residuales gracias a su capacidad de proliferación y de bioacumulación de contaminantes como metales pesados, contenido de material orgánico, entre otros (Morocco y Paye, 2022).

De tal manera bajo lo señalado, la presente investigación se enfocó en abordar la problemática del tratamiento de aguas residuales domésticas en Moquegua, donde la planta de tratamiento actual no logra abastecer la demanda y no cumple con los estándares de calidad requeridos para el agua tratada. En vista de la proliferación natural de plantas macrófitas como la totora y el junco en la zona de Moquegua, esta investigación propone evaluar la viabilidad de utilizar estas plantas como una solución alternativa. Se busca determinar la eficiencia de la totora y el junco en la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales, y así ofrecer una propuesta de tratamiento más sostenible y efectiva para abordar esta problemática.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Formulación del problema general

¿Cuál es la eficiencia la totora (*Schoenoplectus californicus*) y el junco (*Juncus effusus*) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en Moquegua?

1.2.2 Formulación de los problemas específicos

¿Qué características fisicoquímicas y microbiológicas presenta el agua residual doméstica de Moquegua?

¿Cuál es el efecto de la totora (*Schoenoplectus californicus*) y junco (*Juncus effusus*) sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual tratada?

¿Cuál es el contenido de cenizas en la totora (*Schoenoplectus californicus*) y el junco (*Juncus effusus*) antes y después del tratamiento de las aguas residuales?

1.3 Delimitación de la investigación

1.3.1 Delimitación temporal

El tratamiento de las aguas residuales domésticas se llevó a cabo por 30 días. Previamente los humedales tuvieron un periodo de adaptación de 2 meses. En cuanto a los análisis de las propiedades fisicoquímicas realizas en laboratorio tuvo una duración de 15 días.

1.3.2 Delimitación espacial

El muestreo y tratamiento de las aguas residuales domésticas se realizó en la región de Moquegua, provincia de Mariscal Nieto, distrito de San Antonio.

1.3.3 Delimitación teórica

El presente estudio se enfatizó en el tratamiento de aguas residuales domésticas de Moquegua empleando totora (*Schoenoplectus californicus*) y junco (*Juncus effusus*) para demostrar su eficiencia.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación ambiental

Desde el punto de vista ambiental local, el tratamiento adecuado de las aguas residuales domésticas es esencial para preservar la calidad de los recursos hídricos y la protección del ecosistema acuático. Al emplear la totora y el junco como plantas de tratamiento, se busca utilizar un enfoque natural y sostenible que permita eliminar los contaminantes presentes en el agua residual, evitando así la contaminación de ríos, lagos u otros cuerpos de agua cercanos.

1.4.2 Justificación económica

Desde el punto de vista económico, los sistemas de tratamiento convencionales a menudo requieren una inversión inicial significativa en infraestructura, equipos y productos químicos. En contraste, el uso de totora y junco como plantas de tratamiento puede ser una opción de menor costo en términos de capital. Estas plantas se pueden encontrar localmente y su implementación no implica la adquisición de tecnologías costosas, lo que reduce la inversión inicial requerida. Además, estas plantas son resistentes y requieren menos mantenimiento y servicios técnicos especializados en comparación con los sistemas tradicionales. Esto puede

llevar a un ahorro significativo a largo plazo, especialmente en áreas con recursos financieros limitados como Moquegua.

1.4.3 Justificación social

Desde el punto de vista social, el tratamiento adecuado de las aguas residuales domésticas es fundamental para proteger la salud de la población. Al demostrar la eficiencia de la totora y el junco en el tratamiento de aguas residuales, se contribuye a reducir los riesgos para la salud asociados con la exposición a contaminantes presentes en el agua no tratada. Esto puede disminuir la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua y mejorar la calidad de vida de la comunidad de Moquegua.

1.5 Limitaciones

Durante el desarrollo de la investigación, se encontró una limitación relacionada con la disponibilidad de análisis de laboratorio de manera inmediata. Esto generó ciertas restricciones en la obtención de resultados en tiempo real y pudo afectar la continuidad y la rapidez del proceso de evaluación. Sin embargo, se implementaron medidas para minimizar este inconveniente, como la planificación anticipada de los análisis y la búsqueda de alternativas para obtener los resultados necesarios en el menor tiempo posible.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

Evaluar la eficiencia de la totora (*Schoenoplectus californicus*) y el junco (*Juncus effusus*) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en Moquegua.

2.1.2 Objetivos específicos

Analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual doméstica de Moquegua.

Evaluar el efecto del uso de la totora (*Schoenoplectus californicus*) y junco (*Juncus effusus*) sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual tratada.

Determinar el contenido de cenizas en la totora (*Schoenoplectus californicus*) y el junco (*Juncus effusus*) antes y después del tratamiento de las aguas residuales.

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis general

La totora (*Schoenoplectus californicus*) y el junco (*Juncus effusus*) son eficientes en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en Moquegua.

2.2.2 Hipótesis específicas

El análisis fisicoquímico y microbiológico del agua residual doméstica de Moquegua permite determinar sus características.

La totora (*Schoenoplectus californicus*) y junco (*Juncus effusus*) tienen efecto sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual tratada.

El contenido de cenizas en la totora (*Schoenoplectus californicus*) y el junco (*Juncus effusus*) es distinto antes y después del tratamiento de las aguas residuales domesticas de Moquegua.

2.3 Variables

2.3.1 Variable independiente

Las variables independientes fueron: “totora (*Schoenoplectus californicus*)” y “junco (*Juncus effusus*)”.

2.3.2 Variable dependiente

La variable independiente fue: “Eficiencia” y “Ceniza del junco y la totora”.

2.3.3 Operalización de variables

En la tabla 1 se mencionan las variables, dimensiones e indicadores.

Tabla 1

Operacionalización de las variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida
Independiente			
Totora	Cantidad	Número	Unidad
Junco	Cantidad	Número	Unidad
Dependiente	Fisicoquímica	pH	Unidades pH
		Conductividad eléctrica	µS/cm
		Turbidez	NTU
Eficiencia		DBO_5	mg/l
		DQO	mg/l
	Microbiológica	Coliformes totales	NMP/100 ml
		Coliformes fecales	NMP/100 ml
Cenizas de la totora y el junco	Junco	Contenido de cenizas	%
	Totora	Contenido de cenizas	%

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1 Antecedentes bibliográficos

Con respecto al primer objetivo específico: Analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual doméstica de Moquegua.

En la investigación realizada por Cáceres et al. (2021), se encontró que el agua residual doméstica que ingresaba a la PTAR Omo presentaba los siguientes características fisicoquímicas y microbiológicas: un pH de 7,38, una concentración de sólidos suspendidos totales de 99,00 mg/l, una turbidez de 143 NTU, una demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) de 188,13 mg/l y una concentración de coliformes termotolerantes (fecales) de 2,4 x 10^7 NMP/100 ml.

En la investigación llevada a cabo por Mamani y Ccorimanya (2021), se registró que el agua residual que ingresaba a la PTAR Huaytire II presentaba las siguientes características: un pH de 7,4, una concentración de sólidos suspendidos totales de 102 mg/l, una demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) de 372 mg/l, una demanda química de oxígeno (DQO) de 471 mg/l y una concentración de coliformes termotolerantes de 1,7 x 10^7 NMP/100 ml.

En el estudio realizado por Reyes (2020), se reveló las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual doméstica que ingresaba a la PTAR de Caylloma. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: el pH se situó en 6,5, la concentración de sólidos suspendidos totales fue de 134 mg/l, una turbidez de 119 NTU, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) alcanzó los 159 mg/l, la demanda química de oxígeno (DQO) se encontró en 294 mg/l y la concentración de coliformes fecales fue de 4,6 $x10^6$ NMP/100 ml.

En el estudio realizado por Ancalle y Ledesma (2020), reportaron que el agua residual que ingresaba a la PTAR de Yauli presentaba las siguientes características: un pH de 7,83, una turbidez de 120 NTU, una concentración de sólidos suspendidos totales de 400 mg/l, una demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) de 774,3 mg/l, una demanda química de oxígeno (DQO) de 168 mg/l y una concentración de coliformes termotolerantes (fecales) de 1,56 x 10^4 NMP/100 ml.

En la investigación llevada a cabo por Diaz (2018), sobre las aguas residuales domésticas que ingresaban y salían de la PTAR San José, el control de los parámetros del afluente arrojó los siguientes valores: un pH de 8,39, una conductividad eléctrica de 438,3 µS/cm, una concentración de sólidos suspendidos totales de 21,35 mg/l, una demanda bioquímica de

oxígeno (DBO_5) de 65,15 mg/l, una concentración de coliformes totales de 2,42 $x10^5$ NMP/100 ml y coliformes fecales de 2,41 $x10^4$ NMP/100 ml.

En el estudio llevado a cabo por Quispe (2017), se reportó que el agua residual doméstica que ingresaba a la PTAR Omo presentaba las siguientes características: un pH de 7,8, una turbidez de 210 NTU, una conductividad eléctrica de 721 µS/cm, una concentración de sólidos suspendidos totales de 194,9 mg/l, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) se situó en 270,3 mg/l, la demanda química de oxígeno (DQO) alcanzó los 613,3 mg/l. Asimismo, se encontró una concentración de coliformes totales de 1,7 x 10^6 NMP/100 ml y de coliformes fecales de 3,3 x 10^7 NMP/100 ml.

Hancco, (2020) realizo un monitoreo de la PTAR Omo durante los meses de abril, agosto y diciembre donde hallo, variaciones en los parámetros que evaluó, atribuyéndolos a la influencia de las condiciones climáticas, debido a que en el mes de diciembre hay precipitaciones que pueden arrastrar materiales coloidales, sedimentos, arena, entre otros componentes.

Con respecto al segundo objetivo específico: Determinar la eficiencia al emplear la totora (*Schoenoplectus californicus*) y junco (*Juncus effusus*)

sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual tratada.

Sánchez et al. (2021) evaluó la eficiencia de humedales artificiales de *Shoenoplectus californicus* (totora) y *Nasturtion officinale* (berros) sobre los contaminantes de efluentes de granja de porcinos en Huancavelica. Los resultados revelaron que la planta de totora logró una remoción del 78,88 % en términos de DQO, una reducción del 36,55 % en la conductividad eléctrica y un incremento del 9,19 % en el pH, llevándolo de un nivel ácido a valores más neutros. Estos resultados fueron similares a los obtenidos con la planta de berros, lo que indicó que ambas plantas eran adecuadas para el tratamiento de efluentes de granjas porcinas.

En el estudio de Muñoz y Vasquez (2020), se estudió la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales de cinco especies de macrófitas. Los resultados demostraron que el junco se destacó por su alta eficiencia en la remoción de diferentes parámetros, alcanzando porcentajes de remoción que oscilaron entre el 74,13 % y el 81,67 % para DBO_5, DQO y coliformes termotolerantes.

La investigación de Bustamante y Pérez (2019), se centró en evaluar la eficacia de las especies de junco y vetiver en la eliminación de contaminantes presentes en aguas residuales municipales en el distrito de

Saposoa. Los resultados mostraron que el junco tuvo una eficiencia de remoción del 64 % en la DBO_5 y 62 % en la DQO, una eficiencia de remoción de los sólidos suspendidos totales del 89 % y mantuvo el pH del agua residual en un valor de 7.

En la investigación de Mellado (2018), se determinó las eficiencias de tres especies macrófitas siendo H1: *Typha domingensis* (totora), H2: *Phragmites australis* (carricillo) y H3: *Schoenoplectus americanus* (junco) para el tratamiento de las aguas residuales. Los resultados mostraron que hubo una variación mínima en el pH en los tres sistemas, apenas un 1,05 %. En cuanto a la remoción de contaminantes, se obtuvo una eficiencia del 86,7 % en DBO_5 para H1, 83,4 % para H2 y 87 % para H3. Para DQO, se alcanzó una eficiencia del 70,37 % para H1, 72,85 % para H2 y 70,12 % para H3. En cuanto a los sólidos totales suspendidos, se logró una eficiencia del 95,47 % para H1, 96,51 % para H2 y 96,70 % para H3. Sin embargo, se observó un aumento en la conductividad eléctrica del 13,78 % y 9,85 % para H1 y H2, respectivamente, y solamente hubo una reducción del 2,13 % para H3.

En el estudio de Coaquira (2018), se evaluó la eficacia de un sistema de humedales artificiales de flujo sub-superficial utilizando la especie totora (*Schoenoplectus californicus*) en el tratamiento de aguas residuales

domésticas en la comunidad de San Antonio de Chujura. Los resultados revelaron que la totora demostró altas tasas de remoción de contaminantes, con un 80 % de la DBO_5, un 64,6 % de la DQO y un 60,2 % de remoción de sólidos totales suspendidos. Además, se observó una disminución del 24,41 % en el pH, pasando de niveles alcalinos a una tendencia más ácida.

La investigación de Rubio y Montenegro (2018), se centró en evaluar la eficiencia de la planta de junco para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la 3ra Brigada de Fuerzas Especiales. Los resultados obtenidos indicaron que el junco logró una reducción del pH del 18,66 %, mientras que para el parámetro de turbidez logro una reducción del 75%, una disminución de la conductividad eléctrica del 48,23 %, una eficiencia de remoción de los sólidos suspendidos totales del 50,07 %, una reducción de la DBO_5 del 98,15 % y una disminución de coliformes fecales del 32,24 %.

El estudio llevado a cabo por Guerra (2022), evaluó la eficiencia de un humedal artificial que utiliza tamices flotantes y la especie de totora (*Scirpus Californicus*) en el proceso de depuración de aguas residuales municipales. Los resultados mostraron que este sistema logró una alta eficiencia en la remoción de contaminantes, con un porcentaje de eliminación del 51,57 % en sólidos suspendidos totales, 68,39 % en DBO_5,

61,15 % en DQO, 97,8 % en turbidez y 99,93 % en coliformes termotolerantes.

En la investigación de Guevara y Vasquez (2022), se realizó el tratamiento de aguas servidas a través del cultivo de plantas de junco en el distrito de San Pablo. Los resultados revelaron un incremento del 18,42 % en los niveles de oxígeno disuelto, una disminución significativa del 61,33 % en la turbidez del agua, una notable reducción del 69,77 % en la presencia de coliformes termotolerantes y una disminución del 62,86 % en los niveles de *E. coli*. Estos hallazgos demuestran claramente que el cultivo de plantas de junco tuvo un impacto positivo en las propiedades de los parámetros mencionados.

