



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**APLICACIÓN DE LA MICROALGA CHLORELLA SP. PARA LA
REMOCIÓN DE NUTRIENTES DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. RUDY PERCY CONDORI MAMANI

Bach. RONAL AGUSTO CUENTA QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO - PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**APLICACIÓN DE LA MICROALGA CHLOR
ELLA SP. PARA LA REMOCIÓN DE NUTRI
ENTES DE AGUAS RESIDUALES DOMÉST
IC**

AUTOR

**RUDY PERCY Y RONAL AGUSTO COND
ORI MAMANI Y CUENTA QUISPE**

RECuento DE PALABRAS

18119 Words

RECuento DE CARACTERES

100187 Characters

RECuento DE PÁGINAS

109 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.1MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 15, 2024 12:02 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jan 15, 2024 12:03 PM GMT-5

● **18% de similitud general**

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

- 14% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 13% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 9 palabras)



Lidia Ensuño Romero Iruri
Dra. Lidia Ensuño Romero Iruri
DIRECTORA DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FIQ. UNA - PUNO

Lidia Ensuño Romero Iruri
Dra. Lidia Ensuño Romero Iruri

Resumen



DEDICATORIAS

“A Dios”:

Por cuidarme y brindarme voluntad para proseguir en este objetivo de obtención uno de las aspiraciones más deseados, por brindarme la salud necesaria para alcanzar mis metas. Tu eres mi ángel protector momento a momento.

A mis amados padres:

Wenceslao Condori mochica y María Mamani vilca, por su apoyo constante y sabias enseñanzas, inculcándome, valores y responsabilidad, Gracias a su apoyo, he logrado superar los momentos difíciles y me ha motivado a alcanzar mis metas con determinación.

A mis hermanos:

Lizardo, Ruth y Álvaro, Agradecerte por estar a mi lado en los momentos más cruciales, por brindarme apoyo cuando más lo requería. Este logro es también de ustedes.

A los docentes:

Por haberme compartido, transmitido e inculcado todos sus conocimientos mediante sus enseñanzas y poder realizar este objetivo.

RUDY PERCY CONDORI MAMANI



Al prójimo por brindarme salud, para llegar a concretar Mi principal objetivo es cultivar un crecimiento personal constante.

A mis padres: Moisés Enrique Cuenta Ccaso y Segundina Quispe Huahuacondori quienes Dios lo eligió para serlo de la mejor para mi persona a esas dos personas les debo la vida quienes dieron todo y sin duda alguna, no me alcanzara nada para devolverlos lo que han hecho por mí, en todo tiempo me apoyaron creyeron en mi incondicionalmente.

A mi pareja Ruth Nélide y a mi hija Yetziri Briana Cuenta Q. quienes han sido mi mayor sustento y el apoyo que me brindaron para continuar a lo largo de este proyecto.

A mis hermanos: Néstor, Cleofina, Irene, Melania, David, sobrinos(as), quienes me apoyaron moralmente.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis amigo de la Universidad Nacional del Altiplano. Juntos, hemos compartido momentos inolvidables y gratificantes que han iluminado nuestros días con pura felicidad y tristeza con quienes compartimos conocimientos adquiridos en casa materna

RONAL AGUSTO CUENTA QUISPE



AGRADECIMIENTOS

Expreso mi profundo agradecimiento a Dios por su constante guía, dirección y protección a lo largo de mi vida.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional del Altiplano en Puno, nuestra venerada casa de estudio.

A los educadores de vuestra escuela de Ingeniería Química por impartir sabios aptitudes, sabiduría y consejos en mi educación profesional.

Finalmente, a todo mis amigos, compañeros y personas que fui conociendo a través del tiempo, que en más de una oportunidad me ayudaron a seguir adelante, mis agradecimientos a todos ustedes. Por todas las increíbles experiencias que viví durante mi formación profesional.

RUDY PERCY CONDORI MAMANI

Eternamente el agradecimiento a Dios por su constante guía y concederme la voluntad de vencer mis retos y obstáculos en esta vida.

Gratitud y apoyo incondicional de mi madre Segundina, padre Moisés Enrique, que sin ninguna duda me ha demostrado su amor, rectificando mis errores y elogiando mis logros.

Mi gratitud a mis docentes de nuestra carrera profesional de INGENIERA QUÍMICA por cumplir sus aptitudes, sabiduría y consejos en mi formación educativa.

A todos los amigos y personas que fui conociendo a lo largo de mi formación profesional, que en más de una oportunidad me apoyaron mis agradecimientos a todos ustedes. por todos momentos vividos inolvidables y experiencias compartidas a lo largo de mi formación profesional.

RONAL AGUSTO CUENTA QUISPE



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIAS	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.1.1. Objetivo general	19
1.1.2. Objetivos específicos.....	19
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.2.1. Problema general.....	20
1.2.2. Problemas específicos	20
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.3.1. Hipótesis general	21
1.3.2. Hipótesis específicas	21
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	21
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	23



2.2.1. A nivel internacional	23
2.2.2. A nivel nacional	29
2.2.3. A nivel regional.....	31
2.3. MARCO TEÓRICO	32
2.3.1. Agua residual.....	32
2.3.2. Componentes del agua residual.....	33
2.3.3. Contaminación de los cuerpos de agua	36
2.3.4. Nutrientes en el agua residual	37
2.3.5. Nitrógeno.....	38
2.3.6. Fosforo	40
2.3.7. Uso de las microalgas en el tratamiento de aguas residuales	41
2.3.8. Eliminación de nitrógeno y fosforo.....	42
2.3.9. Microalgas.....	43
2.3.10. Clasificación de microalga	43
2.3.11. Especies de microalgas.....	43
2.3.12. Chlorella Sp.....	43
2.3.13. Parámetros que influyen en el crecimiento de las microalgas	44
2.3.14. Protocolo para el recuento celular con cámara de Neubauer	47

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	49
3.2. LUGAR DEL ESTUDIO	49
3.3. POBLACIÓN	50
3.4. MUESTRA.....	50
3.5. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS	52



3.5.1. Materiales	52
3.5.2. Equipos.....	52
3.5.3. Reactivos	52
3.6. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	52
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. RESULTADOS.....	62
4.2. DISEÑO ESTADÍSTICO	76
V. CONCLUSIONES.....	85
VI. RECOMENDACIONES	86
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
ANEXOS.....	94

Área: Tecnología ambiental y recursos naturales

Tema: Aplicación de la microalga *chlorella sp.* para la remoción de nutrientes de aguas residuales domésticas de la ciudad de puno

Fecha de sustentación: 18 de enero del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Ubicación del punto de muestreo.....	49
Tabla 2 Método de análisis	53
Tabla 3 Resultados del agua residual doméstica.....	62
Tabla 4 Control diario de la temperatura	63
Tabla 5 Control diario del pH.	65
Tabla 6 Concentración celular durante el tratamiento	66
Tabla 7 Concentración celular durante el tratamiento (replica).....	67
Tabla 8 Resultados del tratamiento (1)	69
Tabla 9 Promedio de los resultados (1).....	69
Tabla 10 Resultados del tratamiento (2)	70
Tabla 11 Promedio de los resultados (2).....	70
Tabla 12 Resultados del tratamiento (3)	71
Tabla 13 Promedio de los resultados (3).....	71
Tabla 14 Comparación de la concentración inicial con el tratamiento de nitratos (NO ₃)	72
Tabla 15 Comparación de la concentración inicial con el tratamiento de fosfatos (PO ₄).....	73
Tabla 16 Porcentaje de remoción de nitratos	74
Tabla 17 Porcentaje de remoción de fosfatos	75
Tabla 18 Resumen del modelo del procedimiento del porcentaje adecuado Dosis de microalga <i>Chlorella Sp</i> , en la remoción nitratos.....	78
Tabla 19 ANOVA	79
Tabla 20 Ecuación de regresión	80



Tabla 21	Resumen del modelo del procedimiento del porcentaje adecuado Dosis de microalga <i>Chlorella Sp</i> , en la remoción fosfatos.	81
Tabla 22	ANOVA	83
Tabla 23	Ecuación de regresión	83



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Estados de oxidación.....	41
Figura 2 Vista microscópica de <i>Chlorella</i> Sp.	44
Figura 3 Vista microscópica de la cámara de neubauer	46
Figura 4 Ubicación del punto de muestreo el Espinar – Puno	50
Figura 5 Toma de muestra del efluente	51
Figura 6 Determinación inicial de los nutrientes del agua residual doméstica	57
Figura 7 Acondicionamiento del cultivo	58
Figura 8 Control del crecimiento microalgal.....	59
Figura 9 Muestras de microalgas con agua residual decantadas	60
Figura 10 Determinación de nutrientes después del tratamiento	61
Figura 11 Curva de crecimiento	66
Figura 12 Curva de crecimiento (replica).....	68
Figura 13 Resultados de los nitratos frente a la concentración inicial	72
Figura 14 Resultados de los fosfatos frente a la concentración inicial.....	74
Figura 15 Dispersión Simple de remoción de nitratos (NO_3) (mg/L) por Dosis microalga <i>Chlorella</i> Sp (%).....	81
Figura 16 Dispersión Simple de remoción de fosfatos (PO_4) (mg/L) por Dosis microalga <i>Chlorella</i> Sp (%).....	84
Figura 17. Ubicación del punto de muestreo.....	102
Figura 18. Cepa de microalga <i>Chlorella</i> Sp.....	102
Figura 19 Acondicionamiento de microalga con agua residual	103
Figura 20 Control de pH y temperatura.....	103
Figura 21 Tratamiento al 10mo día	104



Figura 22 Agua residual tratada con microalgas	104
Figura 23. Control diario del crecimiento microalgal	105



ACRÓNIMOS

°C:	Grados Celsius
E:	Este
mg/l:	Miligramos por litro
N:	Norte
NO₃:	Nitratos
L:	Litros
PO₄:	Fosfatos
pH:	Potencial de hidrogeno
R:	Replica
SM:	Métodos estandarizados
T:	Temperatura
W:	Watts
%:	Porcentaje



RESUMEN

El propósito fundamental de la presente investigación abordó la aplicación de la microalga “*Chlorella Sp*”, optimizar la extracción de nutrientes de las aguas residuales de la ciudad de Puno. El procedimiento de aguas servidas comunitaria e industriales nos pide de consideración atención con la sociedad y estudiosos debido a que, los efluentes causan problemas de contaminación. El método de investigación es aplicado, de nivel explicativo, de enfoque cuantitativo que corresponde a un diseño experimental, ya que su finalidad es recolectar datos del tratamiento frente a concentración inicial. Los resultados iniciales obtenidos fueron en cuanto a nitratos (NO_3^-) fue de 34 mg/L, los fosfatos (PO_4^{3-}) fue de 26.6 mg/L y el pH de 7.18 el tratamiento se realizó con microalgas *Chlorella Sp*. Considerando las siguientes dosis de microalga 5%, 15%, 30% y 50% con su respectiva réplica obteniendo como resultado con una dosis del 30% se obtuvo una acumulación de nitratos “(NO_3^-)” 3.5 mg/L y para fosfatos (PO_4^{3-}) 1.95 mg/L obteniendo estos resultados se pudo observar que la microalga se obtuvo un porcentaje de remoción de 89.7% para nitratos (NO_3^-) y el 92.7% para fosfatos (PO_4^{3-}) estas respuestas se obtuvieron en el día 12 del tratamiento. Esta intervención de investigación demuestra la idoneidad de la microalga “*Chlorella Sp*”. Para la extracción de nutrientes de las aguas residuales.

Palabras claves: Agua residual, *Chlorella Sp*., nutrientes, remoción.



ABSTRACT

The main objective of this research project is to apply the microalgae *Chlorella Sp.* for the removal of nutrients from domestic wastewater in the city of Puno. The treatment of domestic and industrial wastewater requires special attention from society and researchers because the discharges cause serious pollution problems. The type of research is applied, explanatory level, with a quantitative approach that corresponds to an experimental design, since its purpose is to collect data on the treatment versus the initial concentration. The initial results obtained were that nitrates (NO_3^-) were 34 mg/l, phosphates (PO_4^{3-}) were 26.6 mg/L and pH was 7.18. The treatment was carried out with *Chlorella Sp.* microalgae. Considering the following doses of microalgae 5%, 15%, 30% and 50% with their respective replica, obtaining as a result with a dose of 30% a nitrate concentration (NO_3^-) of 3.5 mg was obtained. /l and for phosphates (PO_4^{3-}) 1.95 mg/L obtaining these results it was possible to observe that the microalgae presented a removal percentage of 89.7% for nitrates (NO_3^-) and 92.7% for phosphates (PO_4^{3-}) these results were obtained on day 12 of the treatment. This research project demonstrates the efficiency of the microalgae *Chlorella Sp.* for the removal of nutrients from wastewater.

Keywords: Wastewater, *Chlorella Sp.*, nutrients, removal.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Actualmente es indiscutible la existencia de los cambios climáticos a nivel mundial, Cambios generan impactos, como cambios climáticos, períodos de sequía, inundaciones y/o acidificación de los océanos, con repercusiones tanto a escala local como global. (Chen et al., 2010).

Cuando se liberan sustancias orgánicas e inorgánicas en el medio ambiente, provocan la eutrofización de las masas de agua. (Rawat et al., 2011), Donde las cantidades de nitrógeno y fósforo pueden ser tres veces superiores a las habituales. (Pérez & Labbé, 2014).

Actualmente, aunque la importancia del agua dulce se reconoce universalmente más que nunca, y aunque los problemas relacionados con la administración razonable del agua encontramos en todas las agendas científicas, sociales o políticas del mundo, los recursos hídricos parecen enfrentar severos desafíos cuantitativos y económicos. Las amenazas cualitativas se manifiestan de manera significativa debido al aumento de la contaminación, la intensificación de la industrialización y el crecimiento económico. Estos factores imponen riesgos sustanciales a la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos en diversos lugares del planeta. (Abdel et al., 2012).

En el presente, el procedimiento de aguas servidas domésticas en su generalidad de los países avanzados en regiones con aire cálido radica en la acción de bacterias heterótrofas (aerobias y anóxicas) y nitrificantes en fases oxigenados por medio de aeración mecánica en una serie de etapas aerobias, anóxicas y anaerobias interconectadas. Con avance tecnológico, principalmente puesto en marcha en sistemas de lodos activos,



aptos para eliminar carbono, nitrógeno y fósforo hasta niveles satisfactorios (marcados por la legislación vigente), a costa de un elevado consumo energético y un impacto medioambiental (elevada huella de carbono y pérdida de nutrientes) (Bolado et al., 2014).

Las microalgas desempeñan un papel crucial en un biosistema alternativo que ha despertado interés en el ámbito del tratamiento de aguas residuales. Su notable capacidad para eliminar eficazmente cantidades significativas de nitrógeno (N) y fósforo (P) a lo largo de su fase de desarrollo ha dado lugar a numerosas investigaciones en este ámbito. (Chacón et al., 2002).

Las microalgas han demostrado ser excelentes biorremediadores gracias a su rápido crecimiento y contenido nutricional (Ophtanie, 2020). En los últimos 10 años, los investigadores han estudiado ampliamente el comportamiento de varias especies en el proceso de eliminación de compuestos de nitrógeno y fósforo tanto de las aguas residuales como de las mezclas producidas. (Muñoz, 2015). En líneas generales, los estudios sobre la ficorremediación de aguas residuales domésticas y comerciales revelan valores de biomasa que oscilan entre 27 y 160 mg/L/día, logrando una eliminación del nitrógeno total del 80 al 100%, del nitrógeno amoniacal entre el 81 y el 99%, y del fósforo entre el 88.6 y el 99% (Ophtanie, 2020).

Este estudio de investigación se estructura en varias secciones fundamentales que proporcionan una visión detallada de la investigación realizada. En el Capítulo I, titulado "Introducción", se abordan los propósitos del estudio, se realiza un análisis de la dificultad, se plantean las hipótesis y se presentan los hallazgos de la investigación. El Capítulo II, denominado "Revisión Bibliográfica", se dedica a la verificación de la bibliografía, donde se examinan estudios previos y se establece el marco teórico de la investigación. En el Capítulo III, titulado "Materiales y Metodología", se detalla el ámbito



de estudio, el procedimiento de investigación y se proporciona una especificación pormenorizada de los procedimientos según los objetivos específicos. El capítulo IV contiene la sección "Resultados y discusión", a la que siguen las conclusiones, sugerencias, referencias bibliográficas y anexos. Estas secciones adicionales aportan más información y corroboran los resultados comunicados en la investigación.



1.1. “OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN”

1.1.1. Objetivo general

- Aplicar la microalga “(*Chlorella Sp*)”. para la eliminación de nutrientes de aguas residuales domesticas de la ciudad de Puno

1.1.2. Objetivos específicos

- Analizar la acumulación inicial de nitratos y fosfatos de las aguas remanentes domésticas.
- Adecuar las condiciones de cultivo al crecimiento proporcionado de la microalga *Chlorella Sp.* durante el tratamiento a escala laboratorio
- Evaluar el porcentaje de eliminación de nitratos y fosfatos de las aguas residuales domesticas con el cultivo de la microalga “*Chlorella Sp*” a escala laboratorio.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La mayoría de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales residenciales en funcionamiento en Perú carecen de unidades de eliminación de nitrógeno y fósforo. (Sucasaca, 2019). Las instalaciones de tratamiento de aguas residuales liberan importantes cantidades de nitrógeno y fósforo, que contribuyen directamente a la eutrofización del medio ambiente local. (Abdel et al., 2012).

La gestión de aguas residuales domésticas y comerciales constituye un tema de vital importancia que demanda una atención especial tanto por parte de la sociedad como de los científicos. Esto se debe a que los afluentes generan problemas significativos de contaminación, amenazando la salud pública, provocando la eutrofización y, en algunos casos, conduciendo a la muerte de los ecosistemas acuáticos. Además, este fenómeno



impone restricciones a la agroexportación y contribuye al aumento de los costos asociados al tratamiento del agua destinada al abastecimiento poblacional. (Riva, 2018).

El principal método para lograr la eficacia en el tratamiento terciario de las aguas residuales consiste en seleccionar flujos que tengan bajas cantidades de contaminantes. La Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Taboada emplea la absorción de nutrientes, la reducción de coliformes totales y el uso de reactivos químicos para tratar estos fluidos. Se ha detectado la existencia de estas sustancias en las aguas residuales que entran en la instalación. En el proceso de gestión se destacan las ventajas de utilizar géneros de microalgas como *Chlorella sp.* y *Desmodesmus sp.* Aparte de algunas especies de cianobacterias, estos microorganismos han demostrado ser muy eficaces en el tratamiento de muchos tipos de aguas residuales, especialmente las procedentes de depuradoras industriales y urbanas convencionales. (Ponte, 2019).

1.2.1. Problema general

- ¿Cuál será la metodología empleada para la utilización efectiva de la microalga "*Chlorella Sp*" con el fin de eliminar los nutrientes presentes en las aguas residuales domésticas de la ciudad de Puno?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será la concentración inicial de nitratos y fosfatos en las aguas residuales domésticas?
- ¿Cuál será las condiciones idóneas para el cultivo de micro-algas "*Chlorella Sp*" durante el tratamiento a escala laboratorio?
- ¿Cuál sería el nivel de eficiencia en la reducción de nitratos y fosfatos en aguas residuales domésticas mediante el cultivo de microalgas "*Chlorella sp*" a nivel de laboratorio?



1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

- La microalga "Chlorella sp" demuestra una eficacia notable en la depuración de nutrientes presentes en aguas residuales domésticas provenientes de la ciudad de Puno.

1.3.2. Hipótesis específicas

- La acumulación inicial de nitratos y fosfatos de las aguas residuales domesticas se encuentra con altos valores
- Los factores propicios para potenciar el crecimiento de la microalga Chlorella sp. serán cuidadosamente seleccionados y aplicados con precision.
- La extracción de nitratos y fosfatos de las aguas residuales domésticas mediante el cultivo de la microalga "Chlorella sp" logra una eficacia de remoción que supera el 50 %.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El manejo de las aguas servidas domesticas generalmente se realiza por una serie de procesos considerando el tratamiento primario, secundario y terciario, sin embargo, estas aguas albergan elevadas concentraciones de nutrientes, destacándose principalmente el fósforo y nitrógeno, junto con otros elementos que resultan difíciles de extraer debido a diversos factores inherentes al proceso. Estos elementos desencadenan efectos significativos en el ciclo de nutrientes, afectando de manera notable la nutrición en el entorno acuático. El presente proyecto de investigación se justifica por ser un tratamiento de fácil manejo ya que el cultivo de microalgas no requiere de procesos



complicados porque son manejables y a la vez el tratamiento ha ganado importancia por ser más económico, fácil de instalar y operar. Cabe mencionar que las microalgas se consideran amigables con el medio ambiente por reducir los contaminantes que se sitúan en las aguas residuales.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.2.1. A nivel internacional

Chacón et al. (2002) “llevaron a cabo un estudio para evaluar la eficacia de *Chlorella Sp.* y *Scenedesmus Sp.* en la remoción de fosfatos, nitrógeno amoniacal y DQO (Demanda Química de Oxígeno) en aguas residuales provenientes del sistema de estabilización de la Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela”. Se establecieron diferentes tratamientos utilizando 200 mL de agua servida, tanto tratada como no tratada, controlada con agua destilada y medio de cultivo de algas. Los ensayos biológicos se llevaron a cabo bajo condiciones específicas de luz ($137 \mu\text{mol}\cdot\text{q}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), temperatura ($26\pm 2^\circ\text{C}$) con un ciclo de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad, sin suministro de aire, durante un período de 27 días. *Chlorella Sp.* mostró una densidad celular significativamente mayor ($p < 0,05$) en agua servida esterilizada, mientras que *Scenedesmus sp.* alcanzó cifras más altas en células no esterilizadas, con valores de $66,20 \pm 4,61 \times 10^6$ y $9,35 \pm 1,32 \times 10^6 \text{ cel}\cdot\text{mL}^{-1}$ respectivamente; estos valores fueron 3,67 y de 1,99 veces mayores que los obtenidos en el respectivo control. Ambas microalgas presentaron concentraciones relativamente superiores ($p < 0,05$) de pigmento total, carotenoides y proteínas en presencia de agua residual no tratada. “Al final del estudio, todos los cultivos de aguas residuales mostraron una eliminación completa del nitrógeno amoniacal total. *Chlorella Sp.* alcanzó una eliminación máxima del 44,0% de P-PO_4^{3-} en aguas residuales tratadas, mientras que



Scenedesmus sp. alcanzó una eliminación máxima del 48,7% en aguas residuales no tratadas. En cuanto a la eliminación de DQO, *Scenedesmus* sp. alcanzó una tasa del 55,8% en las aguas residuales tratadas al final del ensayo, mientras que *Chlorella* presentó un valor máximo del 54,8% en las aguas residuales no tratadas durante un periodo de 24 horas.