En la investigación de Hernández y Vargas (2021), se comparó la eficiencia de las especies *Schoenoplectus californicus* (totora) y *Phragmites australis* (carrizo) utilizando diseños de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Los resultados obtenidos con la especie totora mostraron una alta eficacia en la remoción de contaminantes. Se observó una remoción del 87,38 % en la DBO_5, del 81,53 % en los sólidos suspendidos totales y del 91,91 % para los coliformes termotolerantes. Además, se registró una disminución del 6,63 % en el pH, pasando de niveles alcalinos a rangos neutros.

El estudio realizado por Cubas y Mireles (2020), se enfocó en investigar la eficacia de un humedal artificial con totora para purificar los efluentes de las lagunas de estabilización en el C.P. La Otra Banda. Los resultados revelaron una notable reducción en los parámetros microbiológicos, específicamente en los coliformes totales, donde se observó una disminución de 3,3 x 10^4 NMP/100 ml a niveles inferiores a 1,8 NMP/100 mL. Del mismo modo, los coliformes fecales también experimentaron una reducción significativa de 3,1 x 10^4 NMP/100 ml a niveles inferiores a 1,8 NMP/100 mL, lo que implicó una alta reducción de coliformes totales y fecales. No obstante, en relación a los parámetros fisicoquímicos, no se evidenció una reducción significativa en la DBO_5, la cual se mantuvo en su valor inicial. Por otro lado, se registró una disminución del 42,10 % en el DQO y un aumento del 18,29 % en el pH, acercándose a un pH más alcalino que neutro.

En la investigación de Carranza y Plasencia (2018), se llevó a cabo el tratamiento de lixiviados de residuos sólidos de la ciudad de Cajamarca utilizando humedales artificiales de *Juncus balticus Willd* (junco) y *Shoenoplectus californicus* (totora). Los resultados mostraron que el junco redujo el pH en un 5,74 %, logró una eficiencia de remoción del 71,77 % en la conductividad, del 26,87 % en los sólidos totales suspendidos, del 98,78 % en la DQO, del 99,79 % en coliformes termotolerantes y un

aumento del 1,01 % en la DBO_5. Por otro lado, la totora aumentó el pH en un 0,93 %, tuvo una eficiencia de remoción del 23,53 % en la conductividad, del 26,87 % en los sólidos totales suspendidos, del 75,04 % en la DQO, del 82,41 % en la DBO_5 y del 99,78 % en coliformes termotolerantes.

Con respecto al tercer objetivo específico: Determinar el porcentaje de cenizas en la raíz y el tallo de la totora (*Schoenoplectus californicus*) y junco (*Juncus effusus*) antes y después del tratamiento de aguas residuales.

El estudio llevado a cabo por Gonzales (2018), se basó en hallar la influencia de la totora y la putacca en la fitoestabilización de los depósitos de relaves mineros pertenecientes a la Compañía Minera Tambo del Cóndor S.R.L – Ayacucho -2017. Los resultados de esta investigación revelaron que hubo un incremento en el contenido de cenizas en la totora desde un 8,869 % a un 9,201 % mientras que la putacca incremento desde un 8,790 % a un 9,043 %.

En la investigación de Mier y Noruega (2017), abarcaron la descomposición de totora (*Schoenoplectus californicus*) y su posterior efecto como abono orgánico resultante para producir lechuga (*Lactuca sativa*). Se analizó las cenizas de la totora seca obteniendo un porcentaje de 12,18 % para ello se empleó la raíz y el tallo de la totora, mientras que

al realizar la determinación de cenizas en totora fresca obtuvo un 64,78 % de cenizas.

Luna (2014) evaluó la determinación de cenizas utilizando totora y maca para ello realizo un análisis de las dos especies, obteniendo un porcentaje de 89,32 % en contenido de cenizas para la totora fresca. También encontró una coloración rojiza y marrón en las cenizas indicando que este color se da por la presencia de cobre, por ello se torna rojizo y el hierro le da una tonalidad marrón.

En la investigación hecha por Wiessner et al. (2013) se evaluó la remoción de amonio y la transpiración de *Juncus effusus* en el tratamiento de aguas residuales artificiales mediante un humedal a escala obteniendo como indicador el incremento del 8, 63 % de las cenizas del junco después de la experimentación.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Aguas residuales

Son una combinación de líquidos y residuos de agua que tienen su origen en los edificios comerciales, instituciones y fábricas incluyendo agua subterránea, agua superficial o agua de lluvia (Poveda, 2014).

3.2.1.1 Clasificación de aguas residuales

a. Aguas blancas o de lluvia

Son agua en alcantarillas o escorrentías superficiales, tiene las características de gran entrada intermitente y baja contaminación (Gomez, 2017).

b. Aguas residuales domésticas

Son desechos de origen residencial y comercial, que contienen desechos fisiológicos causados por actividades humanas, y deben disponerse adecuadamente (Andrade, 2020).

c. Aguas residuales industriales

Son aquellas aguas que surgen del desarrollo de diferentes procesos de producción, incluidos los de la minería, agricultura, energía, actividades agroindustriales, entre otras (Nuñez et al. 2019).

d. Aguas municipales

Son las aguas residuales que se originan al mezclarse las aguas pluviales con aguas residuales que de tipo industrial, esta mezcla de aguas residuales son dirigidos hacia el alcantarillado (Quintero, 2014).

3.2.1.2 Constituyentes del agua residual doméstica

Los componentes que se hallan en las aguas residuales se pueden clasificar en biológicos, físicos y químicos. Las sustancias que comprenden las aguas residuales domésticas pueden ser: los compuestos orgánicos que pueden degradarse, los sólidos en suspensión, y algunos microorganismos patógenos. Antes de considerar las características biológicas, químicas y físicas de las aguas residuales, conviene comprender brevemente los procedimientos que son usados para realizar la correcta caracterización de las aguas residuales (Gamboa, 2017).

3.2.2 Sistema de tratamiento de aguas residuales

Tal como indica la Agencia de Protección Ambiental (EPA), el proceso involucrado para tratar las aguas residuales está constituido por las siguientes etapas.

3.2.2.1 Recolección de las aguas residuales

En lugares donde existe un constante incremento en la población y si la topografía del terreno lo permiten pueden recolectarse a través del alcantarillado (Ancalle y Ledesma, 2020).

3.2.2.2 Pre tratamiento de las aguas residuales

Consiste en retirar los grandes trozos de sólidos, mayormente se realiza usando estanques hechos con grava. El propósito es utilizar la grava como material que retenga los grandes solidos (Diaz, 2018).

3.2.2.3 Tratamiento de las aguas residuales

El propósito de este proceso es remover los aceites, las grasas, pequeños sólidos en suspensión y otras sustancias flotantes o depositables con el fin de que las aguas residuales puedan tratarse adecuadamente, ser reusadas o vertidas de manera efectiva sin ningún riesgo de alterar el ambiente (Mamani y Ccorimanya, 2021).

3.2.2.4 Tratamiento primario

Este tratamiento consiste en eliminar una parte de los sólidos que se encuentran suspensión y parte de la materia orgánica. Generalmente en este proceso se utiliza filtros y tamices. Las aguas residuales luego del

procedimiento primario tienen una gran cantidad de materia orgánica y alta DBO_5. Debemos señalar que el tratamiento primario es uno de los métodos más usados en el tratamiento de aguas residuales en muchos lugares (Rubio y Montenegro, 2018).

3.2.2.5 Tratamiento secundario convencional

Este tratamiento tiene como principal objetivo la eliminar los compuestos orgánicos biodegradables. El tratamiento secundario de aguas residuales combina diferentes procesos para eliminar estos compuestos orgánicos, incluyendo el tratamiento biológico mediante fangos activados, lagunas, sedimentos y reactores de lecho fijo (Guerra, 2022).

3.2.2.6 Tratamiento biológico

Gamboa (2017) menciona que la base del tratamiento biológico es producir una corriente de aguas residuales controlable, en la que las actividades microbianas y las plantas macrófitas trabajan juntas en el proceso de purificación del agua, reduciendo así los contaminantes. Dentro del tratamiento biológico están incluidos los siguientes tipos: laguna, humedal y acuicultura.

3.2.3 Sistema de plantas acuáticas flotantes

Los sistemas de acuicultura o plantas acuáticas que flotan son una variante de los humedales artificiales donde el agua está en contacto con el aire y compone la principal fuente de oxígeno para la ventilación. García y Urbina (2020) introdujeron el cultivo de fitoplancton, así como la totora, lenteja de agua y junco, con la finalidad de eliminar ciertos componentes del agua residual utilizando sus raíces para absorberlos, estas plantas utilizan estos componentes de las aguas residuales como un sustrato para su procesamiento. Una de las desventajas que presenta este sistema es la reproducción de larvas e insectos, además de generar malos olores.

Con el fin de mejorar el manejo y asegurar las condiciones aeróbicas para conservar el control biológico de los mosquitos, se utilizan sistemas de aireación suplementarios en este caso el fitoplancton (Lahiguera, 2016).

El sistema utiliza plantas acuáticas como *Eichhornia crassipes* para proporcionar un tratamiento secundario (Poveda, 2014). Estos sistemas se han utilizado como métodos de creación de proteínas que producen ingentes cantidades de biomasa. En las últimas décadas, el tratamiento de aguas residuales a través de estanques de macrófitas han generado interés gracias a su potencial de depuración. Algunos de estos sistemas tienen que brindar un método de tratamiento integral que no solo pueda eliminar

eficazmente los sólidos en suspensión y el material orgánico, también reduzca los nutrientes, las sales disueltas, los metales pesados y los patógenos (Coronel, 2016).

3.2.3.1 Clases de plantas acuáticas

Las plantas acuáticas se refieren a plantas cuyas raíces requieren mucha agua para sobrevivir, crecen en un medio muy húmedo y totalmente sumergido, sus requerimientos nutricionales son básicamente los mismos que las plantas de tierra, se pueden dividir en macrófitas flotantes, sumergidas y de emergentes (Velazquez et al. 2014).

3.2.3.2 Macrófitas emergentes

Son aquellas que tienen partes compuestas en la parte superficial y sus raíces se desarrollan hasta la parte inferior del humedal (Sandoval, 2019). Estas raíces no solo extraen nutrientes del agua, también sirven como una matriz para las bacterias y un sistema de adsorción para los sólidos en suspensión. Pueden evitar que la luz penetre y así evitan que las algas crezcan en profundidad (Nuñez et al. 2019).

3.2.3.3 Totora (*Schoenoplectus californicus*)

La totora es una especie herbácea perenne, es capaz de adaptarse a diversos medios especialmente en el agua, puede sobrevivir desde los 0

a 4 000 msnm. Pertenece a la familia de las ciperáceas, generalmente está en toda América del Sur. Con una altura de 1 a 3 m y un tiempo de vida aproximado de 2 años (Vargas, 2021).

Esta planta es capaz de obtener los nutrientes necesarios para el metabolismo, dentro de los más importantes son el nitrógeno y el fósforo que está presente en elevadas cantidades en las aguas residuales. Tienen un sistema radicular, el cual esta relacionado con microorganismos beneficiosos para la depuración de plantas acuáticas, además de ello esta planta es capaz de retener metales pesados (plomo, mercurio cadmio, entre otros) en el tejido (Solas, 2014). También tiene la capacidad de eliminar compuestos orgánicos, tales como fenoles, pesticidas, pigmentos, ácidos lácticos, etc. Estas plantas pueden reducir la DBO_5 (demanda biológica de oxígeno), la DQO (demanda química de oxígeno) además de los sólidos en suspensión (Vargas, 2021).

3.2.3.4 Junco (*Juncus effusus*)

El junco es una planta herbácea perteneciente a la familia de las juncáceas, tienen una altura que varía entre los 30 a 100 cm con un tallo generalmente liso y erecto, generalmente la encontramos en lugares muy húmedos con suelos silíceos. Crece en regiones templadas y frías, se han extendido ampliamente por América del Sur (Guevara y Eduardo, 2022).

Las juncáceas se han usado para depurar aguas residuales ya que pueden absorber el fosforo y agua presente en las aguas residuales y reducir los niveles de contaminación. Absorben los nutrientes de las aguas residuales cuando se recogen y reciclan de los estanques. Diversas investigaciones demostraron que tiene la capacidad de extraer rápidamente ciertos metales como el zinc del agua, el manganeso y el hierro. Y eliminan el potasio, fosforo y nitrógeno presente en las aguas residuales (Coronel, 2016).

3.2.4 Parámetros fisicoquímicos

3.2.4.1 pH

El pH se determina mediante la concentración de iones de hidrógeno presentes en la solución. Generalmente, para su medición se emplea el método electroquímico, en la cual se emplea un pHmetro que es un dispositivo que cuenta con unos electrodos sensibles y estos son introducidos dentro de la muestra de agua (Mendoza et al. 2018).

El pH esta influenciado principalmente por la cantidad CO_2 de presente en el agua, el CO_2 es producido por la actividad de microorganismos, mediante un proceso de adhesión a las raíces capturan los microorganismos, disminuyendo su concentración, por ende hay menor

generación de CO_2, de esta forma el pH alcanza la neutralidad (Hernández y Vargas 2021).

3.2.4.2 Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica del agua está relacionada con la concentración de iones disueltos en ella, como sales y minerales. Cuanto mayor sea la concentración de iones, mayor será la conductividad eléctrica. La medición de la conductividad eléctrica se utiliza para evaluar la calidad del agua, ya que puede indicar la presencia de contaminantes o la salinidad del agua (Chumpitaz y Morales, 2022).

Sánchez et al. (2021) indican que las raíces de las macrófitas son capaces de absorber mediante sus tejidos radicales los nutrientes minerales presentes en el agua, de esta manera se disminuye la conductividad eléctrica.

3.2.4.3 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

Este parámetro es un indicador que mide la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en una muestra de agua o efluente. Representa la carga orgánica biodegradable y es utilizada para evaluar la calidad del agua y la eficiencia de los procesos de tratamiento. La DBO_5 se expresa generalmente en

miligramos de oxígeno por litro (mg/l) y se determina midiendo la reducción del oxígeno disuelto durante un período de tiempo específico en condiciones controladas (Carreño, 2016).