Ambos tipos de microalgas resultan prometedores como opción mejorada de control de las aguas residuales en los productos.

Ophtanie (2020), El estudio realizó un extenso análisis bibliográfico para investigar la utilización y el avance de las microalgas para extraer nutrientes de las corrientes agrícolas. La eficacia de este proceso está intrínsecamente relacionada con las variables ambientales y la disponibilidad de nutrientes, en particular carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P), que son los principales constituyentes de los residuos agrícolas. Es importante destacar que la eficacia de la eliminación de nutrientes puede verse afectada negativamente por valores que se sitúen fuera del rango recomendado de intensidad luminosa ($80 - 250 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), temperatura ($22 - 35 \text{ }^\circ\text{C}$) y pH ($5 - 8,5$). así como por la relación C:N:P y la turbidez del medio. La acumulación de nutrientes y los valores turbios en los arroyos agrícolas sugieren evidencias de eficiencias notables en la eliminación, alcanzando entre el 89% y el 100% en fósforo, entre el 88% y el 98% en amonio, y entre el 67% y el 95% en nitrato. La eficiencia de la biomasa, oscilando entre 87 mg/L/d y 107 mg/L/d , se muestra como un aspecto prometedor para la aplicación de microalgas, con géneros como *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Gloethece* y *Ankitrodesmus* destacándose por su amplia adaptación y rendimiento en estos efluentes. En el contexto de la utilización de fotobiorreactores, los sistemas abiertos plantean un desafío que involucra la combinación de parámetros para la



producción de biomasa y reducción de nutrientes, haciendo que la opción de reactores cerrados o híbridos sea más accesible y estratégica.

Muñoz (2015) “El objetivo principal de este estudio era identificar y medir la extracción de materia orgánica y nutrientes presentes en las aguas residuales municipales, los purines de cerdo y el digestato anaeróbico”. Para lograr este objetivo, se implementó un consorcio compuesto por microalgas y bacterias, con el fin de evaluar su eficacia en la remoción de estos elementos contaminantes en diferentes matrices acuosas. La introducción de microalgas iniciales en un sistema de microalgas-bacterias para el tratamiento de aguas residuales no tendrá ningún impacto en la biomasa producida. El sistema dará prioridad a un grupo concreto de microalgas y bacterias que se hayan aclimatado al entorno y al tipo de sustrato proporcionado. Las aguas residuales urbanas pueden tener entre un 94 y un 85% de materia orgánica y nutrientes eliminados. Los purines de cerdo pueden tener entre un 75 y un 95% eliminados. La digestión anaerobia mediante sistemas de algas-bacterias puede eliminar entre el 55 y el 70%.

Abdel et al. (2012) La investigación examina el tratamiento de microalgas y aguas residuales e identifica sustancias químicas orgánicas e inorgánicas que suponen un peligro para el medio ambiente. Estas provienen de diversas actividades hidráulicas, tanto domésticas como agrícolas e industriales, generando una contaminación tanto orgánica como inorgánica. Los métodos convencionales de tratamiento primario-secundario de aguas residuales se utilizan cada vez en más lugares para eliminar eficazmente las sustancias de fácil sedimentación y facilitar la descomposición de la materia orgánica por oxidación.



Tras un meticuloso estudio de su presencia en las aguas residuales, se obtienen efluentes claros y puros que se vierten a las masas de agua naturales. Sin embargo, estas aguas residuales secundarias presentan un nivel considerable de nitrógeno y fósforo inorgánicos, lo que provoca eutrofización y problemas persistentes causados por la acumulación de sustancias orgánicas recalcitrantes y metales pesados depositados. El cultivo de microalgas emerge como una solución innovadora para abordar los desafíos asociados con las aguas residuales. Este proceso proporciona un tratamiento biológico terciario, generando una valiosa masa biológica con diversas aplicaciones. Las microalgas constituyen una alternativa convincente a los métodos terciarios tradicionales, ya que poseen la capacidad distintiva de utilizar el nitrógeno y el fósforo inorgánicos para su propio desarrollo. Además, destacan por su eficacia en la extracción de metales pesados y determinados compuestos orgánicos nocivos, evitando así la aparición de contaminación secundaria. Este estudio se centrará en la función crucial de las microalgas en el tratamiento de aguas residuales, haciendo hincapié específicamente en su capacidad para eliminar metales pesados y compuestos orgánicos nocivos. Este procedimiento previene eficazmente la aparición de contaminación secundaria. Las microalgas constituyen una alternativa convincente a los métodos terciarios tradicionales, ya que poseen la capacidad distintiva de utilizar el nitrógeno y el fósforo inorgánicos para su propio desarrollo. Además, destacan por su eficacia en la extracción de metales pesados y determinados compuestos orgánicos nocivos, evitando así la aparición de contaminación secundaria. Este estudio se centrará en la función crucial de las microalgas en el tratamiento de aguas residuales, haciendo hincapié específicamente en su capacidad para eliminar metales pesados y compuestos



orgánicos nocivos. Este procedimiento previene eficazmente la aparición de contaminación secundaria.

Mojica (2020) tuvo como objetivo determinar la aplicabilidad de microalgas como una opción biotecnológica para la sustracción de materia orgánica de aguas residuales servidas obteniendo como resultado en un tiempo de tratamiento de 7 días llegando a su mayor sustracción de carga orgánica expresada en DQO es la microalga *Chlorella sp* (90.8%).

Muñoz (2015) El objetivo de su estudio era examinar el sistema microalgas-bacterias y su eficacia en la eliminación de restos orgánicos y nutrientes de las aguas residuales. Los resultados indican que los sistemas microalgas-bacterias tienen la capacidad de eliminar eficazmente la materia orgánica de distintas fuentes de aguas residuales, alcanzando tasas de eliminación de hasta el 85% en algunos casos. Además, estos sistemas tienen una notable capacidad para asimilar cantidades sustanciales de nitrógeno amoniacal.

Pooja et al. (2022) La presente investigación hace hincapié en el uso de microalgas, especialmente *Chlorella vulgaris*, en el proceso de tratamiento de aguas residuales. Este enfoque pretende eliminar tanto las sustancias nocivas como los nutrientes que se encuentran en las aguas residuales. Este enfoque busca convertir estas aguas en vertidos seguros y reutilizables, transformándolas en una fuente de biofertilizante. Además, durante este proceso, se logra la producción simultánea de biomasa y lípidos. El experimento de tratamiento de aguas residuales se llevó a cabo en un tanque de syntaxis al aire libre con una capacidad de 50 litros. Los resultados mostraron la eficiencia de supervivencia de *C. vulgaris* en aguas residuales que generan 0,67 g/L de biomasa y 0,26 g/L de rendimientos



de lípidos. Los factores ambientales desempeñan un papel crucial en el aumento de la biomasa, siendo la intensidad de la luz y las temperaturas elementos fundamentales en este proceso, la acumulación de lípidos y la eficiencia de quitar de nutrientes de *C. vulgaris*. Las concentraciones de nutrientes significativos como nitratos, DQO y DBO se redujeron hasta en un 93 %, 95 % y 92 % respectivamente. Otros nutrientes y parámetros fueron eliminados hasta en un 90% en promedio. Las aguas residuales tratadas se suministraron luego como biofertilizante para cultivar *Solanum* y *copersicum* (tomate) como comparación con las plantas cultivadas con fertilizantes químicos. Las conclusiones obtenidos de los análisis comparativos mostraron que la planta de tomate cultivada con aguas residuales tratadas mostró un crecimiento eficiente y productividades tan buenas como los rendimientos asistidos por fertilizantes químicos. Este estudio demostró que las aguas residuales pueden ser un reemplazo exitoso de los fertilizantes químicos. Los detalles se discuten profusamente dentro del documento.

Martínez (2011) teniendo como objetivo en su proyecto de investigación es verificar la viabilidad del cultivo de microalgas autóctonas a indoles expuestos de energía solar, temperatura y nutrientes. La contribución de nutrientes se realiza a través del agua proveniente de un sistema de tratamiento anaerobio de aguas residuales ya establecido, obtenida del arroyo. La primera característica distintiva de esta agua es la presencia de nutrientes mineralizados, como nitrógeno y fósforo, junto con su contenido de materia orgánica. Estas propiedades la convierten en un candidato idóneo para un proceso de post-tratamiento mediante el cultivo de microalgas propuesto. En este contexto, se ha identificado la capacidad de extracción tanto de fosfatos como de amonio del medio, proporcionando una solución integral para mejorar la calidad del agua.



Por otro lado, durante su desarrollo, las algas absorben inevitablemente amoníaco, fosfatos y otros nutrientes esenciales, como magnesio, demostrando su composición. Esta acción tiene un impacto significativo, ya que los patógenos presentes en el entorno utilizan estos nutrientes como sustrato para su proliferación. Como resultado, se llega a la conclusión de que el sistema implementado favorece el crecimiento de las microalgas, las cuales aumentan su población al agotar los nutrientes que originalmente se buscaban eliminar del agua tratada de manera anaeróbica. Además, el sistema facilita la acción coordinada de diversas bacterias identificadas en el cultivo, así como la eliminación tanto biológica como por precipitación química del fósforo.

2.2.2. A nivel nacional

Ponte (2019) El objetivo de su “estudio era extraer nitratos y fosfatos de las aguas residuales domésticas utilizando las microalgas *Chlorella* sp. y *Desmodesmus* sp”. El objetivo principal era descubrir enfoques alternativos para el tratamiento de las aguas residuales. Se demostró la eficacia de la extracción de nutrientes tanto con *Chlorella* sp. como con *Desmodesmus* sp., dos especies de microalgas. Además, se implementó un método de extracción que involucra el cultivo de microalgas y agua residual con oxígeno y en estado amoniacal, arrojando resultados positivos en la sustracción de nutrientes. Cabe resaltar que, para los nitratos, el proceso con la microalga *Desmodesmus* sp. destacó al obtener valores especialmente favorables. La remoción de contaminantes alcanzó un nivel del $(96.5 \pm 8.91 \%)$, al emplear la micr-oalga "*Chlorella* sp". Le siguió el control de la misma micro-alga, con un rendimiento del $(95.0 \pm 8.0 \%)$, también se observó un elevado porcentaje de eliminación con el control de la micro-alga



Chlorella sp., alcanzando un $94.2 \pm 7.4\%$. Por otro lado, el tratamiento del agua residual con oxígeno demostró ser efectivo, aunque con una eficiencia ligeramente menor, registrando un $87.9 \pm 5.0\%$. Obtuvo resultados favorables en la extracción de nutrientes mediante el uso de microalgas. Concretamente, la microalga *Desmodesmus* sp. mostró una eficacia excepcional en la eliminación de fosfato, con una tasa del $88,3 \pm 4,29\%$. El grupo de control, formado por las mismas microalgas, también obtuvo buenos resultados, con una tasa de eliminación del $81,7 \pm 0,7\%$. Además, se observó que el tratamiento de aguas residuales a base de oxígeno alcanzó una tasa del $75,2 \pm 1,4\%$, mientras que el tratamiento con la microalga *Chlorella* sp. mostró una eficacia del $69,3 \pm 2,8\%$. En resumen, el tratamiento con la microalga *Desmodesmus* sp. presentó la mayor eficacia en términos de % de eliminación de nutrientes.