Las macrófitas transportan el oxígeno de la atmosfera hacia la rizosfera generando un ambiente aireado, favoreciendo el crecimiento de comunidades microbianas, lo que disminuye la demanda química de oxígeno Reyes (2020).

3.2.4.4 Demanda química de oxígeno (DQO)

Es un parámetro utilizado para medir la cantidad de compuestos orgánicos en una muestra de agua o efluente. Representa la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente los compuestos orgánicos presentes. La DQO se utiliza como indicador de la carga contaminante y la cantidad de materia orgánica biodegradable en el agua, lo que ayuda a evaluar la calidad del agua y la eficiencia de los procesos de tratamiento (Rubio y Montenegro, 2018).

La cantidad de DQO presente en el agua está influida por la temperatura, a una temperatura de 33° C hay una mayor demanda que a 20° C, esto se debe a que el consumo de oxígeno disuelto es mayor debido al incremento de la actividad bacteriana por ende hay un mayor consumo de energía (Isea et al., 2015). Las macrófitas son capaces de remover la

materia orgánica y solidos suspendidos debido a que sus raíces actúan como un filtro que captura estos contaminantes, al haber menos materia orgánica en el agua disminuye la actividad bacteriana Mellado (2018).

3.2.4.5 Turbidez

Es la presencia de materias que se encuentran en suspensión, tales como: limos, coloides orgánicos, arena, entre otros microorganismos que dificultan el paso de la luz a través del agua, haciéndola difícil de filtrar o decantar, generalmente se expresa en unidad nefelométrica de turbidez (NTU) (Chumpitaz y Morales, 2022).

Las raíces de las macrófitas actúan como un filtro natural el cual es capaz de capturar las materias en suspensión mediante un mecanismo de adhesión, de esta manera disminuye la turbidez del agua (Amado et al., 2018).

3.2.4.6 Determinación de cenizas

Mediante la determinación de cenizas podemos saber la cantidad total de minerales presentes en una muestra analizando los residuos inorgánicos que quedan luego de la ignición u oxidación completa de la materia orgánica (Mier y Noruega, 2017).

La determinación de cenizas puede presentar un incremento en su concentración debido a que las raíces de las macrófitas son capaces de absorber minerales y usarlos como nutrientes, estos se almacenan en sus tejidos (Gómez et al., 2021).

3.2.5 Parámetros microbiológicos

3.2.5.1 Coliformes totales (CT)

Pertenecen al grupo de bacterias Gram negativo y tiene una forma bacilar, son capaces de fermentar lactosa a una temperatura de 35 a 37 °C produciendo dióxido de carbono (Hidalgo, 2018). En un investigación se observó que a partir de las 96 horas que esta bacteria está presente en el medio ambiente, esta tiende a disminuir su cantidad, el pH óptimo para su desarrollo oscila entre 7 a 7,5, pero pueden soportar desde rangos de 4 a 8,5 (Fernández et al., 2016).

Las macrófitas mediante un mecanismo de adhesión capturan las bacterias y las unen a las raíces actuando como un filtro, contribuyendo de esta manera la disminución de la cantidad de coliformes y otros patógenos presentes en el agua (Carranza y Plasencia 2018).

3.2.5.1 Coliformes fecales (CF)

Los coliformes fecales son un grupo de bacterias que se encuentran en el intestino humano y animal (Coronel, 2016). Su presencia en el agua o alimentos indica contaminación fecal y sugiere la posible presencia de patógenos que pueden causar enfermedades transmitidas por el agua. Son utilizados como indicadores de la calidad microbiológica y la seguridad sanitaria del agua (Hidalgo, 2018).

Las raíces de las macrófitas son capaces de exudar bactericidas, que son tóxicos para los coliformes y otros patógenos presentes, disminuyendo de esta manera su concentración (Fernández et al., 2016).

3.2.6 Normas para descargas de aguas residuales en Perú

Una de las normativas existentes en el Perú es el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, vigentes desde el 17 de marzo del 2010. Esta normativa ambiental nos indica cuales son límites máximos permisibles (LMP) en las aguas generadas después de ser tratadas en las PTAR tanto de origen municipal o doméstico. A continuación, se muestra en la tabla 2 esta normativa para diferentes parámetros.

Tabla 2

Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales

Parámetro	**Unidad**	**Límite máximo permisible**
Aceites y grasas	mg/l	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/l	150
Temperatura	°C	<35

Nota. En la tabla se observan los parámetros medidos para los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, así como sus límites máximos permisibles. Obtenido de D.S No 003-2010-MINAM.

3.3 Definición de términos

3.3.1 Aguas residuales

Están compuestas por una combinación de sustancias orgánicas e inorgánicas en suspensión o disueltas, estas aguas tienen su origen en las diversas actividades humanas (SUNASS, 2022).

3.3.2 Fitorremediación

Es una tratamiento biológico en el cual se usan plantas y microorganismos relacionados para eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales, este es un tratamiento eficaz, con un bajo costo económico y sostenible (Coayla et al. 2018).

3.3.3 Plantas acuáticas

Es importante usarlos porque tienen diferentes capacidades para purificar el agua residual, eliminar nutrientes específicos, oligoelementos y compuestos tóxicos tales como metales pesados. Entre ellas tenemos el carrizo (*Phragmites australis)* (Mendoza et al. 2018), la lechuga de agua (*Pistia stratiotes)* (Darío et al. 2018), y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes),* estas son las más conocidas (Sandoval, 2019).

3.3.4 pH

El pH es una medida que indica el grado de acidez o alcalinidad de una solución Se basa en una escala numérica que va de 0 a 14, donde 7 es considerado neutro. Valores por debajo de 7 indican acidez, mientras que valores por encima de 7 indican alcalinidad (Mendoza et al. 2018).

3.3.5 Conductividad eléctrica (CE)

Es una medida que indica la capacidad de un material, en este caso el agua, para conducir la corriente eléctrica. Se expresa en unidades de conductividad, como microsiemens por centímetro (µS/cm) o milisiemens por centímetro (mS/cm).

3.3.6 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

Este parámetro es un indicador que mide la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en una muestra de agua o efluente (Carreño, 2016).

3.3.7 Demanda química de oxígeno (DQO)

Representa la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente los compuestos orgánicos presentes. La DQO se utiliza como indicador de la carga contaminante y la cantidad de materia orgánica biodegradable en el agua (Rubio y Montenegro, 2018).

3.3.8 Turbidez

Son las partículas en suspensión presentes en el agua, tales como: sedimentos, coloides orgánicos, arena entre otros microorganismos que dificultan el paso de la luz a través del agua (Chumpitaz y Morales, 2022).

3.3.9 Coliformes totales (CT)

Los coliformes totales son un grupo bacteriano que se hallan en aguas superficiales, en el suelo y en el tracto gastrointestinal de algunos animales. Pertenecen al grupo de bacterias Gram negativo y tiene una forma bacilar (Hidalgo, 2018).

3.3.10 Coliformes fecales (CF)

Los coliformes fecales son un grupo de bacterias que se encuentran en el intestino humano y animal (Coronel, 2016). Dentro de este grupo podemos encontrar coliformes de tipo: *Escherichia coli, Klebsiella pneumoniae y Citrobacter freundii* (Fernández et al., 2016)

3.3.11 Determinación de cenizas

Es un proceso por el cual es posible determinar la cantidad total de minerales presentes en una muestra mediante un proceso de ignición u oxidación completa de la materia orgánica (Mier y Noruega, 2017).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y diseño de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

Se utilizó un enfoque de investigación cuantitativa, con el objetivo de cuantificar la recolección y análisis de datos.

4.1.2. Nivel de investigación

La investigación adoptó un enfoque aplicativo, ya que se basó en teorías previamente establecidas con el fin de abordar los objetivos.

4.1.3 Diseño de investigación

Se utilizó un diseño de investigación experimental de tipo experimento puro, en el cual se controlaron todos los factores y se asignaron de manera aleatoria los grupos experimentales.

4.2 Población y muestra de estudio

4.2.1 Población

La población a considerar en el estudio de investigación fue el agua residual doméstica de la provincia de Mariscal Nieto, la cual es gestionada

por la EPS Moquegua S. A. y tiene como ámbito de prestación de los servicios de saneamiento a las localidades de Moquegua, Chen Chen, San Antonio.

Para obtener el agua residual de tipo doméstico, la recolección se realizó en un canal antes del ingreso a la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) Omo, provincia de Mariscal Nieto distrito de San Antonio, la ubicación se observa en la figura 1.

Figura 1

Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas

Nota. Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas.

4.2.2 Muestra

La muestra fue un total de 280 l de aguas residuales de la PTAR de Omo ubicado en el distrito de San Antonio, provincia Mariscal Nieto, región Moquegua.

4.2.3 Muestreo

Para el estudio se realizó un muestreo simple no probabilístico, la muestra tomada fue aproximadamente 1 l de agua residual doméstica recolectada en los envases aforados enviados por el laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L. para poder analizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Adicionalmente se llevó una muestra para analizar en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann en la cual se evaluó los parámetros de pH, conductividad eléctrica, turbidez y el contenido de cenizas.

4.3 Metodología

4.3.1 Diseño estadístico

Con respecto al segundo objetivo específico, se aplicó un diseño completamente aleatorio (DCA) con el propósito de estudiar el efecto de tres factores de influencia en el proceso de tratamiento de aguas

residuales, los cuales son: humedal sin macrófitas emergentes, humedal con *Schoenoplectus californicus*, humedal con *Juncus effusus.*

De tal manera, el DCA fue de 3 tratamientos con 3 repeticiones y se muestreó al inicio de la experimentación y al final. En la tabla 3 se aprecian los tres tratamientos que se realizaron en la investigación.

Tabla 3

Tratamientos aplicados en el proceso de tratamiento de aguas residuales

N° de tratamiento	Componentes (especies)
T0	Humedal sin macrófitas
T1	Humedal con totora (*Schoenoplectus californicus)*
T2	Humedal con junco (*Juncus effusus)*

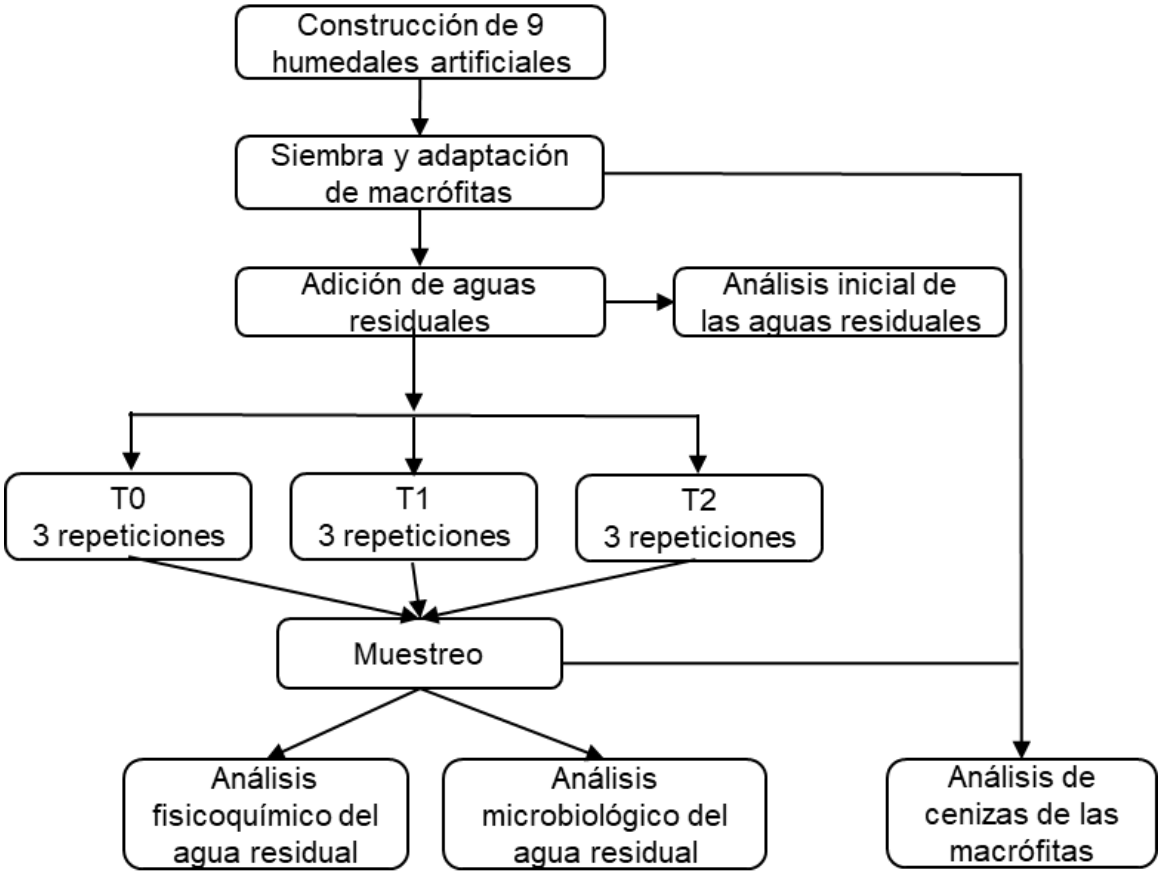
Nota. Elaboración propia.

4.3.2 Procedimiento experimental

Para la realización de la investigación, se llevó a cabo distintas etapas de experimentación para el tratamiento de las aguas residuales domésticas utilizando totora y junco, estas se pueden observar en la figura 2.

Figura 2

Principales etapas en el desarrollo del experimento



4.3.2.1 Construcción de los humedales

Se construyeron los humedales en el distrito de San Antonio, Provincia de Mariscal Nieto, región Moquegua. Se inicio con la elaboración de agujeros en el suelo, con dimensiones de: 70 cm de ancho, 100 cm de largo y 50 cm de profundidad, posteriormente, se procedió a recubrir los agujeros con material de plástico impermeable, luego en su interior, se

agregó una capa de grava de 30 cm, que sirvió como soporte para las raíces de las macrófitas, cabe resaltar que cada pozo tiene en una capacidad de almacenamiento de 30 l de aguas residuales.

4.3.2.2 Recolección de las especies de plantas acuáticas

Las plantas de totora y junco fueron recolectadas en una bandeja de plástico en el rio Osmore, para luego ser trasplantadas a los humedales artificiales, se escogió a los hijuelos más jóvenes y vigorosos siguiendo la metodología de Vargas (2021) quien recomienda que la mejor hora para hacer la extracción es en horas de la mañana.

En la siembra de las macrófitas, se siguió lo recomendado por Bustamante y Pérez (2019) quienes indicaron trasplantar plántulas de más en caso de que no logren adaptarse en su totalidad y agregar un capa de grava de 10 a 30 cm.

4.3.2.3 Instalación de los sistemas

Una vez construidos los humedales, se trasplantaron las macrófitas, y se tuvo un periodo de adaptación de 60 días para que las plantas se adapten al medio y puedan tratar adecuadamente las aguas residuales domésticas. Durante dicho periodo de adaptación las macrófitas fueron regadas con el agua del medio donde se encontraron para que puedan adaptarse y tomar vigorosidad. Esta agua presento los siguientes valores: un pH de 7,1; una conductividad eléctrica de 725 µS/cm y una turbidez de 10.20 NTU. Además de ello se colocó una cubierta protectora de malla raschel para evitar el paso de animales y brindar una cubierta protectora a las macrófitas.

En el periodo de adaptación se trasplantó un total de 35 totoras y 35 juncos haciendo un total del 70 macrófitas. Posterior a este periodo de adaptación, hubo un incremento en la altura de la totora de 10 a 15 cm y desarrollo de nuevas hojas. En el junco hubo un crecimiento de 5 a 10 cm y se vio el engrosamiento de su tallo. Cabe resaltar que no todas las plantas lograron adaptarse al trasplante, muriendo un total de 3 totoras y 4 juncos. No obstante, esto no afecto el diseño experimental aplicado ya que por cada humedal se trabajó con 9 macrófitas y 3 repeticiones haciendo un total de 27 totoras y 27 juncos, descartando las macrófitas sobrantes.

Transcurrido este tiempo se procedió al vertido del agua residual domestica recopilada hasta haber llenado 80 % de su capacidad (25 l de agua residual por cada humedal).

4.3.2.4 Toma de muestra

Carreño (2016) menciona que es recomendable tomar muestras en las horas de la mañana, por lo que se escogió tomar la muestra de agua a las 9:00 h. siguiendo las recomendaciones del investigador.

Las muestras que se tomaron fueron recogidas en frascos de plástico para posteriormente analizar los parámetros fisicoquímicos; por otro lado, para el análisis microbiológico fueron necesarios frascos de plástico de color oscuro.

4.3.2.5 Análisis de las muestras

- **Análisis en laboratorio**

Las muestras aguas residuales domesticas se analizaron antes y después del tratamiento. Los parámetros fisicoquímicos tales como: el pH, la conductividad eléctrica y la turbidez; se evaluaron en el laboratorio de análisis de agua en la Escuela Profesional de Ingeniera Ambiental ubicada en la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Mientras que los análisis fisicoquímicos y microbiológicos como: DQO, DBO_5, coliformes

totales y coliformes fecales fueron realizados por el laboratorio de ensayo Analytical Laboratory ubicado en la ciudad de Arequipa. Por otra parte, la determinación del contenido cenizas de las macrófitas se realizó en el laboratorio de química orgánica de la Escuela Profesional de Química localizada en la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

Con los resultados ya obtenidos al realizar los análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las muestras se procedió a realizar el cálculo de la eficiencia de remoción para determinar el porcentaje de purificación de las aguas residuales domésticas utilizando la fórmula de Malacatus et al. (2016), para ello se aplicó la siguiente formula:

$$E = \frac{So - S}{So} * 100$$

En el cual:

E= Eficiencia de la remoción de la carga del contaminante %

S= Carga de contaminante de salida

So= Carga de contaminante de entrada

La metodología de ensayo por cada parámetro fue certificada siguiendo el protocolo establecido de las siguientes normativas:

- **pH**

Según método del multiparámetro a lectura directa este consiste en utilizar un electrodo sensible que detecta la concentración que tenga de iones hidrogeno presentes en la solución (H+) generando una señal eléctrica que nos indicara si la solución que se mide es acida o alcalina (Coaquira, 2018).

- **Conductividad eléctrica**

Se empleó la metodología del multiparámetro a lectura directa y el resultado obtenido se expresa en microSiemens por centímetro (µS/cm) (Coaquira, 2018).

- **Turbidez**

Método del turbidímetro y el resultado esta expresado en unidades nefelométricas de turbidez (UNT). Consiste en comparar la intensidad de la luz dispersada por la muestra, mientras mayor sea la dispersión, mayor será la turbidez (Carreño, 2016).

- **DBO_5**

Se empleó la normativa SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24th Ed. 2022. Es una prueba que determina los requerimientos de oxígeno

en las aguas residuales. Consiste en medir el oxígeno consumido en 5 días estableciendo una cantidad de muestra de acuerdo a las diluciones, ajustando el pH entre 5,5 a 7,5 con ácido sulfúrico, o hidróxido de sodio, seguido de eso alistar las botellas Winkler. Realizar el aforado en estas botellas, agregar 1 ml de la siguientes soluciones: tampón fosfato, $FeCl_3$, $CaCl_2$,$MgSO_4$, leer el oxígeno inicial, luego de eso sellar completamente las botellas, incubar a 20 °C por cinco días en un lugar oscuro, al quinto día leer el oxígeno disuelto residual (Calero, 2020).

- **DQO**

Se empleó la normativa SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24th Ed. 2022. Consiste en la reacción de una muestra de agua residual con un agente oxidante (dicromato potásico), en un medio acido donde el catalizador será Ag^+. La cantidad total de dicromato consumido nos indica la cantidad de contaminantes presentes en el agua residual (Calero, 2020).

- **Coliformes totales**

Se empleó la normativa SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 24th Ed. 2022. Consiste en inocular 5 tubos con Lauril Sulfato Caldo x 10 mL de muestra y añadir 1 mL de muestra (por cada dilución), incubar a 35° C por 48 horas, si se produce gas es positivo, en caso de no producir gas

ni acidez, incubar adicionalmente 48 horas, luego en caso de haber gas se considera presuntivamente positivos. Después de salir positiva la prueba presuntiva, se procede a hacer la prueba de confirmación la cual consiste en usar las muestras que dieron positivo, en un caldo verde brillante bilis, esto se lleva a incubar por 48 horas a 37°.Si hay formación de gas indica presencia de bacilos gran negativo (grupo coliforme), en caso contrario hay ausencia del grupo coliforme para hacer su lectura se utiliza la tabla del NMP (Castillo, 2022).

- **Coliformes fecales**

Se empleó la normativa SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 24th Ed. 2022. Este método consiste en homogenizar los tubos que presentan gas o acidez, partiendo de la fase presuntiva, Se transfieres a un tubo con caldo MacConkey incubando a una temperatura de 44.5° C por 24 horas, en caso de haber presencia de gas es una prueba confirmativa para coliformes, para hacer su lectura se utiliza la tabla del NMP (Castillo, 2022).

- **Determinación de cenizas**

Se empleó el método de calcinación en mufla. Consiste en someter un elemento a temperaturas entre 500 y 600ºC hasta descomponerlo (Mier y Noruega, 2017).

Se inicia rotulando y secando el crisol, luego se pesa y se registra el peso del crisol, Después se pesa la muestra y se lleva a la mufla por 550°C por 16 horas, culminado este tiempo se apaga la mufla y se espera por unas horas a que disminuya la temperatura, para finalmente sacar con pinzas para crisoles y llevar al desecador por 1 hora, luego se pesa el crisol con las cenizas. Para saber el contenido de cenizas se aplica la siguiente formula:

$$\%\ de\ cenizas = \frac{m3 - m1}{m2} * 100$$

Donde: m1= masa del crisol, m2 masa de la muestra, m3 la masa del crisol con cenizas (Gómez et al., 2021)..

4.3.3 Materiales y equipos

4.3.3.1 Materiales de laboratorio

- Baldes de plástico de 20 l PP c/asa plástica marca Agrovej
- Pala cuadrada con mango muleta marca bellota
- Plástico negro ferretero marca Trical
- Barril de plástico Innopack, de 280 l de HDPE
- Lapiceros
- Grava
- Guantes descartables
- Bata de laboratorio
- Mascarilla
- Pico marca Tramontina
- Cuadernos
- Malla rashel verde liso
- Tijeras
- Frasco para muestra
- Wincha Global Plus 5 m Stanley
- Culer

4.3.3.2 Equipos

- Multímetro portátil HQ40D
- Turbidímetro portátil Turbiquant® 1100 IR/T, MERCK
- Laptop Lenovo DESKTOP-DMAOLLI
- Mufla naberthern B 180
- Balanza analítica kern AES 200-4C
- Cámara fotográfica

4.4 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) a un 95 % de confianza ($p<0,05$) utilizando el programa el programa estadístico Infostat versión estudiantil 2020, para procesar los resultados del diseño experimental aplicado (Curasma y Sandoval, 2019). De tal manera, el ANOVA permitió comparar las varianzas entre las medias de diferentes grupos experimentales e identificar si los tratamientos fueron significativamente diferentes. Además, se calculó el coeficiente de variabilidad (CV) para analizar las desviaciones de los datos con respecto a la media y conocer el nivel de confiabilidad de los datos, y la prueba de contraste múltiple de Tukey ($P<0,05$) a un 95 % de confianza con la finalidad de comparar las medias de los tratamientos de manera individual para demostrar la hipótesis de estudio.

Tabla 4

Modelo de tabla de análisis de varianza (ANOVA)

Factor de variabilidad (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	F calculado (Fc)	P-valor
Tratamientos					
Error total					
Total					

Coeficiente de variabilidad (CV)=

CAPÍTULO V

TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS

5.1 Resultados

5.1.1 Analisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual doméstica de Moquegua

En la tabla 5 se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual doméstica recopilada en Moquegua. Los datos revelan que el pH del agua residual es de 6,62, la conductividad eléctrica (CE) tiene un valor de 1 066,00 µS/cm, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) es de 145,10 mg/l, la demanda química de oxígeno (DQO) se sitúa en 349,00 mg/l, la turbidez tiene 146,9 NTU , mientras que los coliformes totales (CT) y los coliformes fecales (CF) alcanzan niveles de 1,60 x 10^9 NMP/100 ml.

Los resultados obtenidos revelan de manera concluyente un alto nivel de carga contaminante en los efluentes domésticos de Moquegua. En consecuencia, estos valores fueron tomados como referencia inicial para el tratamiento mediante el uso de las plantas macrófitas propuestas.

Tabla 5

Características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual doméstica de Moquegua

Parámetros	Unidades	Valor
pH	Unidad de pH	6,62
Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	1 066,00
Turbidez (T)	NTU	146,9
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)	mg/l	145,10
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	349,00
Coliformes totales (CT)	NMP/100 ml	$1,60 \times 10^9$
Coliformes fecales o termotolerantes (CF)	NMP/100 ml	$1,60 \times 10^9$

5.1.2 Eficiencia de la totora (*Schoenoplectus californicus*) y junco (*Juncus effusus*) sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual tratada

5.1.2.1 pH

En la tabla 6, los resultados del análisis de varianza indican que no se encontraron diferencias significativas en los niveles de pH entre los diferentes tratamientos evaluados. Estos resultados se obtuvieron con un nivel de confianza del 95 % y un coeficiente de variabilidad del 1,21%.

Tabla 6

Análisis de varianza del pH de las aguas residuales tratadas

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Tratamientos	0,0813556	2	0,0406778	4,72	0,0586
Error total	0,0516667	6	0,0086111		
Total	0,1330220	8			

CV = 1,21 %

Dado que no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, no se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey (P<0,05). Sin embargo, al calcular la eficiencia en relación al valor promedio inicial y final de cada tratamiento (tabla 7), se observó que el tratamiento T2 destacó con la mayor eficiencia, presentando un incremento en el pH del 17,67 %, aunque no fue significativamente diferente al tratamiento T0 y T1, los cuales mostraron eficiencias en el aumento del pH del 15,40 % y 14,19 %, respectivamente.

Tabla 7

Eficiencia de los tratamientos en el pH de las aguas residuales tratadas

Tratamiento	Valor inicial	Valor final	Eficiencia (%)
T0 (Humedal sin macrófitas)	6,62	7,64	15,40
T1 (Humedal con totora)	6,62	7,56	14,19
T2 (Humedal con junco)	6,62	7,79	17,67

5.1.2.2 Conductividad eléctrica

En la tabla 8, los resultados del análisis de varianza indican que se encontraron diferencias significativas en los niveles de conductividad eléctrica entre los diferentes tratamientos evaluados. Estos resultados se obtuvieron con un nivel de confianza del 95 % y un coeficiente de variabilidad del 2,20 %.

Tabla 8

Análisis de varianza de la conductividad eléctrica de las aguas residuales tratadas

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Tratamientos	81 704	2	40 852	115,08	0,0001
Error total	2 130	6	355,000		
Total	83 834	8			

CV = 2,20 %

Dado que se encontraron diferencias significativas, se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey (P<0,05) para comparar el nivel de conductividad eléctrica por tratamiento (tabla 9). Los resultados revelaron que el tratamiento T0 presentó un nivel de conductividad de 981,66 µS/cm, valor que fue significativamente diferente y mayor en comparación con el tratamiento T1 que registró un valor promedio de 843,66 µS/cm. Ambos

resultados difirieron significativamente del nivel de conductividad del tratamiento T2, el cual obtuvo un valor promedio de 749,66 µS/cm.

Tabla 9

Prueba de rango múltiple de Tukey (p <0,05) para la conductividad eléctrica de las aguas residuales tratadas

Tratamientos	**Medias (µS/cm)**	**n**	**Significancia**
T0 (Humedal sin macrófitas)	981,66	3	a
T1 (Humedal con totora)	843,66	3	b
T2 (Humedal con junco)	749,66	3	c

De tal manera, al calcular la eficiencia en relación al promedio de los valores iniciales y finales de cada tratamiento (tabla 10), se observó que el tratamiento T2 se destacó por mostrar la mayor eficiencia, con una reducción de la conductividad eléctrica del 29,67 %. Le siguió el tratamiento T1, que presentó una reducción del 20,85 %. Por último, el tratamiento T0 mostró una reducción mínima del 7,91 %.