Peltroche (2015) Con el objetivo de “evaluar la eficacia en la eliminación de nitratos ($N-NO_3^-$) y fosfatos (PO_4^{3-}) presentes en Aguas Servidas Municipales (ARM),” Los experimentos se realizaron utilizando microalgas fijadas y no fijadas. Las cepas utilizadas se obtuvieron de los arroyos de la Planta de Recuperación de las Aguas del arroyo - Surco - situada en Lima, Perú. El estudio se realizó a escala de laboratorio en un lapso de aproximadamente 10 días, utilizando ARM con terapia principal. Se evaluó la capacidad de eliminación de $N-NO_3^-$ y PO_4^{3-} , tanto en su forma libre como inmovilizados en discos de alginato de sodio al 4%..

La investigación descubrió cepas de "*Chlorella* sp" y "*Chlamydomonas* sp" que mostraron una eficacia superior en el tratamiento de aguas residuales agrícolas (ARM). En particular, "*Chlamydomonas* sp" destacó por su rápido crecimiento. El cultivo de "*Chlorella* sp" exhibió una notable tasa de eliminación



de N-NO_3^- (71,25%, 0,43 mg/l/día) y PO_4^{3-} (83,69%, 0,09 mg/l/día), superando el índice de eficiencia (IE) de "Chlamydomonas sp". Los cultivos sin movimiento de ambas cepas presentaron tasas de eliminación más altas, siendo del 56-67% para N-NO_3^- y del 78-81% para PO_4^{3-} , este último eliminado principalmente en 24 horas. Se demostró que el principal elemento que afectaba a la capacidad de eliminación de nutrientes era la falta de movilidad. En general, ambas cepas mostraron una elevada eficiencia de eliminación de nutrientes en ARM, en particular para PO_4^{3-} , con valores cercanos a los más altos registrados en investigaciones anteriores.

Riva (2018) "El estudio se enfocó en evaluar la capacidad de la microalga *Desmodesmus asymmetricus* para eliminar nitratos y fosfatos de las aguas residuales de PETAR-TABOADA Callao". La microalga demostró ser efectiva en la recuperación de aguas residuales domésticas con limitaciones de nitrógeno (N/P=11.6), logrando una eliminación del 90% de los nutrientes en todos los procesos experimentales. El procesamiento 5 (T5) destacó con el mayor porcentaje promedio de eliminación final para NO_3^- ($95.4 \pm 5.7\%$), mientras que el procesamiento 4 (T4) lideró en la eliminación de PO_4^{3-} ($98.9 \pm 1.4\%$). "La máxima eliminación diaria de NO_3^- y PO_4^{3-} se registró en el segundo día de investigación con el procesamiento 5 (T5), alcanzando $112.24 \pm 3.93 \text{ mg.L}^{-1}.\text{día}^{-1}$ y $16.96 \pm 0.62 \text{ mg.L}^{-1}.\text{día}^{-1}$, respectivamente".

2.2.3. A nivel regional

Sucasaca (2019) El estudio se enfoca en abordar el problema de la eutrofización causada por las concentraciones concurrentes de nitrógeno y fósforo en las aguas servidas domésticas del afluente Torococha. Se propone la



sustracción de nitratos (NO_3^-) y fosfatos (PO_4^{3-}) mediante un tratamiento biológico utilizando micro-algas "Chlorella sp". El afluente se analizó mediante técnicas estandarizadas para cuantificar las microalgas presentes. Para potenciar el crecimiento de "Chlorella sp.", se cultivaron en aguas residuales domésticas bajo un fotoperiodo constante. Se utilizó colorimetría para controlar las cantidades de nitrato y fosfato cada 12 horas. En particular para el PO_4^{3-} , que presentaba niveles en torno a los límites superiores documentados en investigaciones anteriores.

Los resultados revelaron que la especie de micro-alga presente en el afluente Torococha es Chlorella sp., con un aumento del 143% en la biomasa al final del experimento. Las micro-algas Chlorella sp. "Presentaron reducciones del 78,42% y el 86,34% para los nitratos y los fosfatos, respectivamente. El estudio determinó que la presencia de microalgas Chlorella sp. dio lugar a una reducción de más del 70% de los nitratos y fosfatos presentes en las aguas residuales domésticas. Este método es muy recomendable para el tratamiento de aguas residuales en plantas".

2.3. MARCO TEÓRICO

2.3.1. Agua residual

Es el resultado de la combinación de las aguas residuales producidas por operaciones domésticas, industriales, comerciales y agrícolas, junto con el agua que ha sido contaminada por el contacto con estos procesos. Las aguas residuales suelen contener una gran variedad de contaminantes, como partículas en suspensión, sustancias orgánicas, nutrientes, bacterias, virus, metales pesados y otros contaminantes distintos relacionados con diversas actividades. Un



tratamiento eficaz de las aguas residuales es esencial para salvaguardar el bienestar humano y el ecosistema, eliminando o reduciendo al mínimo las sustancias nocivas antes de devolver el agua al medio ambiente o reutilizarla. En cuanto a los componentes inorgánicos, hay una acumulación sustancial de sodio, calcio, potasio, magnesio, cloro, azufre, fosfato, bicarbonato, sales de amonio y metales pesados.

Este entorno se presenta como un hábitat propicio para una amplia variedad de microorganismos, entre los que destacan bacterias, virus y protozoarios. Aunque la mayoría son inofensivas, también contienen bacterias que pueden provocar enfermedades como el cólera, la tuberculosis, la fiebre tifoidea, la hepatitis y la disentería. (Abdel et al., 2012). Es importante resaltar que los afluentes de agua asociados a este lugar se caracterizan por una elevada demanda de oxígeno, ya que la presencia de materia orgánica impacta directamente en el nivel de oxígeno disuelto (OD). Al superar su capacidad típica de autolimpieza, estos materiales de desecho pueden lograr una autodepuración total cuando se vierten directamente en medios acuáticos. Esto puede provocar la contaminación del medio ambiente y la aparición de eutrofización. (Riva, 2018).

2.3.2. Componentes del agua residual

Sólidos suspendidos. Este análisis se centra en la cuantificación de impurezas, específicamente sólidos no filtrables, presentes en una muestra de agua, expresadas en miligramos por litro (mg/L). Estos sólidos suspendidos, derivados del proceso de filtración, tienen el potencial de generar condiciones desfavorables, aumentando la turbidez en el cuerpo receptor, ya sea un río, lago o mar. (Moreno, 2020).



pH. El pH es una representación numérica de la concentración de iones de hidrógeno en una solución, lo que indica su acidez o alcalinidad. Se utiliza un indicador químico para determinar la concentración de iones de hidrógeno (H^+) en determinadas soluciones. El concepto de pH se basa en una escala numérica que va de 0 a 14. Un pH de 7 se considera un valor bajo. Un pH de 7 se considera neutro, mientras que los valores inferiores a 7 indican acidez y los superiores a 7 implican alcalinidad. El pH es un parámetro crucial en varios campos, como la química, la biología, la medicina, la agricultura, la ingeniería medioambiental y la oceanografía. Esto se debe a que el pH del entorno afecta significativamente a numerosas reacciones químicas y procesos biológicos. Por ejemplo, un nivel insuficiente de pH puede tener un impacto perjudicial en el bienestar de las especies de los medios acuáticos o en la fertilidad del suelo para fines agrícolas. Además, el pH desempeña una función crucial en el proceso de tratamiento de las aguas residuales y en la producción de diversos compuestos. (Saltos, 2023).

Materia orgánica. Describe los componentes primarios que se encuentran en los materiales orgánicos de las aguas residuales. Los componentes incluyen carbono, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno, con la posibilidad de incorporar otros elementos significativos como azufre, hierro y fósforo. “La combinación única de estos componentes da lugar a proteínas (40-60%), hidratos de carbono (25-50%) y grasas y aceites (alrededor del 10%) en las aguas residuales”. (Rojas, 2002).

La materia orgánica se refiere a las sustancias basadas en el carbono derivadas de criaturas que ahora están vivas o lo estuvieron en el pasado. Se compone principalmente de restos vegetales y animales, junto con sus subproductos de descomposición, como proteínas, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos. La descomposición de materiales orgánicos por los microbios es crucial



para la fertilidad del suelo, ya que genera nutrientes vitales necesarios para el desarrollo de las plantas. Además, desempeña un papel clave en el ciclo del carbono, contribuyendo a la gestión del clima y sirviendo como importante reserva de carbono.

Patógenos. Los arroyos contaminados con aguas residuales albergan una diversidad de agentes que representan un riesgo significativo para la salud, dando lugar a enfermedades gastrointestinales graves y otras infecciones. La situación se vuelve irreversible si no se proporciona el tratamiento médico adecuado de manera oportuna. Estos agentes, que incluyen virus, bacterias, protozoos, parásitos y helmintos (Jones, 2019), El agua contaminada puede infiltrarse por varias vías, entre ellas la materia fecal y las excreciones animales. Además, el vertido de residuos industriales procedentes de la producción alimentaria, en particular del procesado de animales, podría servir de importante reservorio de gérmenes nocivos.(Elías, 2014).

Nutrientes. Los componentes primordiales presentes en el agua residual son el nitrógeno y el fósforo, esenciales para el desarrollo de las plantas. Sin embargo, cuando se acumulan en grandes cantidades en el cuerpo receptor, dan lugar a la eutrofización y la proliferación desmedida, perturbando así el equilibrio ecosistémico. Este impacto negativo ha venido afectando el entorno desde los últimos siglos. (Moreno, 2020).

Fósforos. El fósforo se encuentra en diversas formas en el agua, ya sea de manera natural o como residuo. Predominantemente, se presenta en forma de fosfato, dividiéndose en ortofosfatos (fosfato PO_4^{3-}), Fosfatos condensados, también conocidos como polifosfatos, y fosfatos que están unidos a compuestos



orgánicos. Pueden existir de muchas formas, como disueltos en un líquido, como pequeñas partículas, como material de desecho o como seres vivos en el agua. Los detergentes industriales y los fertilizantes agrícolas son los principales responsables de la contaminación por fosfatos en las masas de agua naturales.

En la actualidad, Se observa un aumento evidente del uso de fertilizantes, lo que hace necesaria una normativa más estricta para mitigar la contaminación. Los niveles elevados de fósforo pueden provocar el enriquecimiento excesivo del agua, un fenómeno denominado eutrofización. En consecuencia, se produce una propagación incontrolada de algas y plantas acuáticas, con el consiguiente efecto perjudicial para la calidad del agua. Es esencial implementar medidas para mitigar este problema y preservar el equilibrio de los ecosistemas acuáticos. (Riva, 2018).

Nitratos. El nitrógeno (N₂) sirve como inoculante del agua y tiene importancia por su abundancia en el medio ambiente, el suelo y el agua. Su presencia se atribuye a fenómenos naturales, como la disolución atmosférica y la escorrentía, así como a actividades humanas, como la utilización doméstica e industrial. El amonio, el nitrito y el nitrato son los principales compuestos inorgánicos de nitrógeno que suelen estar presentes en el agua. Las actividades industriales o los fertilizantes inorgánicos que contaminan el agua pueden producir grandes concentraciones de nitrito y nitrato. Aunque el nitrógeno es esencial para funciones metabólicas, su importancia radica en su prevalencia en el medio ambiente (Riva, 2018).