Tabla 10

Eficiencia de los tratamientos en la conductividad eléctrica de las aguas residuales tratadas

Tratamiento	Valor inicial (µS/cm)	Valor final (µS/cm)	Eficiencia (%)
T0 (Humedal sin macrófitas)	1 066	981,66	7,91
T1 (Humedal con totora)	1 066	843,66	20,85
T2 (Humedal con junco)	1 066	749,66	29,67

5.1.2.3 Turbidez

En la tabla 11, los resultados del análisis de varianza indican que se encontraron diferencias significativas en el nivel de turbidez entre los diferentes tratamientos evaluados. Estos resultados se obtuvieron con un nivel de confianza del 95 % y un coeficiente de variabilidad del 11,28 %.

Tabla 11

Análisis de varianza de la turbidez de las aguas residuales tratadas

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Tratamientos	117,76	2	58,88	19,38	0,0024
Error total	18,23	6	3,04		
Total	135,99	8			

CV = 11,28 %

Dado el hallazgo de diferencias significativas, se procedió a utilizar la prueba de rango múltiple de Tukey (P<0,05) para comparar los niveles de coliformes totales entre los distintos tratamientos (tabla 12). Los resultados revelaron que el tratamiento T0 presentó un nivel de turbidez de 20,20 NTU, valor que fue significativamente diferente y mayor en comparación con los tratamientos T1 y T2, que mostraron valores promedio de 14,70 y 11,43 NTU, respectivamente. Cabe destacar que T2 y T1 no presentaron diferencias significativas entre sí.

Tabla 12

Prueba de rango múltiple de Tukey (p <0,05) para la turbidez de las aguas residuales tratadas

Tratamientos	**Media (NTU)**	**n**	**Significancia**
T0 (Humedal sin macrófitas)	20,20	3	a
T2 (Humedal con junco)	14,70	3	b
T1 (Humedal con totora)	11,43	3	b

De tal manera, al calcular la eficiencia en relación al promedio de los valores iniciales y finales de cada tratamiento (tabla 13), se observó que tanto el tratamiento T2 como el T1 sobresalieron al mostrar la mayor eficiencia, logrando una reducción de la turbidez del 89,99 % y 92,21 %. En contraste, el tratamiento T0 solo registró una reducción del 86,25 %.

Tabla 13

Eficiencia de los tratamientos en la turbidez de las aguas residuales tratadas

Tratamiento	Valor inicial (NTU)	Valor final (NTU)	Eficiencia (%)
T0 (Humedal sin macrófitas)	146,9	20,20	86,25
T2 (Humedal con junco)	146,9	14,70	89,99
T1 (Humedal con totora)	146,9	11,43	92,21

5.1.2.4 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

En la tabla 14, los resultados del análisis de varianza indican que se encontraron diferencias significativas en el nivel de DBO_5 entre los diferentes tratamientos evaluados. Estos resultados se obtuvieron con un nivel de confianza del 95 % y un coeficiente de variabilidad del 3,35 %.

Tabla 14

Análisis de varianza de la DBO_5 de las aguas residuales tratadas

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Tratamientos	2943,90	2	1471,95	337,00	0,0001
Error total	26,21	6	4,37		
Total	2970,11	8			

CV = 3,35 %

Dado el hallazgo de diferencias significativas, se procedió a utilizar la prueba de rango múltiple de Tukey (P<0,05) para comparar los niveles de DBO_5 entre los distintos tratamientos (tabla 15). Los resultados revelaron que el tratamiento T0 presentó un nivel de DBO_5 de 87,57 mg/l, valor que fue significativamente diferente y mayor en comparación con el tratamiento T2 que registró un valor promedio de 53,70 mg/l. Ambos resultados difirieron significativamente del nivel de DBO_5 del tratamiento T1, el cual obtuvo un valor promedio de 45,90 mg/l.

Tabla 15

Prueba de rango múltiple de Tukey (p <0,05) para la DBO_5 de las aguas residuales tratadas

Tratamientos	**Media (mg/l)**	**n**	**Significancia**
T0 (Humedal sin macrófitas)	87,57	3	a
T2 (Humedal con junco)	53,70	3	b
T1 (Humedal con totora)	45,90	3	c

De tal manera, al calcular la eficiencia en relación al promedio de los valores iniciales y finales de cada tratamiento (tabla 16), se evidenció que el tratamiento T1 sobresalió al exhibir la mayor eficiencia, logrando una reducción de la DBO_5 del 68,37 %. En segundo lugar, se ubicó el

tratamiento T2, el cual demostró una reducción del 62,99 %. Por último, el tratamiento T0 registró una disminución mínima del 39,65 %.

Tabla 16

Eficiencia de los tratamientos en DBO_5 de las aguas residuales tratadas

Tratamiento	Valor inicial (mg/l)	Valor final (mg/l)	Eficiencia (%)
T0 (Humedal sin macrófitas)	145,10	87,57	39,65
T2 (Humedal con junco)	145,10	53,70	62,99
T1 (Humedal con totora)	145,10	45,90	68,37

5.1.2.5 Demanda química de oxígeno (DQO)

En la tabla 17, los resultados del análisis de varianza indican que se encontraron diferencias significativas en el nivel de DQO entre los diferentes tratamientos evaluados. Estos resultados se obtuvieron con un nivel de confianza del 95 % y un coeficiente de variabilidad del 4,52 %.

Tabla 17

Análisis de varianza de la DQO de las aguas residuales tratadas

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Tratamientos	21448,67	2	10724,33	220,87	0,0001
Error total	291,33	6	48,56		
Total	21740,00	8			

CV = 4, 52 %

Dado el hallazgo de diferencias significativas, se procedió a utilizar la prueba de rango múltiple de Tukey($P<0,05$) para comparar los niveles de DQO entre los distintos tratamientos (tabla 18). Los resultados revelaron que el tratamiento T0 presentó un nivel de DQO de 222 mg/l, valor que fue significativamente diferente y mayor en comparación con el tratamiento T2 que registró un valor promedio de 130,33 mg/l. Ambos resultados difirieron significativamente del nivel de DQO del tratamiento T1, el cual obtuvo un valor promedio de 109,67 mg/l.

Tabla 18

Prueba de rango múltiple de Tukey (p <0,05) para la DQO de las aguas residuales tratadas

Tratamientos	Media (mg/l)	n	Significancia
T0 (Humedal sin macrófitas)	222,00	3	a
T2 (Humedal con junco)	130,33	3	b
T1 (Humedal con totora)	109,67	3	c

De tal manera, al calcular la eficiencia en relación al promedio de los valores iniciales y finales de cada tratamiento (tabla 19), se evidenció que el tratamiento T1 destacó al exhibir la mayor eficiencia, logrando una reducción de la DQO del 68,58 %. En segundo lugar, se ubicó el tratamiento T2, el cual demostró una reducción del 62,66 %. Por último, el tratamiento T0 presentó una disminución mínima del 36,39 %.

Tabla 19

Eficiencia de los tratamientos en la DQO de las aguas residuales tratadas

Tratamiento	Valor inicial (mg/l)	Valor final (mg/l)	Eficiencia (%)
T0 (Humedal sin macrófitas)	349	222,00	36,39
T2 (Humedal con junco)	349	130,33	62,66
T1 (Humedal con totora)	349	109,67	68,58

5.1.3.1 Coliformes totales

En la tabla 20, los resultados del análisis de varianza indican que se encontraron diferencias significativas en el nivel de coliformes totales entre los diferentes tratamientos evaluados. Estos resultados se obtuvieron con un nivel de confianza del 95 % y un coeficiente de variabilidad del 1,75 %.

Tabla 20

Análisis de varianza de los coliformes totales por tratamiento de las aguas residuales tratadas

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Tratamientos	2,36 x10^{11}	2	1,18 x10^{10}	26395,9	0,0001
Error total	2,68X10^{6}	6	447777		
Total	2,36 x10^{11}	8			

CV = 1,75 %

Dado el hallazgo de diferencias significativas, se procedió a utilizar la prueba de rango múltiple de Tukey($P<0,05$) para comparar los niveles de coliformes totales entre los distintos tratamientos (tabla 21). Los resultados revelaron que el tratamiento T0 presentó un nivel de coliformes totales de 1,10 x 10^5 NMP/100 ml, valor que fue significativamente diferente y mayor en comparación con los tratamientos T2 y T1, que mostraron valores promedio de 2,2 x 10^3 NMP/100 ml y 1,7 x 10^3 NMP/100 ml, respectivamente. Cabe destacar que T2 y T1 no presentaron diferencias significativas entre sí.

Tabla 21

Prueba de rango múltiple de Tukey (p <0,05) para los coliformes totales de las aguas residuales tratadas

Tratamientos	Media (NMP/100 ml)	n	Significancia
T0 (Humedal sin macrófitas)	$1,10x10^5$	3	a
T2 (Humedal con junco)	$2,2x10^3$	3	b
T1 (Humedal con totora)	$1,7x10^3$	3	b

De tal manera, al calcular la eficiencia en relación al promedio de los valores iniciales y finales de cada tratamiento (tabla 22), se observó que tanto el tratamiento T2 como el T1 sobresalieron al mostrar la mayor eficiencia, logrando una reducción de los coliformes totales del 99,99 %. En contraste, el tratamiento T0 solo registró una reducción del 99,93 %.

Tabla 22

Eficiencia de los tratamientos en los coliformes totales de las aguas residuales tratadas

Tratamiento	Valor inicial (NMP/100 ml)	Valor final (NMP/100 ml)	Eficiencia (%)
T0 (Humedal sin macrófitas)	$1,6x10^9$	$1,10x10^5$	99,93
T2 (Humedal con junco)	$1,6x10^9$	$2,2x10^3$	99,99
T1 (Humedal con totora)	$1,6x10^9$	$1,7x10^3$	99,99

5.1.3.2 Coliformes fecales

En la tabla 23, los resultados del análisis de varianza indican que se encontraron diferencias significativas en el nivel de coliformes fecales entre los diferentes tratamientos evaluados. Estos resultados se obtuvieron con un nivel de confianza del 95 % y un coeficiente de variabilidad del 1,85 %.

Tabla 23

Análisis de varianza de los coliformes fecales de las aguas residuales tratadas

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Tratamientos	$1,6 \times 10^9$	2	8×10^9	27306,7	0,0001
Error total	$2,02 \times 10^6$	6	$3,37 \times 10^5$		
Total	$1,6 \times 10^9$	8			

CV = 1,85 %

Dado el hallazgo de diferencias significativas, se procedió a utilizar la prueba de rango múltiple de Tukey($P<0,05$) para comparar los niveles de coliformes fecales entre los distintos tratamientos (tabla 24). Los resultados revelaron que el tratamiento T0 presentó un nivel de coliformes fecales de $9,1 \times 10^4$ NMP/100 ml, valor que fue significativamente diferente y mayor en comparación con los tratamientos T2 y T1, que mostraron valores promedio de $1,7 \times 10^3$ NMP/100 ml y $1,3 \times 10^3$ NMP/100 ml, respectivamente.

Cabe destacar que T2 y T1 no presentaron diferencias significativas entre sí.

Tabla 24

Prueba de rango múltiple de Tukey (p <0,05) para los coliformes fecales de las aguas residuales tratadas

Tratamientos	**Media (NMP/100 ml)**	**n**	**Significancia**
T0 (Humedal sin macrófitas)	$9{,}1x10^4$	3	a
T2 (Humedal con junco)	$1{,}7x10^3$	3	b
T1 (Humedal con totora)	$1{,}3x10^3$	3	b

De tal manera, al calcular la eficiencia en relación al promedio de los valores iniciales y finales de cada tratamiento (tabla 25), se observó que tanto el tratamiento T2 como el T1 sobresalieron al mostrar la mayor eficiencia, logrando una reducción de los coliformes fecales del 99,99 %. En contraste, el tratamiento T0 solo registró una reducción del 99,94 %.

Tabla 25

Eficiencia de los tratamientos en los coliformes fecales de las aguas residuales tratadas

Tratamiento	Valor inicial (NMP/100 ml)	Valor final (NMP/100 ml)	Eficiencia (%)
T0 (Humedal sin macrófitas)	$1,6x10^9$	$9,1x10^4$	99,94
T2 (Humedal con junco)	$1,6x10^9$	$1,7x10^3$	99,99
T1 (Humedal con totora)	$1,6x10^9$	$1,3x10^3$	99,99

5.1.3 Contenido de cenizas en la totora (*Schoenoplectus californicus*) y el junco (*Juncus effusus*) antes y después del tratamiento de aguas residuales.

En la tabla 26, el análisis de varianza del contenido de cenizas (%) revela que los factores correspondientes al tipo de macrófita, tiempo de medición y su interacción tuvieron una influencia significativa en los resultados, esto con un nivel de confianza del 95 % y un coeficiente de variabilidad del 0.25%.

Tabla 26

Análisis de varianza del contenido de cenizas en la totora y el junco antes y después del tratamiento de aguas residuales.

FV	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Tipo de macrófita	7,83	1	7,83	15290,70	<0,0001
Medición	0,13	1	0,13	249,13	<0,0001
Tipo de macrófita* Medición	0,03	1	0,03	68,16	<0,0001
Error	0,01	8	0,01		
Total	7,99	11			

CV = 0,25 %

Como se detectó diferencias significativas entre los grupos, se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey(P<0,05) para comparar el tipo de macrofita (tabla 27). Los resultados muestran que la totora presentó porcentaje de cenizas promedio de 9,83 %, resultado que fue significativamente diferente y mayor en comparación con el junco, que registró un valor promedio del 8,22 %

Tabla 27

Prueba de rango múltiple de Tukey (p <0,05) para el tipo de macrófita

Tipo de macrófita	Media	n	Significancia
Totora	9,83	6	a
Junco	8,22	6	b

En la tabla 28 se puede observar el tiempo de medición antes y después se obtuvo un porcentaje de cenizas del 9,12 % antes del tratamiento, resultado que fue significativamente mayor en comparación con el promedio obtenido después el cual fue de 8,12 %

Tabla 28

Prueba de rango múltiple de Tukey (p <0,05) para el tiempo de medición

Tiempo de medición	Media	n	Significancia
Antes	9,13	6	a
Después	8,12	6	b

En la tabla 29 se puede observar la totora después del tratamiento obtuvo una cantidad de porcentaje de ceniza promedio de 9,99 %, este resultado es significativamente mayor a la cantidad de ceniza promedio del mismo tipo de macrófita antes del tratamiento (9,68 %). Resaltar que ambos resultados difieren significativamente en comparación con la cantidad de cenizas del junco después del tratamiento (8,27 %) y antes del tratamiento (8,17 %), siendo estos dos últimos los que también presentaron diferencias significativas entre sí.