2.3.3. Contaminación de los cuerpos de agua

Los principales factores que contribuyen a la contaminación del agua son la densidad humana existente y el crecimiento y la expansión de las civilizaciones.



Los vertidos procedentes de cualquier fuente, incluidas ciudades, empresas, granjas, ranchos, hogares e incluso minas, acaban llegando a las masas de agua, donde se mezclan con otras sustancias para formar las aguas residuales. (Metcalf & Eddy, 2003).

Como parte esencial de cualquier comunidad humana, es imperativo que se gestione adecuadamente el vertido de desechos líquidos hacia un cuerpo receptor de agua, ya sea subterráneo o superficial. “La mala gestión de los recursos hídricos surge cuando se vierten aguas residuales sin tratar en ecosistemas acuáticos naturales a través de sistemas de drenaje o alcantarillado. La mala gestión del agua es el acto de introducir en ella sustancias químicas, energía o circunstancias que repercuten negativamente en su calidad, lo que conlleva efectos negativos sobre sus usos futuros y su función ecológica”. (Metcalf & Eddy, 2003).

2.3.4. Nutrientes en el agua residual

Los nutrientes son constituyentes químicos vitales que se encuentran en el agua y que son necesarios para el crecimiento y la maduración de los organismos vivos. “Los principales macronutrientes necesarios en cantidades sustanciales son el carbono (C), el nitrógeno (N), el oxígeno (O) y el fósforo (P). Estos nutrientes están presentes en forma de compuestos, y las moléculas con cadenas de dos o más átomos de carbono se denominan compuestos orgánicos, que constituyen la materia orgánica (MO)”. Los nutrientes orgánicos, que son sustancias orgánicas que pueden ser descompuestas por los organismos, son un componente de la materia orgánica disuelta (MOD). No todas las sustancias orgánicas se clasifican como nutrientes, ya que no todas pueden ser descompuestas y absorbidas por los organismos. Los nutrientes inorgánicos se refieren a compuestos desprovistos de



carbono que siguen siendo asimilables por los organismos, como las moléculas de nitrógeno y fósforo. (García, 2009)

2.3.5. Nitrógeno

El nitrógeno existe en el medio ambiente en nueve formas distintas como resultado de sus siete “estados de oxidación. La concentración media de nitrógeno total en las aguas residuales domésticas es de 35 mg/L. El nitrógeno existe en varias formas en estos ambientes acuáticos, incluyendo nitrógeno orgánico, nitrito, nitrato y amonio. En condiciones de pH neutro, aproximadamente el 99% de las moléculas de amonio sufren protonación para generar iones de amonio. La concentración de amoníaco aumenta cuando el pH supera 8,5” porque los iones de amonio pierden un protón y se desprotonan. Las aguas residuales pueden verter cantidades significativas de amonio y nitratos al medio ambiente, lo que plantea problemas medioambientales. (U.S. EPA., 1975)

El nitrógeno desempeña un papel crucial en el contexto de la contaminación medioambiental. Las concentraciones elevadas de nitrógeno, en forma de nitratos y amoníaco, pueden inducir la eutrofización de los ecosistemas acuáticos, lo que provoca una proliferación excesiva de algas y la alteración del equilibrio ecológico. Por lo tanto, es esencial controlar y gestionar eficazmente el nitrógeno en la agricultura, la industria y las aguas residuales para salvaguardar el bienestar medioambiental.

- a. Toxicidad para animales acuáticos: El amoníaco presenta una elevada toxicidad y resulta perjudicial para los organismos que habitan en ambientes acuáticos.
- b. La reducción de los niveles de oxígeno disuelto en las masas de agua afecta significativamente a la vida acuática. El amonio en el agua puede aumentar la



demanda de oxígeno, con un impacto estimado de 1 mg de amonio comparable a una necesidad de 4,6 mg de O₂. Esto subraya la necesidad de vigilar y regular las concentraciones de amonio para salvaguardar el bienestar de los ecosistemas acuáticos.

- c. La eutrofización de las aguas superficiales es el proceso de sobreabundancia de nitrógeno en las masas de agua, que da lugar a un amplio desarrollo de algas y plantas por absorción autótrofa. En la siguiente parte se examinará la función del fósforo en las aguas residuales y cómo su presencia puede intensificar los efectos de la eutrofización.
- d. El impacto perjudicial del amonio en la eficacia de los desinfectantes de cloración. El amonio se combina con el cloro para producir sales de cloruro de amonio y cloro aminas, que disminuyen las propiedades desinfectantes del cloro libre.
- e. Efecto corrosivo. Las tuberías de cobre se corroen con concentraciones de amonio superiores a 1 mg/L.
- f. Metemoglobinemia en humanos. Los microorganismos que reducen el nitrato en el interior del sistema gastrointestinal transforman el nitrato en nitrito. Tras su absorción en la circulación, el nitrito sufre la oxidación de la fracción Fe₂₊ de la hemoglobina a Fe₃₊. Este proceso convierte la hemoglobina en metahemoglobina, que es un pigmento marrón que no puede transportar oxígeno molecular. Al final, este procedimiento provoca asfixia.
- g. El nitrito tiene la capacidad de provocar efectos mutagénicos y carcinogénicos. Además, puede reaccionar con aminas secundarias presentes en la dieta, dando lugar a la formación de nitrosaminas. Se sabe que las nitrosaminas son compuestos con propiedades mutagénicas y carcinogénicas.



2.3.6. Fosforo

El fósforo, al igual que el carbono y el nitrógeno, puede encontrarse en el medio ambiente tanto en forma orgánica como inorgánica. El fósforo no se encuentra naturalmente en estado libre en la naturaleza debido a su fuerte reactividad; típicamente se encuentra en forma de fosfato, siendo el ortofosfato (PO_4^{3-}) una de las manifestaciones más comunes.

En resumen, las principales fuentes de fosfato en las aguas receptoras son los escurrimientos de tierras agrícolas y las aguas residuales domésticas e industriales. Carpenter et al. (1998), Las estimaciones muestran que la superficie de la Tierra ha sido fertilizada con una cantidad sustancial de fósforo. El contenido promedio de fósforo en aguas residuales es de 10-20mg/L, principalmente proveniente de detergentes domésticos (Bitton, 2005). El 90% del fósforo en aguas residuales está en forma de ortofosfato. La eutrofización se produce cuando los niveles de nutrientes de un ecosistema aumentan debido a un exceso de fosfato en las masas de agua. Para que se produzca la eutrofización son necesarias altas concentraciones de nutrientes, incluidas las proporciones adecuadas de nitrógeno y fósforo (N:P). (Martinez – Cordoba et al., 2014).

Figura 1

Estados de oxidación

Estados de oxidación del nitrógeno en la naturaleza

Compuesto	Formula	Estado de oxidación
Nitrógeno orgánico	R-N	-3
Amoniaco (gas)	NH ₃	-3
Ión Amonio (soluble)	NH ₄ ⁺	-3
Nitrógeno gaseoso	N ₂	0
Oxido nitroso	N ₂ O	+1
Oxido nítrico	NO	+2
Ión nitrito(soluble)	NO ₂ ⁻	+3
Dióxido nitroso (gas)	NO ₂	+4
Ión nitrato (soluble)	NO ₃ ⁻	+5

Estados de oxidación del fósforo en la naturaleza

Compuesto	Formula	Estado de oxidación
Fósforo alótopico	P _x	-3
Ión Metafosfato	PO ₃ ⁻	+3
Organofosfatos	OP(OR) _x	-3, -1, +1, +3, +5
Acido Fosforico	H ₃ PO ₄	-3
Ión Digidrogenfosfato	H ₂ PO ₄ ⁻	+1
Ión Hidrogenfosfato	HPO ₄ ²⁻	+3
Ión Ortofosfato	PO ₄ ³⁻ o Pi	+5
Fosfato polimérico	PPi, PPPi	+5

Fuente: (García, 2009)

2.3.7. Aplicación de las micro-algas en el tratamiento de aguas residuales

Las microalgas poseen la notable capacidad de generar células versátiles que contienen una amplia variedad de sustancias y nutrientes. Estos elementos, como nutrientes, lípidos, vitaminas, sales minerales, carotenoides, entre otros, son elaborados internamente por las células de las microalgas, lo que permite su obtención de manera efectiva.



La biorremediación mediante microalgas es de gran interés “gracias a su capacidad fotosintética para convertir la energía solar en biomasa útil, así como por su capacidad para absorber nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, los cuales son responsables de la eutrofización” (Abdel et al., 2012).

2.3.8. Eliminación de nitrógeno y fosforo

Hace más de cincuenta años, se puso en marcha un plan para biotratar las aguas residuales utilizando algas. El objetivo era eliminar el nitrógeno y el fosfato y proporcionar oxígeno a los microorganismos aerobios. Posteriormente se han realizado numerosos estudios piloto y de laboratorio para perfeccionar este método. Además, se han utilizado muchas iteraciones de esta tecnología en la construcción de instalaciones de tratamiento de aguas residuales. (Abdel et al., 2012).

En las aguas residuales, el nitrógeno proviene principalmente de la conversión metabólica de otros componentes, mientras que más del 50 % del fósforo se origina en detergentes. Las formas predominantes en las aguas servidas son nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-) y ortofosfato (PO_4^{3-}), juntos conocidos como nutrientes. La eliminación de estos nutrientes se denomina sustracción de nutrientes. A pesar de someterse a una degradación biológica aeróbica o anaeróbica, las aguas residuales siguen reteniendo compuestos inorgánicos como nitrato, amonio y fosfato incluso después del tratamiento. Esto puede causar eutrofización en lagos, favoreciendo el crecimiento de microalgas perjudiciales. El fósforo y el nitrógeno se consideran indicadores de la eutrofización, y se requiere tratamiento adicional para prevenir el impacto ambiental negativo en los cuerpos de agua. (Yeh & Chang, 2012).



2.3.9. Microalgas

“Los microorganismos unicelulares fotosintéticos incluyen las cianobacterias, a veces conocidas como algas verdeazuladas, junto con las algas eucariotas, que se clasifican a su vez en algas verdes, rojas y doradas”.(Ponte, 2019).

2.3.10. Clasificación de microalga

“En el mundo existen numerosas variedades de estas especies, las cuales se han clasificado en diversos grupos o divisiones debido a la presencia de pigmentos que les confieren colores característicos, y en menor medida, a sus características organizativas, estructurales y morfológicas.” (Ponte, 2019).

2.3.11. Especies de microalgas

La elección del tipo de cultivo de algas está vinculada al propósito de obtener biomasa con fines específicos, como pigmentos o alimentos, y también puede estar orientada a la biorremediación. En sistemas abiertos, las especies de algas dominantes son influenciadas por factores ambientales, operativos y biológicos. Por otro lado, en sistemas cerrados, es posible cultivar especies de algas de manera monoespecífica, aisladas del entorno externo. (Ponte, 2019).