Tabla 29

Prueba de rango múltiple de Tukey (p <0,05) para el contenido de ceniza según la interacción del tipo de macrofita y el tiempo de medición

Macrófita	Tratamiento	Media	n	Significancia
Totora	Después	9,99	3	a
Totora	Antes	9,68	3	b
Junco	Después	8,27	3	c
Junco	Antes	8,17	3	d

5.2 Discusión de resultados

5.2.1 Discusión de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual doméstica de Moquegua

El análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual doméstica de Moquegua (tabla 5) revela una calidad muy deficiente en el afluente que ingresa a la PTAR Omo. En cuanto al pH, el agua residual mostró una ligera tendencia ácida con un valor de 6,62. Estos resultados difieren de los hallazgos reportados por Cáceres et al. (2021) y Quispe (2017), quienes analizaron el mismo afluente de la PTAR Omo en diferentes años y encontraron una tendencia más neutral, con valores de 7,38 y 7,8 respectivamente. Además, al comparar con los valores reportados por Ancalle y Ledesma (2020), Diaz (2018), Mamani y Ccorimanya (2021) del agua residual doméstica de otras localidades, se observa que el pH también muestra una tendencia neutral hasta ligeramente básica, con valores que oscilan entre 7,4 y 8,39. Solo los hallazgos de Reyes (2020) coinciden con la tendencia ácida, reportando un valor de pH de 6,5.

Es importante destacar que el pH ligeramente ácido en el agua residual no es deseable, ya que puede tener efectos adversos en los procesos de tratamiento como interferir en la eficiencia de remoción de

contaminantes e implicaría mayores costos, esto debido a los ajustes y adiciones de productos químicos para elevar el pH a un rango adecuado (Yáñez, 2018).

En cuanto a la conductividad eléctrica, se observó un nivel significativamente elevado de 1 066,00 µS/cm en el agua residual, en marcado contraste con el valor reportado por Quispe (2017) de 721 µS/cm en el mismo afluente y el valor reportado por Diaz (2018) de 438,3 µS/cm en un afluente de otra localidad. Esta disparidad indica un aumento en la concentración de sales disueltas en el agua residual, posiblemente debido a variaciones temporales, el incremento de las captaciones de fuentes industriales y una mayor diversificación de las actividades humanas a lo largo del tiempo.

En cuanto a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), se determinó que el agua residual exhibió una concentración de 145,10 mg/l, la cual resultó más baja en comparación con los descubrimientos de Cáceres et al. (2021) y Quispe (2017) que reportaron concentraciones de 188,13 mg/l y 270,3 mg/l respectivamente, del mismo afluente de la PTAR Omo. Además, este resultado también fue inferior en relación a lo publicado por Ancalle y Ledesma (2020), Mamani y Ccorimanya (2021) y Reyes (2020), quienes registraron valores que oscilaron entre los 159 mg/l y los

774,3 mg/l en afluentes de PTAR de otras localidades. A excepción de los datos proporcionados por Diaz (2018), que reportó una concentración de 65,15 mg/l, valor que fue inferior al resultado obtenido en la presente investigación. De este modo, el nivel de DBO_5 encontrado podría clasificarse como moderado, lo cual indica la presencia significativa de materia orgánica susceptible de biodegradación en el agua residual y resalta la necesidad imperativa de someterla a un proceso de tratamiento. Asimismo, las diferencias en los valores comparados podrían atribuirse a variaciones temporales en la calidad del agua residual que ingresa a la PTAR asi como también varia por la influencia del clima.

En relación a la demanda química de oxígeno (DQO), se encontró que el agua residual presentó una concentración de 349 mg/l, valor que resultó más bajo en comparación con el hallazgo de Quispe (2017) que reportó una concentración de 613,3 mg/l en el mismo afluente de la PTAR Omo. Al compararlo con los afluentes de PTAR de otras localidades, este resultado fue igualmente menor que los valores reportados por Mamani y Ccorimanya (2021) que oscilaron entre los 471 mg/l; sin embargo, fue mayor que lo informado por Ancalle y Ledesma (2020) y Reyes (2020) que registraron valores de 168 mg/l y 294 mg/l, respectivamente. Por lo tanto, también el nivel de DQO encontrado se consideraría moderado, lo cual indica la presencia de una carga significativa de materia orgánica y

sustancias químicas oxidables que requieren tratamiento. Del mismo modo, las disparidades observadas en los valores comparativos podrían deberse a fluctuaciones temporales en la calidad del agua residual que ingresa a la PTAR .

Para el valor de turbiedad se determinó que el agua residual al ingreso de la PTAR tiene una turbidez de 146,9 NTU lo cual es un valor inferior a lo reportado por Quispe (2017) con un valor de 210 NTU . Pero es un valor similar a lo que hallado por Cáceres et al. (2021), que reportaron una turbiedad de 143 NTU. Esta variación puede atribuirse a variaciones temporales en la calidad del agua residual que ingresa a la PTAR, así como también varia por la influencia del clima (precipitaciones).

En cuanto a los coliformes totales y fecales, se encontraron niveles alarmantemente altos en el agua residual, con una concentración de 1,60 x 10^9 NMP/100 ml en ambos parámetros. Esto contrasta con los valores reportados por Cáceres et al. (2021) que consignaron una concentración de coliformes fecales de 2,40 x 10^7 NMP/100 ml, y Quispe (2017) que registró una concentración de coliformes totales de 1,70 x 10^5 NMP/100 ml y de coliformes fecales de 3,3 x 10^7 NMP/100 ml, ambos estudios realizados en el mismo afluente de la PTAR de Omo. Incluso los valores obtenidos en esta investigación superan

significativamente los valores de afluentes de PTAR de otras localidades, tal como lo informaron Ancalle y Ledesma (2020), Diaz (2018), Mamani y Ccorimanya (2021) y Reyes (2020) quienes reportaron valores que oscilan entre los 1,56 x 10^4 NMP/100 ml hasta los 1,7 x 10^7 NMP/100 ml. De esta manera, los niveles de coliformes totales y fecales indican una alta presencia de microorganismos patógenos en el agua residual, lo cual implica un elevado riesgo de contaminación microbiológica.

5.2.2 Discusión del efecto de la totora (*Schoenoplectus californicus*) y junco (*Juncus effusus*) sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual tratada

Con respecto a los tratamientos, tanto la totora (T1) como el junco (T2) mostraron una eficiencia similar en la modificación del pH, con incrementos que oscilaron entre el 14,19 % y el 17,67 %. Estos resultados coinciden con investigaciones previas realizadas por Bustamante y Pérez (2019), Rubio y Montenegro (2018) y Sánchez et al. (2021), donde se observó una tendencia similar de incremento del pH desde niveles ácidos hacia rangos más neutros. Además, investigaciones adicionales realizadas por Carranza y Plasencia (2018), Coaquira (2018), Mellado (2018) y Hernández y Vargas (2021) respaldan y comprueban que el tratamiento con totora y junco promueve el cambio del pH hacia niveles neutros,

independientemente de si el agua residual inicialmente presenta niveles alcalinos o ácidos. Estos hallazgos demuestran la capacidad de estas dos especies para estabilizar el pH del agua residual y mantenerlo en un rango neutral mientras ocurren los procesos de fitorremediación donde se eliminan, degradan y/o inmovilizan los contaminantes.

La estabilización del pH en un rango neutral es un aspecto fundamental en el proceso de fitorremediación, ya que algunos contaminantes pueden ser más tóxicos o menos degradables en condiciones ácidas o alcalinas. Al mantener un pH neutro, se optimizan las condiciones para la eficiente eliminación de los contaminantes promoviendo un entorno favorable para la actividad de los microorganismos asociados a las raíces de las plantas.

Es importante destacar que el tratamiento control (T0) también mostró una tendencia de elevar el pH hacia rangos neutros, sin diferencias significativas en comparación con los tratamientos adicionales (T1 y T2). Esto sugiere que el agua en reposo experimentó procesos naturales de neutralización, posiblemente debido a la actividad de microorganismos presentes en el agua residual. Cuando el agua residual contiene compuestos ácidos, es probable que se produzcan procesos de descomposición bacteriana o degradación química, los cuales generan

productos finales con un pH más neutro. Además, la exposición del agua residual al aire puede favorecer la oxidación de los compuestos ácidos, lo que resulta en una reducción de la acidez y un aumento del pH hacia la neutralidad. Sin embargo, a pesar de que el tratamiento control (T0) logró mantener un pH neutro durante el período de tratamiento, la remoción de otros parámetros fue mínima. Esto indica que este caso particular puede estar influenciado por las características iniciales del agua residual y que la neutralización del pH no se tradujo en una remoción significativa de otros componentes.

El tratamiento utilizando totora (T1) y junco (T2) demostró una notable eficiencia en la reducción de la conductividad eléctrica (CE), con valores significativamente diferentes en comparación con el grupo de control (T0). El tratamiento con totora logró una reducción del 20,85 % en la CE, mientras que el junco fue aún más efectivo con una reducción del 29,67 %. Estos resultados son consistentes con un estudio previo realizado por Carranza y Plasencia (2018), quienes encontraron que la totora logró reducciones de la CE del 23,53 %, aunque reportaron que el junco tuvo reducciones de la CE del 71,77 %. Sin embargo, difieren de los hallazgos informados por Sánchez et al. (2021), quienes encontraron una eficiencia de reducción de la CE del 36,55 % para la totora, y lo reportado por Rubio

y Montenegro (2018), quienes encontraron una eficiencia de reducción de la CE del 48,23 % para el junco.

En general, tanto la totora como el junco demostraron ser efectivos en la reducción de la CE, aunque la eficiencia puede variar según los estudios mencionados. Sin embargo, la limitada remoción de la CE puede atribuirse a varios factores, como la composición de los contaminantes presentes en el agua residual. La CE del agua residual puede estar influenciada por la presencia de diferentes iones, como sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro, entre otros. Algunos de estos iones pueden ser difíciles de eliminar por completo mediante la acción de las plantas en los humedales artificiales, lo que puede limitar la eficiencia de la remoción de la CE. Además, el tiempo de retención hidráulica utilizado en el estudio, que fue de 30 días, puede haber contribuido a la limitada remoción de la CE. Investigaciones anteriores que lograron una mayor remoción de la CE generalmente emplearon períodos de retención hidráulica más prolongados, que oscilaron entre uno y dos meses. Esto sugiere que la remoción de la CE es un proceso que requiere más tiempo para ser más efectivo, ya que las plantas tienen la oportunidad de tomar y acumular contaminantes y los procesos de adsorción tienen más tiempo para interactuar con los iones presentes en el agua residual.

En la reducción de la turbidez del agua, el tratamiento con junco logró una reducción del 89,99 % en la turbidez, mientras que la totora fue aún más efectiva con una reducción del 92,21 %, por otro lado, el grupo de control logro una reducción menor con un 86,25 %. Estos resultados difieren a un estudio previo realizado por Guevara y Vasquez (2022), quienes encontraron que el junco logró reducciones de la turbiedad 67,77 %, mientras que Rubio y Montenegro (2018) obtuvieron una reducción del 75 % utilizando el junco. Sin embargo, cercanos a los hallazgos informados por Guerra (2022), quien obtuvo una eficiencia del 97,8 % utilizando la totora.

En general, tanto la totora como el junco demostraron ser efectivos en la reducción de la turbidez del agua, aunque la eficiencia puede variar según los estudios mencionados. La turbidez del agua residual puede estar influenciada por la presencia de sólidos en suspensión, presencia de fitoplancton, sedimentos procedentes de la erosión. Algunos de estos componentes anteriormente mencionados pueden ser difíciles de eliminar por completo mediante la acción de las plantas en los humedales artificiales, lo que puede limitar la eficiencia de la remoción de la turbidez. Investigaciones anteriores que lograron una menor remoción de la turbidez generalmente emplearon períodos de retención hidráulica más cortos, que oscilaron entre una a dos semanas. Esto apunta que la remoción de la

turbidez es un proceso que requiere más tiempo para ser más efectivo, y así las macrófitas puedan adsorber los sólidos en suspensión o sedimentos.

En relación al DBO_5 y DQO, tanto la totora (T1) como el junco (T2) mostraron diferencias significativas en comparación con el tratamiento control (T0), y también se observaron diferencias entre sí. La totora logró una mayor eficiencia con una remoción de la DBO_5 del 68,37 % y una remoción de la DQO del 68,58 %. Por otro lado, el junco mostró una remoción de DBO_5 del 62,99 % y una remoción de DQO del 62,66 %.

En estudios previos realizados por Carranza y Plasencia (2018), Coaquira (2018), Hernández y Vargas (2021) y Mellado (2018) señalaron que la totora presenta una eficiencia de remoción entre un rango del 80 % al 87,38 % para la DBO_5 y del 70,37 % al 78,88 % para la DQO. En comparación, los resultados de la presente investigación son menores a este rango para la DBO_5, de igual manera el porcentaje de remoción DQO es mucho menor a lo encontrado por los investigadores anteriormente mencionados.

Por otro lado, estudios previos realizados por Bustamante y Pérez (2019), Carranza y Plasencia (2018), Mellado (2018), Muñoz y Vásquez (2020) y Rubio y Montenegro (2018) han reportado que el junco presenta

una eficiencia de remoción de la DBO_5 que varía entre el 64,13 % y el 98,15 %, y una eficiencia de remoción de la DQO que oscila entre el 64,13 % y el 98,78 %. Los resultados obtenidos en la presente investigación se encuentran dentro de ese rango reportado, aunque se esperaría una mayor eficiencia del junco en ambos parámetros. La diferencia de los resultados reportados en los antecedentes y a los hallados podría estar relacionada a factores como las características del agua residual, las condiciones del sistema de tratamiento, el clima y el tiempo de retención debido a que la variación en estos parámetros puede influir en los resultados.

La mayor eficiencia de remoción de la DBO_5 y la DQO por parte de la totora en comparación con el junco puede atribuirse a su mayor tasa de crecimiento y capacidad de absorción de nutrientes. Esto implica que la totora es capaz de capturar y acumular una mayor cantidad de materia orgánica y compuestos químicos presentes en el agua residual a través de sus raíces, lo que resulta en una mayor eliminación de la DBO_5 y la DQO. Este fenómeno se debe, en parte, a la actividad microbiana asociada a las raíces de la totora. Las raíces proporcionan un entorno propicio para el desarrollo de una comunidad microbiana diversa que desempeña un papel importante en la descomposición y mineralización de la materia y

compuestos orgánicos presentes, lo que contribuye a su eliminación efectiva del agua residual.

En cuanto a la eficiencia de remoción de los coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) por parte de la totora (T1) y el junco (T2), se observó una tendencia similar en ambos parámetros, diferenciándose significativamente del tratamiento control (T0) y presentando una eficiencia de remoción del 99,99 % en ambas categorías. Estos resultados son consistentes con estudios previos realizados por Carranza y Plasencia (2018), Cubas y Mireles (2020), Guerra (2022) y Hernández y Vargas (2021) donde se reportaron valores de remoción de los CT y CF que oscilaban entre el 91,91 % y el 100 % para la totora y el junco.

Sin embargo, es importante señalar que otras investigaciones llevadas a cabo por Guevara y Vasquez (2022), Muñoz y Vasquez (2020) y Rubio y Montenegro (2018) han reportado resultados contradictorios, indicando que el junco remueve solo entre el 32,24 % y el 81,67 % de los CF. Estas discrepancias pueden atribuirse a las condiciones específicas del agua residual y al diseño del sistema de humedales utilizados en cada estudio. Factores como la temperatura, la concentración inicial de coliformes, el pH, el tiempo de retención hidráulica, temperatura y la presencia de otros contaminantes pueden influir en la eficacia de la

remoción, lo que puede explicar las diferencias observadas en los resultados de diferentes investigaciones.

La alta eficiencia en la remoción de coliformes totales y coliformes fecales en el tratamiento con totora y junco se debe principalmente a la influencia de las raíces de estas plantas. Las raíces crean una zona de influencia alrededor de ellas, donde se forma una biopelícula compuesta por microorganismos, bacterias y hongos beneficiosos. Estos microorganismos descomponen y degradan la materia orgánica presente en el agua residual, incluyendo los coliformes totales y termotolerantes. Además, las propias plantas tienen la capacidad de absorber y acumular contaminantes en sus tejidos, lo que contribuye a la remoción de los coliformes. Este proceso de absorción y acumulación se lleva a cabo a través de la estructura de las raíces y los tallos, permitiendo que los contaminantes sean capturados y retenidos por las plantas.

5.2.3 Discusión del contenido de cenizas en la totora (*Schoenoplectus californicus*) y el junco (*Juncus effusus*) antes y después del tratamiento de aguas residuales.

En cuanto a las cenizas, se observó un aumento en el porcentaje del 9,68 % antes del tratamiento de la totora al 9,99 % después del tratamiento. Este incremento es consistente con lo reportado por Gonzales (2018),

quien registró un aumento del contenido de cenizas en la totora del 8,869 % al 9,201 %. Sin embargo, es importante destacar que el aumento reportado es significativamente mayor al resultado obtenido en esta investigación. Esta disparidad podría atribuirse a la presencia de una mayor cantidad de minerales y un mayor desarrollo de las plantas lo que endurece sus tejidos durante el tratamiento con totora. Además, el tiempo de retención del agua residual también podría influir, ya que un período más prolongado permitiría que la planta absorbiera una mayor cantidad de minerales presentes en las aguas residuales.

En relación con el junco, se observó un ligero aumento en el contenido de cenizas, pasando del 8,17 % antes del tratamiento al 8,27 % después del mismo. Aunque este incremento es modesto, contrasta con los hallazgos de la investigación realizada por Wiessner et al. (2013), quienes registraron un valor inicial del 7,20% para el contenido de cenizas en el junco. Tras su experimentación, observaron un marcado aumento, alcanzando un valor del 8,63 %. Esta discrepancia significativa podría explicarse por el hecho de que Wiessner et al. (2013) llevaron a cabo su estudio durante un período prolongado, lo que permitió al junco absorber una mayor cantidad de minerales a lo largo del tiempo, resultando en un notable aumento en el contenido de cenizas después del tratamiento. Este aspecto resalta la importancia del tiempo de exposición y la absorción de

contaminantes por parte de la planta en la investigación de la calidad del agua y los procesos de tratamiento.

También es importante destacar que las cenizas mostraron una coloración blanca con tintes rojizos, lo cual sugiere la presencia de restos de metales. Habitualmente, las cenizas presentan una tonalidad blanca o grisácea, pero la aparición de tonos rojizos indica la posible presencia de cobre. Este fenómeno se ha observado en estudios previos, como el realizado por Luna (2014), quien documentó la presencia de tonalidades marrones y rojizas en sus muestras de cenizas, atribuidas a la presencia de cobre que, al ser incinerado, adquiere esta coloración característica.

Por último, es importante destacar que el tratamiento con totora y junco cumple con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N° 003-2010-MINAM, como se puede observar en la tabla 30. Esto indica que el agua residual tratada cumple con los estándares de calidad requeridos, lo que permite considerar de manera segura el vertimiento del agua tratada en cuerpos de agua o llevar a cabo un análisis más exhaustivo para compararlo con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y explorar posibles usos adicionales. Esto abre la posibilidad de aprovechar de manera adecuada el agua tratada y promover su reutilización en diferentes ámbitos.

Tabla 30

Comparación de los resultados del agua residual tratada con los LMP

Parámetro	T0	T1	T2	LMP
pH	7,64	7,56	7,79	6,5-8,5
DBO_5 (mg/l)	87,57	45,90	53,70	100
DQO (mg/l)	222	109	130	200
CT (NPM/100 ml)	110 000	1 700	2 200	10 000
CF (NPM/100 ml)	91 000	1 300	1 700	-
CE (µS/cm)	981,66	843,66	749,66	-
Turbidez (NTU)	20,20	11,43	14,70	-

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran claramente que tanto la totora como el junco son plantas altamente eficientes para el tratamiento de aguas residuales en la región de Moquegua. Cada una de estas plantas presenta fortalezas específicas en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Siendo que ambas tienen una alta eficiencia en los CT y CF, la totora destacada en la turbidez, DBO_5 y DQO, mientras que el junco destaca en la CE. Ambas plantas cumplen con los requisitos normativos, lo que garantiza la efectividad del tratamiento y la obtención de agua segura para el medio ambiente. Este hallazgo resalta la importancia de seleccionar la especie vegetal adecuada según los objetivos específicos del tratamiento de aguas residuales.

CONCLUSIONES

Se evaluó la eficiencia de la totora (*Schoenoplectus californicus*) y el junco (*Juncus effusus*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas en Moquegua demostrando que ambas plantas son eficientes en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados, cumpliendo con la normativa para descargas de aguas residuales.

Se realizó el análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual doméstica de Moquegua, el cual reveló una calidad deficiente en términos de sus propiedades al mostrar una ligera tendencia ácida con un pH de 6,62, una alta conductividad eléctrica de 1 066,00 µS/cm. Además, se encontraron niveles moderados de DBO_5 y DQO de 145,10 mg/l y de 349 mg/l, respectivamente, lo cual indica la presencia de materia orgánica y sustancias químicas oxidables, también se encontró una turbidez de 146,9 NTU. Por último, los coliformes totales presentaron una concentración de 1,60 x 10^9 NMP/100 ml y los coliformes fecales 1,60 x 10^9 NMP/100 ml, indicando la presencia de microorganismos patógenos.

Se determinó la eficiencia al emplear la totora (*Schoenoplectus californicus*) y junco (*Juncus effusus*) sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual tratada, lográndose

encontrar que la totora se destacó por su notable capacidad para reducir la DBO_5 en un 68,37 % y la DQO en un 68,58 %. Por otro lado, el junco sobresalió en la remoción de la conductividad eléctrica en un 29,67 %. Ambas plantas demostraron un efecto similar en el pH, manteniéndolo dentro de rangos neutrales de 7,56 a 7,79, así como en la remoción de turbidez con eficiencias del 92,21 % al 89,99 %. y un 99,99 % en la remoción de los coliformes totales y termotolerantes.

Se determinó el contenido de cenizas en la totora (*Schoenoplectus californicus*) y el junco (*Juncus effusus*) antes y después del tratamiento de aguas residuales, hallándose un aumento en el contenido de cenizas en la totora de 9,68 % a 9,99 %, mientras que en el junco incremento de 8,17 % a 8,27 %

RECOMENDACIONES

Realizar una evaluación de la eficacia de otros indicadores de control fisicoquímico en el agua residual, como el nitrógeno, fósforo y metales pesados y añadiendo como variable distintos tiempos de retención, con el objetivo de obtener una comprensión más completa del proceso de descontaminación del agua residual al aplicar estos parámetros. Esto permitirá determinar si el agua tratada cumple con los estándares necesarios para su reutilización y cuál es el tiempo de retención óptimo.

Realizar el estudio durante las estaciones de otoño e invierno con el propósito de analizar cómo se desarrollan las especies en estas condiciones específicas y determinar si la capacidad de eliminación del sistema es comparable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Ajalin, F., Idris, M., Abdullah, S., Kurniawan, S., & Imron, M. (2020). Evaluation of short-term pilot reed bed performance for real domestic wastewater treatment. *Environmental Technology & Innovation*, *20*(1), 101110. https://doi.org/10.1016/J.ETI.2020.101110

Amado, J., Pérez, P., Alatorre, L., Olguín, J., Ramírez, O., Segovia, E. F., & Alarcón, J. (2018). Análisis multiespectral para la estimación de la turbidez como indicador de la calidad del agua en embalses del estado de Chihuahu, México. *Revista Geográfica de América Central*, *1*(62), 49. https://doi.org/10.15359/rgac.62-1.2

Ancalle, C., & Ledesma, W. (2020). *Caracterización de las aguas residuales en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Yauli - Huancavelica*. Universidad Nacional de Huancavelica.

Andrade, K. (2020). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Eichhornia crassipes Mart. (Jacinto de agua), Pistia stratiotes l. (lechuga de agua) en el tratamiento de aguas residuales domésticas procedentes de la planta de tratamiento de aguas residuales en* [Universiad Nacional de Loja]. http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11868/1/Kelvin Cristian Andrade Jiménez.pdf

Aponte, B., Rodriguez, C., Perico, N., & Niño, I. (2018). Fitorremediación en aguas residuales sin tratamiento previo. Caso: Tierra Negra, Boyacá. *Revista de Tecnología*, *17*, 37–48. https://revistas.unbosque.edu.co/index.php/RevTec/article/view/2950

Baldeón, L., Arias, J., Martinez, C., & Cruz, M. (2017). Eficiencia de la especie macrófita Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adopción al medio en una laguna experimental. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, *3*(1), 79–93. https://doi.org/10.17162/rictd.v3i1.650

Bustamante, E., & Pérez, W. (2019). *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales municipales utilizando las especies junco typha sp y vetiver chrysopogon zizanioides en el distrito de Saposoa*. Universidad Peruana Unión.

Cáceres, D., Calisaya, G., & Bedoya-Justo, E. (2021). Eficiencia de Eisenia foetida, Eichornia crassipes e hipoclorito de calcio en la depuracion de aguas residuales domésticas en Moquegua, Perú. *Ecología Aplicada*, *20*(1), 83–92. https://doi.org/10.21704/rea.v20i1.1692

Calero, A. (2020). *Caracterización de la relación DQO (Demanda Química de Oxígeno)/DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) en los efluentes líquidos residuales de industrias localizadas en Montevideo* (Vol. 20) [Universidad de la republica de Uruguay]. https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/39096/1/TG_Calero.pdf

Carranza, A., & Plasencia, T. (2018). *Tratamiento de los lixiviados generados en la planta de residuos sólidos de Cajamarca con humedales artificiales de juncus balticus willd junco y shoenoplectus californicus totora*. Universidad Privada del Norte.

Carreño, U. (2016). Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la Eichhornia crassipes. *Revista Colombiana de Biotecnología*, *18*(2), 74. https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.52271

Castillo, B. (2022). *Trabajo de suficiencia profesional en el área de control de calidad biológica de una planta de tratamiento de agua potable Para optar el Título Profesional de Biólogo Microbiólogo* [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/18928/Castillo_gb.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chumpitaz, L., & Morales, R. (2022). *Estudio y evaluación del agua tratada proveniente de las plantas de tratamiento de Surco y San Borja para la elaboración de concreto en Lima metropolitana.* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/625052/Chumpitaz_DL.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Coaquira, A. (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*. Universidad Peruana Unión.

Coayla, Y., Ayca, F. J., Bedoya, E., & Huarhua, T. (2018). Phytoremediation of Domestic Wastewater With. *REVISTA CIENCIA Y TECNOLOGÍA Para El Desarrollo-UJCM 2*, *4*, 30–37.

Coronel, E. (2016). "Eficiencia del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) y Lenteja de agua (Lemma minor) en el tratamiento de las aguas

residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza [Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.Chachapoyas.]. In *Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.Chachapoyas.* http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/657/EFICIENCIA DEL JACINTO DE AGUA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cubas, J., & Mireles, G. (2020). Eficiencia del humedal artificial con totora (scirpus californicus) en la depuración de efluentes de las lagunas de estabilización del CP La otra banda [Universidad de Lambayeque]. In *Universidad De Lambayeque Facultad*. https://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/339/1/Tesis Guarniz y Meoño.pdf.

Curasma, M., & Sandoval, E. (20120). *Evaluación de la eficiencia de un sistema integrado de biopelícula y fitorremediación con nasturtium officinale (berro) para el tratamiento de agua residual municipal en Huancavelica*. Univeridad Nacional de Hunacavelica.

Diaz, J. (2018). *Control de parametros de funcionamiento de la planta de tratamiento San José de los efluentes domésticos con la finalidad de optimizar su funcionamiento, en la empresa minera Pan American Silver S.A.C - unidad operativa Huaron* [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion]. http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/791

Fernández, A., Izquierdo, P., Kutchynskaya, C., Allara, M., Piñero, M., & García, A. (2016). Efecto del Tiempo y Temperatura de Almacenamiento Sobre la Calidad Microbiológica de Carne de Hamburguesa. *Rev. Cient. (Maracaibo)*, 2. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-

22592006000400013#:~:text=La temperatura óptima de crecimiento,41°C %5B2%5D.

Gamboa, M. (2017). Efecto del tiempo y radiación solar sobre las macrófitas flotantes para la reducción de la DBO del agua del canal Mochica - Moche. *Universidad César Vallejo*.