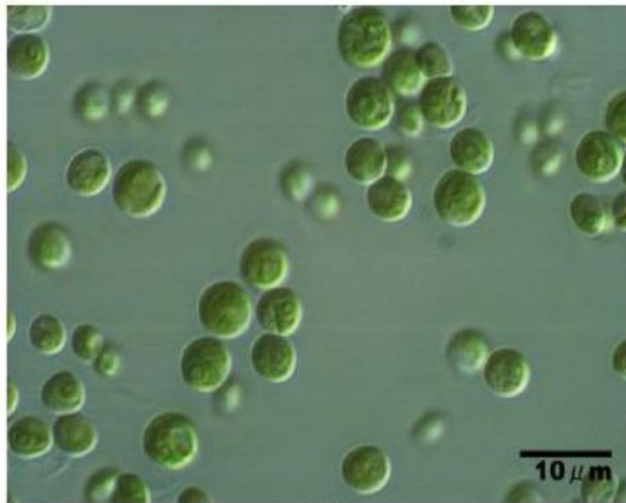
2.3.12. Chlorella Sp.

Las células presentan diversas formas, ya sea esféricas u ovaladas, y pueden existir de manera individual o agruparse en colonias de hasta 64 células. En comparación, los cloroplastos se caracterizan por sus gránulos de almidón alrededor de una estructura en forma de copa o plato que puede incluir o no pirenoides. Pueden estar presentes o ausentes, y no tienen flagelos ni mucílagos.

Las autoesporas se liberan durante la división celular como resultado de la rotura de la pared celular de una célula madre. Los restos de una célula madre podrían adherirse a su célula hija, formando así sus propias colonias con un revestimiento mucilaginoso. (Mercado-Reyes & Álvarez-Montero, 2022).

Figura 2

Vista microscópica de Chlorella Sp.



Fuente: (Ponte, 2019a, p. 29)

2.3.13. factores que influyen que afectan el desarrollo de las microalgas

Las micro-algas aceleran, ralentizar o incluso inhibir su crecimiento debido a muchos factores. Los siguientes son lo más representativos.

Luz. En lo que respecta a las condiciones ambientales, la intensidad de la luz es crucial, sobre todo para la fotosíntesis de las plantas. La fotosíntesis alcanza su mayor crecimiento en el punto de saturación de luz cuando los nutrientes no están limitados. Crece con la intensidad de la luz. Sin embargo, por encima de este umbral se produce fotoinhibición, un fenómeno nocivo que puede conducir a la muerte celular. Por ello, el rendimiento agrícola disminuye porque baja la eficacia



de la fotosíntesis. La intensidad de la luz debe controlarse cuidadosamente para que las plantas funcionen a su nivel óptimo.

Temperatura. El crecimiento de las algas está íntimamente correlacionado con la temperatura, aumentando en proporción hasta alcanzar la temperatura óptima para cada especie. Sin embargo, por encima de este umbral, la respiración se vuelve más intensa, lo que provoca una pérdida de la producción total de las algas debido a una reducción de la fotorrespiración. Para la mayoría de las especies de algas, 16-24°C es el punto óptimo. (Orduz, 2016)

pH y monóxido de carbono (CO). “La producción de algas, la aireación, la alcalinidad, el contenido iónico del medio de cultivo, la actividad microbiana y la eficacia del sistema de agregación de CO₂” son algunos de los factores que deciden el pH del cultivo de algas. Cada especie de alga tiene un pH óptimo para su crecimiento, siendo 8 el ideal para especies de agua dulce. Desviaciones por encima o por debajo de este valor afectan la productividad y la capacidad de tratamiento del agua. El control del pH se logra mediante la inyección de dióxido de carbono o la adición de ácido/base. Las regulaciones sobre dióxido de carbono pueden aumentar los costos, por lo que es crucial encontrar formas económicas de reducirlos. “Se ha investigado la eficiencia con la que diversas microalgas fijan CO₂ procedente de diversas fuentes. Por ello, para maximizar la eficiencia y minimizar los costes, se está desarrollando el cultivo comercial junto con fuentes productoras de CO₂, incluidos los cogeneradores”. (Ponte, 2019).

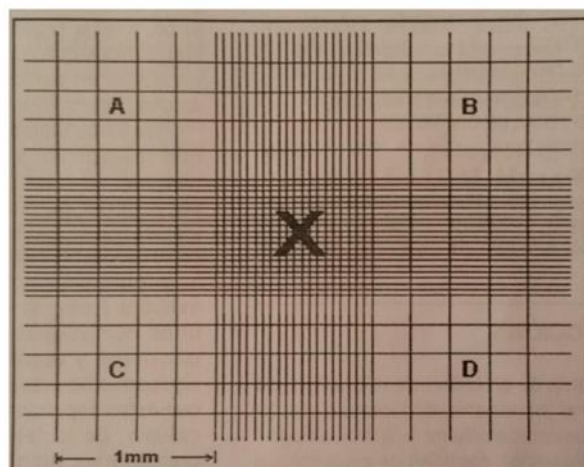
Agitación. mejora del transporte, reducción de la sedimentación y de la adherencia de las algas a las paredes del reactor, y uniformización del pH, son beneficios proporcionados por una agitación mejorada en sistemas de cultivo de

algas. Además, esta técnica asegura una distribución óptima de gases y luz. La agitación eficiente permite someter a las algas a ciclos rápidos de cambio entre zonas oscuras e iluminadas en milisegundos. Es importante destacar que algunas especies de algas pueden ser sensibles al estrés hidrodinámico y no tolerar una agitación intensa para lograr un buen mezclado en el reactor. (Ponte, 2019).

Cuantificación de la producción de biomasa. La evaluación del rendimiento de la biomasa es crucial en los bioprocesos, permitiendo conocer la eficacia del estudio mediante métodos cuantitativos y la asimilación de nutrientes. Se emplean diversas técnicas de cuantificación, como espectrofotometría, análisis de clorofila y conteos celulares. Las células pueden contarse en una cuadrícula utilizando un microscopio y la cámara de Neubauer. Para densidades celulares elevadas, existen técnicas de recuento en zigzag, recuento de cinco cuadrados grandes (cuadrado central y cuatro cuadrados de las esquinas) y la cuadrícula central, entre otras, que pueden utilizarse para realizar cálculos. (Sucasaca, 2019).

Figura 3

Vista microscópica de la cámara de neubauer



Fuente: (Leiva, 2014, p. 44)



2.3.14. Procedimiento detallado para la realización del recuento celular mediante el empleo de la cámara de Neubauer

- a. Optimizar el cultivo mediante agitación para asegurar una distribución homogénea y eficiente de las células.
- b. Utiliza una pipeta o una jeringa esterilizada para midair con precisión 1 mL del líquido o muestra que estás analizando.
- c. En los casos en que el cultivo esté muy concentrado, es necesario mezclar la muestra con agua destilada para reducir su concentración.
- d. El tubo se agita agresivamente en un vórtex durante un minuto y, a continuación, se extrae una muestra utilizando una pipeta Pasteur con una punta pequeña.
- e. Introduzca el cubreobjetos en la cámara antes de llenarla. Introducir la punta de la pipeta Pasteur en la cámara con cuidado, asegurándose de que la cantidad de líquido depositada es suficiente para que una porción entre parcialmente en el canal lateral sin sumergirlo completamente. En caso de que esto ocurra, proceda a desecar e higienizar la sección más baja de la cámara. A continuación, compruebe con un microscopio que las células están adecuadamente dispersas y no agrupadas..
- f. La cámara suele estar equipada de serie con el objetivo de 10X; sin embargo, en los casos en que se trata de células diminutas, se utiliza en su lugar el objetivo de 40X. Esto mejora el procedimiento de acreditación celular al permitir la discriminación de restos y otras entidades comparables en tamaño a la especie cultivada.
- g. Para hacer el registro, se enumeran las células situadas dentro de cada una de las cuadrículas etiquetadas como A, B, C y D, como se ve en la Figura 3.



Cuando las células entran en contacto con las líneas de separación entre cuadrículas, sólo se tienen en cuenta dos de los cuatro lados, realizándose la selección de forma aleatoria.

- h. La fórmula anterior se utiliza para determinar la concentración celular, medida en células por mililitro (células/mL).
- i. La curva de crecimiento se construye graficando los valores de concentración celular en el eje "Y" y el tiempo en días en el eje "X", utilizando los datos de concentración celular de cada recuento en períodos subsiguientes.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El estudio adopta un enfoque aplicado, se sitúa en el nivel explicativo y se caracteriza por su orientación cuantitativa que corresponde a un diseño experimental ya que su finalidad es recolectar datos del tratamiento frente a la concentración inicial y de esta manera dar respuesta a la pregunta investigativa.

3.2. LUGAR DEL ESTUDIO

Para la presente investigación se realizó sobre el efluente de la planta de tratamiento "El Espinar", ubicada en la provincia y departamento de Puno.

Tabla 1

Ubicación del punto de muestreo

Ubicación	Coordenadas	Fecha	Hora
PTAR Espinar - Puno	E: 392244 N: 8247283	15/05/2023	9:52

Para la realización de la siguiente intervención de estudio se ejecutó en el Laboratorio de Análisis Químico Ambiental "LAQUAMEQ E.I.R.L". situado en el jr. Deústua 522 – Juliaca -Puno – Perú.

Figura 4

Ubicación del punto de muestreo el Espinar – Puno



Fuente: Google EARTH (2022)

3.3. POBLACIÓN

El efluente de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de El Espinar, que se ha desbordado debido a un fallo de la planta, es responsable de una importante cantidad de aguas residuales que entran en la Bahía Interior del Lago Titicaca. Este incidente ha generado contaminación, afectando negativamente el bienestar de la población local. (Tudela-Mamani, 2017).

3.4. MUESTRA

La muestra se recogió en el punto de vertido de la instalación de tratamiento de aguas residuales de El Espinar, situada en la ciudad de Puno.

Figura 5

Toma de muestra del efluente



“El muestreo se llevó a cabo siguiendo las recomendaciones del procedimiento de evaluación de la calidad de los efluentes de las depuradoras de aguas residuales domésticas o municipales”. (OMA, 2013).

En la cadena custodia proveída por el laboratorio se anotó los datos que corresponde como es la ubicación, fecha, hora, temperatura y pH. Siendo los datos más importantes para el registro de las muestras.

La muestra se tomó en un envase de 5 litros de primer uso seguidamente se conservó a 4°C para su traslado a laboratorio y de esta manera se realizó los análisis para obtener las concentraciones iniciales de los parámetros correspondientes y de esta manera se llevó a cabo el respectivo tratamiento.



3.5. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.5.1. Materiales

Matraces volumétricos de 1000,500,250 y 100 ml clase A; matraces erlenmeyer de 2000, 1000,500,250 y 100 ml clase A; probetas de 1000, 500 y 100 ml; micropipetas de 5000, 1000, 200 μ l; pipeta de 10ml; cámara de neubauer, puntas para micropipeta; barra magnética; bombilla de succión, frasco lavador, espátula; mangueras; difusor de aire; aireador; foco fluorescente; planchas de tecnopor.

3.5.2. Equipos

- Multiparámetro (HACH HQ2200)
- Colorímetro HACH DR900
- Termómetro de -5 a 100°C
- Microscopio trinocular (Greatlab).

3.5.3. Reactivos

Nutriente foliar (Bayfolan), DPD nitrover (NO_3^-), DPD phosphate (PO_4^{3-}), Solución tampón pH7, aceite de inmersión, alcohol comercial, agua desionizada o destilada.