García, C., & Urbina, B. (2020). The variation of the coastline causes an impact in the environmental, social and economic sphere in the reed horse fishing. *Universidad y Sociedad*, *12*(4), 218–222.

Gómez, L., Martínez, N., Enríquez, D., Garza, F., & Nájera, J. (2021). Análisis proximal y de composición mineral de cuatro especies de hongos ectomicorrízicos silvestres de la Sierra Tarahumara de Chihuahua. *Alconpat, Revista*, *11*(2), 1–16. chrome-extension://dagcmkpagjlhakfdhnbomgmjdpkdklff/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Frevistaalconpat.org%2Findex.php%2FRA%2Farticle%2Fdownload%2F484%2F892

Gomez, M. (2017). *Evaluacion de la eficiencia de humedales artificales verticales empleando Cyperus alternifolius Y Chrysopogon zizanioides para el tratamiento de aguas servidas*. Universidad Nacional Agraria la Molina.

Gonzales, A. (2018). *Influencia de la putacca y totora para la fitoestabilización en los depositos de relaves mineros en la compañía minera tambo del condor SRL- Ayacucho - 2017* [Universidad Nacional de Huancavelica]. https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/3fb6fa1d-1b6f-448d-a5a1-a349eed00b4c/content

Guerra, J. (2022). *Eficiencia del humedal artificial utilizando tamices flotantes con la especie totora (Scirpus Californicus) en la depuración de aguas residuales municipales*. Universidad Nacional de San Martín.

Guevara, S., & Eduardo, V. (2022). *Tratamiento de aguas servidas a través del cultivo de plantas de junco en el distrito de San Pablo, provincia de San Pablo*. Universidad Privada del Norte.

Hancco, C. (2020). Evaluacion de la influencia de la ptar en la parte baja de la intercuenca del rio moquegua. In *Repositorio de Tesis de la Universidad Agraria la MolinaUniversidad Nacional Agraria La Molina*. Universidad Nacional Agraria la Molina.

Hernández, J., & Vargas, D. (2021). *Eficiencia entre Schoenoplectus californicus y Phragmites australis, mediante diseños de humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales, AgroVictoria, Ica, 2021*. Universidad César Vallejo.

Hidalgo, M. (2018). Tratamiento del agua en atajados del Chaco Boliviano , mediante tecnología biológica y su valoración económica. *Revista de Investigación Agropecuaria y Forestal Boliviana - RIAFB*, *2*, 10. https://www.bcb.gob.bo/eeb/sites/default/files/7eeb/docs/7093.pdf

Isea, D., Vargas, L., Durán, J., Delgado, J., & Mendoza, R. (2015). Parámetros biocinéticos que rigen la ecuación de la DBO en aguas residuales de una industria procesadora de cangrejos. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, *38*, 112–121. https://ve.scielo.org/pdf/rtfiuz/v38n2/art03.pdf

Lahiguera, J. (2016). *Aplicacion de macrofitas acuaticas en el trata miento de aguas residuales urbanas y sus subproductos mediante humedales*

artificiales [Universidad de Alicante]. https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=61313

Luna, V. (2014). *Evaluación de mezclas alimenticias en base a totoral (scirpus californicus) y maca(Lepidium peruvianum chacón) para cuyes (cavia porcellus) de recria en una granja familiar en el distrito de Junìn* (Issue July) [Universidad Nacional del Centro del Peru]. http://elibrary.almaata.ac.id/1714/%0Ahttps://osf.io/yejcm/%0Ahttp://elibrary.almaata.ac.id%0Ahttps://bmjopen.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bmjopen-2019-030624%0Ahttps://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/JPKMI/article/view/2758%0Ahttp://stikara.ac.id/jupermik

Malacatus, P., Chamorro, E., & Orellana, G. (2016). Análisis de eficiencia de remoción de contaminantes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en extracción de aceite de palma. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, *1*(2), 61–68. https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.888

Mamani, M., & Ccorimanya, S. (2021). *Eficiencia de la PTAR Huaytire II mediante el SYSTEM O)) en la comunidad de Huaytire, provincia de Candarave, Tacna - 2021*. Universidad Continental.

Mellado, G. (2018). *Determinación de la eficiencia de tres especies macrófitas para el tratamiento de aguas residuales domésticas*. Universidad Nacional Federico Villarreal.

Mendoza, Y., Pérez, J., & Galindo, A. (2018). Evaluación del aporte de las plantas acuáticas pistia stratiotes y eichhornia crassipes en el tratamiento de aguas residuales. *Informacion Tecnologica*, *29*(2), 205–

214. https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000200020

Mier, M., & Noruega, F. (2017). *Efecto de cinco dosis de probiotico bioseptic en la descomposición de totora (schoenoplectus californicus) y su evaluación en el cultivo de lechuga (lactuca sativa l.) en Yahuarcocha* [Universidad Tecnica del Norte]. http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/176/2/03 AGP 33 TESIS.pdf

Morocco, S., & Paye, K. (2022). *Efecto de Typha angustifolia L. (Totora) y Phragmites australis (carrizo) en la remoción de nutrientes en la planta de tratamiento de agua residual Omo - Moquegua, 2021*. Universidad Continental.

Muñoz, K., & Vasquez, M. (2020). *Estudio de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales de cinco especies de macrófitas*. Universidad Privada del Norte.

Nuñez, E., Saboya, N., & Cruz, M. (2019). Oxidacion y filtracion con conchas abanico el tratamiento de aguas residuales del camal de Cajamarca. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, *5*(2). https://doi.org/10.17262/rictd.v5i2.886

Poveda, A. (2014). *Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el Cantón Ambato, provincia de Tungurahua* [Universidad Tecnica de Ambato]. http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/8455

Quintero, J. (2014). Evaluación de humedales artificiales pilotos de flujo horizontal y tipo superficial y subsuperficial para el tratamiento de

aguas residuales. *Ingenium Revista de La Facultad de Ingeniería*, *15*(29), 85. https://doi.org/10.21500/01247492.1347

Quispe, M. (2017). *Los efectos de los parámetros operativos en el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales Omo de Moquegua - 2017*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

Reyes, W. (2020). Optimización del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la implementación del sistema MBBR en la provincia Cayllo [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. In *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15532/Reyes_aw.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rubio, J., & Montenegro, A. (2018). *Humedal Artificial en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la 3ra Brigada de Fuerzas Especiales, batallón de servicios N° 300, Distrito de Rioja, Provincia de Rioja, Departamento de San Martin*. Universidad Nacional de San Martín.

Sánchez, V., Palomino, P., & Malpartida, R. (2021). Eficiencia de humedales artificiales de totora y berros sobre efluentes de granja porcícola, Perú. *Revista Alfa*, *5*(14), 192–203. https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.110

Sandoval, J. (2019). Eficiencia Del Jacinto De Agua Eichhornia Crassipes Y Lenteja De Agua Lemna Minor L. En La Remoción De Cadmio En Aguas Residuales [Universidad Nacional Ferderico Villareal]. In *Univerdad Nacional Federico Villareal*. https://repositorio.ufv.edu.pe/handle/UPEU/3290

SINIA. (2021). *Descargas de aguas residuales domésticas sin tratamiento*. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. https://sinia.minam.gob.pe/informacion/tematicas?tematica=01

Solas, C. (2014). El junco. *En-Claves Del Pensamiento*, *VIII*(15), 171–193. http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v12n4/2218-3620-rus-12-04-218.pdf

SUNASS. (2022). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras*.

Vargas, L. (2021). *Evaluación de Eichhornia crassipes y Lemna minor en la remoción de parámetros de las aguas residuales domésticas de la quebrada Azungue de la ciudad de Moyobamba, 2015*. Universidad Nacional de San Martin.

Velazquez, N., Martinez, M., & Quiroz, M. (2014). Características y usos de plantas acuaticas. *Scielo*, *1*(112 SSA1 1994), 1–13.

Wiessner, U., Kappelmeyer, M., Kaestner, L., Schultze-Nobre, P., & Kuschk, L. (2013). Response of ammonium removal to growth and transpiration of Juncus effusus during the treatment of artificial sewage in laboratory-scale wetlands. *National Library of Medicine*. https://doi.org/10.1016/j.waters.2013.04.045.

Yáñez, S. (2018). *Influencia del pH en la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en humedales construidos de flujo vertical*. Universidade da Coruña.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Título: Eficiencia de la totora (*Schoenoplectus californicus*) y el junco (*Juncus effusus*) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en Moquegua

Formulación del problema	Hipótesis específica	Objetivos específicos	Variables	Indicadores	Métodos	Unidad de medida
¿Cuáles son las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual doméstica?	El análisis fisicoquímico y microbiológico del agua residual doméstica de Moquegua permite determinar sus características.	Analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual doméstica de Moquegua.	**Independiente** Agua residual domestica de Moquegua **Dependiente** Características	Fisicoquímica Microbiológica	pH Conductividad eléctrica DBO_5 DQO Turbidez Coliformes totales Coliformes fecales	Unidades pH µS/cm mg/l mg/l NTU NMP/100 ml NMP/100 ml
¿Cuál es la eficiencia al emplear la totora (*Schoenoplectus californicus*) y junco (*Juncus effusus*) sobre las características fisicoquímicas del agua residual tratada?	La totora (*Schoenoplectus californicus*) y junco (*Juncus effusus)* tienen efecto sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual tratada.	Determinar la eficiencia al emplear la totora (*Schoenoplectus californicus*) y junco (*Juncus effusus*) sobre las características fisicoquímicas y microbiologicas del agua residual tratada.	**Independiente** X_1: Tratamiento con totora X_2: Tratamiento con junco **Dependiente** Eficiencia	Fisicoquímica Microbiológica	pH Conductividad eléctrica DBO_5 DQO Turbidez Coliformes totales Coliformes fecales	Unidades pH µS/cm mg/l mg/l NTU NMP/100 ml NMP/100 ml
¿Cuál es el porcentaje de cenizas en la totora (*Schoenoplectus californicus*) y junco (*Juncus effusus*) antes y después del tratamiento de aguas residuales?	El contenido de cenizas en la totora *(Schoenoplectus californicus)* y el junco (*Juncus effusus*) son iguales antes y después del tratamiento de las aguas residuales	Determinar el contenido de cenizas en la totora (*Schoenoplectus californicus*) y el junco (*Juncus effusus*) antes y después del tratamiento de aguas residuales.	**Independiente** X_1: Totora antes del tratamiento X_2: Totora después del tratamiento X3: Junco antes del tratamiento X4: Junco después del tratamiento **Dependiente** Y1: Contenido de cenizas	Totora Junco	Contenido de cenizas Contenido de cenizas	% %

Anexo 2. Panel fotográfico del trabajo experimental

Figura 3

Recolección del agua residual doméstica – canal PTAR Omo

Figura 4

Análisis del agua residual doméstica

Figura 5

Recolección de macrófitas

Figura 6

Construcción de los sistemas de humedales (tratamientos)

Nota. A: Adecuación de humedales, B: Plantación en humedales.

Figura 7

Sistemas de humedales (tratamientos) con el agua residual doméstica

Figura 8

Muestreo del agua tratada de los sistemas de humedales (tratamientos)

Figura 9

Determinación de cenizas en el laboratorio de química orgánica

Figura 10

Cenizas de la totora

Anexo 3. Informe de análisis de laboratorio

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO Nº LE - 096

INACAL
D.A. - Perú
Registro N° LE - 096

IAS
ACCREDITED
IAS TL-5007

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-5263

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: GERSON ELISBAN ALARCON MAQUERA
2.-DIRECCIÓN	: ASC. NUEVA CUCHUMBAYA MZ B1 LOTE 10 SAN ANTONIO
3.-PROYECTO	: EFICIENCIA DE LA TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS) Y EL JUNCO(JUNCUS EFUSUS) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN MOQUEGUA
4.-PROCEDENCIA	: MOQUEGUA
5.-SOLICITANTE	: GERSON ELISBAN ALARCON MAQUERA
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000001260-2023-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-04-18

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Agua Residual
2-NÚMERO DE MUESTRAS	: 1
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-03-29
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2023-03-29 al 2023-04-18

Liz Y. Quispe Quispe
Jefe de Laboratorio
CIP N° 211662

Marleni V. Rivera Castromonte
Supervisor de Laboratorio de Microbiología e Hidrobiología
CIP N° 16639

Los resultados contenidos en el presente documento sólo estan relacionados con los items ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-5263

II. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) [2]	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F,2, 24th Ed. 2022.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.
Coliformes Totales (NMP) [2]	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 24th Ed. 2022.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
Conductividad [1]	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B 23rd Ed. 2017.	Conductivity. Laboratory Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno [2]	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24th Ed. 2022.	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
pH [1]	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017.	pH Value. Electrometric Method
Sólidos Suspendidos Totales [2]	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 24th Ed. 2022.	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103- 105°C.
Demanda Química de Oxígeno [2]	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24th Ed. 2022.	Chemical Oxygen Demand by Closed Reflux, Colorimetric Method.

"SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

[1] Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

[2] Ensayo acreditado por el IAS

[*] El Ensayo indicado no ha sido acreditado

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO Nº LE - 096

INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado

Registro N° LE - 096

IAS ACCREDITED Testing Laboratory

IAS TL-0307

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-5263

IV. RESULTADOS

ITEM	1
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-23-15173
CÓDIGO DEL CLIENTE:	M1
COORDENADAS:	E:0291413.6186
UTM WGS 84:	N:8097582.046
PRODUCTO:	Agua Residual
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Doméstica
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :	09-11-2023 11:40

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) [1]	NMP/100mL	NA.	1.8	1 600 000 000,0
Coliformes Totales (NMP) [1]	NMP/100mL	NA.	1.8	1 600 000 000,0
Conductividad (*)	µS/cm	NA.	0.01	1 048,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno [1]	mg/L	0.4	2.0	165,1
pH (**)	Unidad de pH	NA.	NA.	6,83
Sólidos Suspendidos Totales [1]	mg/L	2.0	5.0	105,0
Demanda Química de Oxígeno [1]	mg/L	2.0	5.0	349,0

[1] Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA.

[ ] El Ensayo indicado no ha sido acreditado.

L.C.M. : Límite de cuantificación del método, "<" = Menor que el L.C.M.
L.D.M. : Límite de detección del método, "<" = Menor que el L.D.M.

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"