3.6. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Objetivo 1: Evaluar la concentración inicial de nitratos y fosfatos en las aguas residuales domésticas.

Para el cumplimiento del siguiente objetivo, se ejecutó el muestreo del efluente de aguas servidas y/o residuales de la planta de tratamiento el espinar.



- Inicialmente, se procedió a obtener la muestra siguiendo los procedimientos detallados en el protocolo establecido.
- La toma de muestra se realizó en dos envases de polietileno de 500 ml cada uno, conforme a las indicaciones para llevar a cabo el análisis correspondiente.
- La muestra se extrajo a una profundidad de 20 cm.
- Se registraron in situ los datos de los parámetros, tales como la temperatura y el pH.
- Posteriormente, se conservó la muestra en una hielera con cubos de hielo con el fin de mantenerla a una temperatura cercana a los 4°C, garantizando la integridad de los resultados.
- Concluida la obtención de la muestra, esta fue transportada a las instalaciones de laboratorio para llevar a cabo su análisis correspondiente.

Los métodos de análisis fueron los siguientes:

Tabla 2

Método de análisis

Parámetro	Unidad	Método
Temperatura	°C	SM - 2550 B método de laboratorio de campo
Potencial de hidrogeno	Unid de pH	SM 4500 - H
Nitratos	mg/L	Método colorimétrico (HACH)
Fosfatos	mg/L	Método colorimétrico (HACH)

Nota: (APHA, 2005) métodos de análisis de aguas residuales y potables.



Determinación de los nitratos por el método colorimétrico

Ingresar el número de programa almacenado para el nitrógeno de nitrato de alto rango (NO_3^- -N). Presionar: **3 5 5 ENTER** La pantalla mostrará: **Fijar nm para 500** la pantalla mostrará rápidamente: Muestra cero **luego: mg/L NO_3^- -N HR**

Llenar cada celda de muestra con **10 ml** de muestra.

Nota: Es esencial crear un blanco de reactivo para cada nuevo lote de Nitra Ver 5 utilizando agua desionizada o destilada como muestra. Reste este valor de cada resultado obtenido con esta colección de reactivos.

Mezcle el contenido de una bolsa de reactivo en polvo de nitrato Nitra Ver 5 con la cubeta que contiene la muestra preparada. Casco.

Presionar: **SHIFT TIMER** Agitar la celda enérgicamente hasta que el cronómetro suene en un minuto.

Nota: La duración y la fuerza de la agitación pueden influir en la formación del color. Para obtener resultados más precisos, realice exámenes correlativos en una solución estandarizada y modifique la duración de la agitación según sea necesario.

Al oír el temporizador, pulse rápidamente el botón **SHIFT TIMER**. Comenzará un nuevo período de respuesta a intervalos de 5 minutos.

Nota: Si la observación de un desarrollo de color ámbar indica la presencia de nitrato.

Colocar una cubeta de muestra adicional con un volumen de 10 ml de la muestra (el blanco).



Cuando se apague el temporizador, la pantalla indicará la concentración de iones nitrato en miligramos por litro como $\text{NO}_3^- - \text{N HR}$. Introduzca el blanco en el soporte de cubetas. Bajar la pantalla

Pulse el número cero. La pantalla indicará: Puesta a cero seguido de: La concentración de nitrato-nitrógeno es de 0,0 miligramos por litro (mg/L).

Extraiga el tapón. Coloque la muestra preparada en el soporte de cubetas. Baje la pantalla de luz.

Precaución: Tras la disolución del polvo reactivo NitraVer 5, puede persistir una cantidad residual de cadmio, sin que ello repercuta en el resultado final.

Pulse el botón "READ". Se presentará la pantalla: Tras la lectura, el resultado se mostrará como la concentración de nitrógeno nítrico ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) en miligramos por litro (mg/l).

Nota: Es crucial lavar la celda de muestra inmediatamente después de su uso para eliminar cualquier partícula de cadmio.

Cálculos y unidad de concentración

Las concentraciones de Nitrato (NO_3^-) se toman directamente de la lectura del instrumento.

Detección de fosfatos mediante la técnica colorimétrica

Indicar el número de programa que el receptor ha guardado para el fósforo reactivo, TEST 'N TUBE. Introduzca los números 5, 3 y 5 y pulse la tecla ENTER. La salida en pantalla será: Asigne el valor de 890 a la variable nm.



Utilizar una pipeta para dispensar con precisión 10,0 ml de la muestra en una cubeta de fosfato.

Nota: Realizar un blanco reactivo para esta prueba, utilizando agua desionizada o destilada en lugar de la muestra. Restar este resultado de todos los resultados de las pruebas realizadas con esta cantidad de reactivo PHOSVER 3.

Tapar herméticamente y agitar para disolver, limpiar el exterior del tubo con una toalla que no genere peluza.

Nota: Para eliminar las huellas dactilares o cualquier otra mancha, basta con utilizar un paño humedecido para limpiar la superficie y, a continuación, secarla con una toalla.

Coloque el tubo de muestra en el adaptador, asegurándose de que el logotipo de Hach está orientado hacia la parte frontal del instrumento. Coloque la tapa en el adaptador.

Pulse el número cero. En la pantalla aparecerá Calibrando... resultado: 0,00 miligramos por litro.

Nota: Cuando se trate de varias muestras de la misma fuente, basta con aplicar la calibración cero a la primera muestra. Examine las muestras sobrantes tras la adición del reactivo PHOSVER. Deduzca el valor del blanco de reactivo PHOSVER 3 de cada lectura.

Pulse el botón SHIFT TIMER. Comenzará un tiempo de espera de 2 minutos.

Cálculos y unidad de concentración

Las concentraciones de fosfato (PO_4^{3-}) se obtienen inmediatamente de la lectura del instrumento.

Figura 6

Determinación inicial de los nutrientes del agua residual doméstica



Nota: Análisis de nitratos y fosfatos del agua residual sin tratamiento

Objetivo 2: Adecuar las condiciones de cultivo para el incremento proporcionado de la microalga *Chlorella sp* durante el tratamiento a escala laboratorio.

Óptimas condiciones para el crecimiento de la microalga “*Chlorella Sp.*”

Para alcanzar el objetivo de producir un número suficiente de microalgas, es crucial establecer las circunstancias óptimas. El estudio de investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis Químico Medioambiental con el objetivo de identificar las circunstancias más favorables para el crecimiento y la maduración de las microalgas.

LAQUAMEQ E.I.R.L. adecuando la fuente de intensidad lumínica con focos fluorescentes de 40 watts, oxigenadores conectadas a mangueras para inyectar aire, planchas de tecnopor para mantener la temperatura, considerando que las microalgas presentan mayor crecimiento con pH de 8 -11(Muñoz, 2015), seleccionar las condiciones de crecimiento adecuadas. Las temperaturas adecuadas son de 16 a 24 °C (Orduz, 2016) los controles de los datos se realizó diariamente en un periodo de 10 días

Una vez adecuado el espacio se procedió a realizar las dosificaciones considerando 5%,15%,30% y 50% de microalgas *Chlorella Sp* la cantidad de agua residual y cepas de microalga fueron un total de un litro en cada dosificación.

Figura 7

Acondicionamiento del cultivo



Nota: Adecuación y acondicionamiento de la microalga *Chlorella sp.*

Una vez combinadas las microalgas y las aguas residuales, se observaron diariamente las microalgas *Chlorella sp.* La enumeración se realizó utilizando una cámara de Neubauer, equipada con una rejilla de recuento formada por 9 cuadrados de tamaño

considerable, cada uno de los cuales medía 1 mm². La cámara de Neubauer se utilizó para determinar la concentración celular mediante la siguiente ecuación:

$$C = N * 10^4 * 5$$

Donde:

C = cél/ml Concentración celular

N = Promedio de células presentes en 1mm² (0.1µl)

Figura 8

Control del crecimiento microalgal



Fuente: Conteo diario de microalgas *Chlorella sp* en microscopio a un objetivo de 40x

Objetivo 3: Realizar la evaluación del porcentaje de remoción de nitratos y fosfatos en aguas residuales domésticas mediante el cultivo de la microalga *Chlorella sp.* a escala de laboratorio.

Para evaluar la eficacia de la microalga *Chlorella sp* en esta agua concreta, realizamos estudios de pH, temperatura, nitritos y fosfatos.

Para realizar los análisis, se separaron las muestras tratadas vertiéndolas en una centrifugadora y haciéndola girar a una velocidad de 80 revoluciones por minuto durante 10 minutos.

Figura 9

Muestras de microalgas con agua residual decantadas



Fuente: Agua residual tratada después de 10 días de tratamiento

Una vez obtenida las muestras decantadas se procedió a realizar los análisis de nitratos y fosfatos de las diferentes concentraciones.

Figura 10

Determinación de nutrientes después del tratamiento



Nota: Análisis de nitratos y fosfatos

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

Objetivo 1: analizar la concentración inicial de nitratos y fosfatos de las aguas residuales domésticas.

Tabla 3

Resultados del agua residual doméstica.

N°	Parámetro	Unidad	Resultado
1	Temperatura	°C	18.7
2	Potencial de hidrogeno	Unidades de pH	7.18
3	Nitratos (NO_3^-)	mg/L	34
4	Fosfatos (PO_4^{3-})	mg/L	26.6

Nota: Caracterización inicial de la muestra de agua residual domestica antes del tratamiento.

En la Tabla 3 presenta los resultados obtenidos durante la caracterización inicial del efluente de la planta de tratamiento.

A temperatura es un parámetro de suma importancia, ya que incide directamente en las reacciones químicas, las velocidades de reacción y funciones microbiológicas, entre otros aspectos (Ponte, 2019). Sin embargo, es crucial destacar que la utilidad de la temperatura varía significativamente según el momento en que se toma la muestra. Se considera que valores inferiores a 35°C cumplen con los límites máximos permisibles.

Conforme a los límites máximos permisibles (LMP, 2010) Los valores admisibles para el potencial de hidrógeno oscilan entre 6,5 y 8,5, suponiendo que la caracterización resultante se encuentre dentro del intervalo especificado.

Conforme a la organización mundial de la Salud (OMS, 2018), el nivel máximo permitido de nitrato es de 50 mg/L, en la caracterización se obtuvo un valor de 34 mg/L

siendo un valor aceptable frente a la OMS. Los valores de nitratos en altas concentraciones tiene un riesgo potencial de eutrofización y proliferación de algas tóxicas en aguas receptoras (Moreno, 2020).

Según Chacón et al. (2002) Se señala que las concentraciones de fósforo en aguas residuales pueden variar entre 3 y 17 mg/L. No obstante, la caracterización realizada reveló una concentración de 26.6 mg/L.

Las contribuciones de fosfato a las aguas receptoras provienen principalmente de los efluentes de aguas residuales domésticas, con una proporción significativa originada en productos químicos convencionales de uso doméstico (Ponte, 2019).

Teniendo el agua con las características correspondientes se lleva a cabo el tratamiento con microalga *Chlorella sp.* Como se detalla en los siguientes objetivos.

Objetivo 2: Optimizar las condiciones de cultivo para promover el aumento de la microalga *Chlorella sp.* durante el tratamiento a escala de laboratorio.

Tabla 4

Control diario de la temperatura

Fecha	TEMPERATURA °C							
	5%	15%	30%	50%	R5%	R15%	R30%	R50%
20/05/2023	18	18.2	18.3	18.5	18.3	18.4	18.6	18.6
21/05/2023	19	19.3	19.5	19.6	19.2	19.5	19.5	19.4
22/05/2023	19	19.5	19.6	19.5	19.4	19.5	19.6	19.5
23/05/2023	20	20.1	20	20.1	19.9	20.1	20.3	20.3
24/05/2023	19.7	20	20.1	20.3	19.8	20.1	21.2	21.3
25/05/2023	19.9	20.1	20.2	20.3	19.8	20.3	20.4	20.3
26/05/2023	20.3	21	21.3	21.3	21.4	21.3	20.5	20.6
27/05/2023	21	21.1	21.3	21.4	21.1	21.3	21.2	21.3
28/05/2023	20	20.5	20.6	20.4	20.1	20.5	20.4	20.5
29/05/2023	20	20.5	20.6	20.7	20.8	20.7	20.8	21.1

Nota: Datos de la temperatura obtenida durante el tratamiento



En la tabla 4 se presenta los efectos de la temperatura obtenida durante el tratamiento de las aguas residuales con la microalga *Chlorella Sp.* Obteniendo temperaturas entre 18 – 21.4 °C.

El aumento de las microalgas se correlaciona directamente con la temperatura (Ponte, 2019b). La influencia de la temperatura en el crecimiento de las algas es un factor determinante, y se busca identificar el valor óptimo para este parámetro. (Muñiz, 2019).

Diversas investigaciones han abordado el impacto de la luz y la temperatura en la eliminación de nutrientes, revelando diferencias notables. La eficacia en la remoción de nutrientes es más significativa cuando la temperatura alcanza niveles óptimos, que generalmente oscilan entre 15 y 35°C para la mayoría de las microalgas. Se proyecta que una mayor temperatura e irradiación de luz resultan en una remoción más efectiva de nutrientes. (Ophtanie, 2020).

La relación entre la temperatura y la velocidad de incremento experimenta un aumento exponencial hasta alcanzar la temperatura óptima. La producción de algas aumenta de manera proporcional a la temperatura hasta llegar al punto adecuado para cada especie. (Rivera, 2017).

Tabla 5*Control diario del pH.*

Fecha	pH							
	5%	15%	30%	50%	R5%	R15%	R30%	R50%
20/05/2023	7.8	7.8	7.9	7.8	7.7	7.9	7.9	7.8
21/05/2023	8.1	8.2	8.2	8.3	8.2	8.3	8.3	8.4
22/05/2023	8.7	8.8	8.9	8.9	8.9	8.7	8.8	8.9
23/05/2023	8.9	8.7	8.9	8.9	8.9	8.7	8.8	8.9
24/05/2023	9.1	9	9.2	9.2	9.2	9.3	9.2	9.3
25/05/2023	9.4	9.5	9.5	9.6	9.4	9.4	9.5	9.6
26/05/2023	9.8	9.9	9.7	9.8	9.9	9.8	9.8	9.8
27/05/2023	9.8	9.7	9.7	9.8	9.8	9.9	9.7	9.6
28/05/2023	9.7	9.9	9.8	9.7	9.8	9.8	9.9	9.8
29/05/2023	9.8	9.8	9.7	9.9	9.8	9.6	9.6	9.7

Nota: datos del pH durante el tratamiento.

En la tabla 5 se observa los datos del pH, datos que se obtuvo diariamente durante el tratamiento obteniendo pHs de 7.7 – 9.9.

Según Muñoz (2015) Cuando se cultivan microalgas, se produce un aumento notable del pH. Esto se debe a que las microalgas absorben eficazmente tanto el CO₂ como el bicarbonato de la solución, haciendo que el equilibrio de la ecuación se desplace hacia la izquierda. Como resultado, el pH aumenta debido a la mayor concentración de bicarbonato y al agotamiento de iones.



La estabilidad del pH puede alcanzarse debido a la influencia de los organismos que oxidan las materias orgánicas en la creación de dióxido de carbono en el organismo.

Diversos parámetros, como la producción de algas, la respiración y la alcalinidad, influyen en el pH del cultivo. El nivel de pH desempeña un papel crucial en la promoción de un desarrollo saludable, siendo un pH de 8 el más recomendado. (Pérez & Labbé, 2014).

Tabla 6

Concentración celular durante el tratamiento

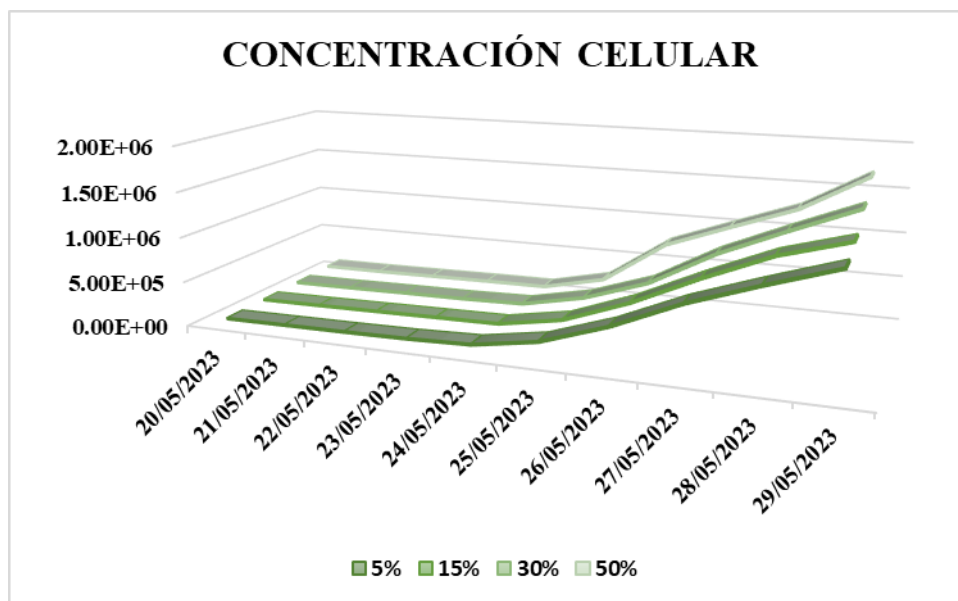
CRECIMIENTO MICROALGAS				
Fecha	5%	15%	30%	50%
20/05/2023	5.80E+04	6.80E+04	7.80E+04	9.50E+04
21/05/2023	6.30E+04	7.40E+04	8.30E+04	9.70E+04
22/05/2023	6.80E+04	8.20E+04	9.20E+04	1.05E+05
23/05/2023	7.70E+04	9.10E+04	9.80E+04	1.13E+05
24/05/2023	9.80E+04	9.90E+04	1.14E+05	1.18E+05
25/05/2023	2.14E+05	2.22E+05	2.60E+05	2.76E+05
26/05/2023	4.56E+05	4.87E+05	5.02E+05	7.59E+05
27/05/2023	7.69E+05	8.21E+05	8.96E+05	1.03E+06
28/05/2023	1.02E+06	1.12E+06	1.20E+06	1.28E+06
29/05/2023	1.25E+06	1.33E+06	1.50E+06	1.69E+06

Nota: Incremento de la biomasa microalgas a condiciones adecuadas

La tabla 6 muestra los datos de crecimiento observados durante un período de 10 días, obtenidos mediante recuento microscópico con la cámara de Neubauer.

Figura 11

Curva de crecimiento



En la figura 12 se observa la curva de crecimiento que se obtuvo a concentraciones de 5%, 15%, 30% y 50% durante 10 días de tratamiento, el incremento de concentración microalgas se da por la temperatura adecuada juntamente con el pH.

Tabla 7

Concentración celular durante el tratamiento (replica)

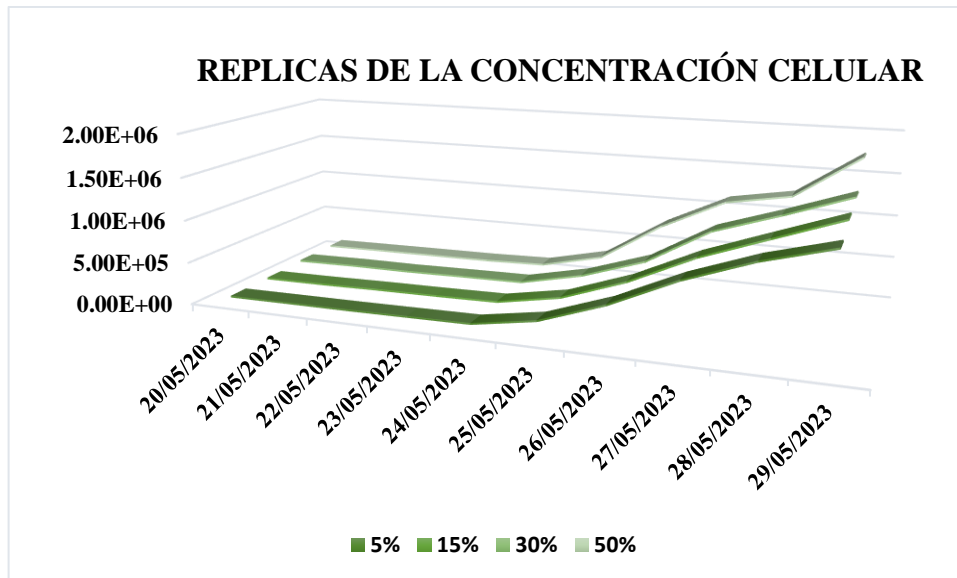
REPLICAS DEL CONTEO CELULAR				
Fecha	R5%	R15%	R30%	R50%
20/05/2023	6.50E+04	7.10E+04	9.20E+04	9.70E+04
21/05/2023	6.90E+04	7.60E+04	1.02E+05	1.05E+05
22/05/2023	7.20E+04	8.70E+04	1.02E+05	1.11E+05
23/05/2023	7.90E+04	9.30E+04	1.13E+05	1.17E+05
24/05/2023	8.70E+04	1.04E+05	1.21E+05	1.35E+05
25/05/2023	2.08E+05	2.36E+05	2.79E+05	3.01E+05
26/05/2023	4.69E+05	4.99E+05	5.23E+05	7.64E+05
27/05/2023	8.13E+05	8.47E+05	9.52E+05	1.12E+06
28/05/2023	1.08E+06	1.12E+06	1.20E+06	1.25E+06
29/05/2023	1.29E+06	1.39E+06	1.46E+06	1.75E+06

Nota: Replica de tratamiento de aguas residuales domesticas con microalgas

En la tabla 7 presenta la réplica del tratamiento de aguas residuales domesticas con la microalga *Chlorella Sp.* En donde se evaluó el incremento de la biomasa microalgal.

Figura 12

Curva de crecimiento (replica)



Como se puede observar en la figura 12 y 13 durante los 5 primeros días presento un crecimiento lento y esto debido a las condiciones ambientales ya que el tratamiento se realizó en una temporada fría, y la adaptación de las microalgas tomo un tiempo en acondicionarse. Sin embargo, a partir del día 6 presento un incremento de biomasa y esto a causa de la temperatura, ya que a mayor temperatura mayor incremento de biomasa y a un pH de 8 – 9 es donde presenta mayor crecimiento.

Objetivo 3: Realizar la evaluación del porcentaje de eliminación de nitratos y fosfatos en aguas residuales domésticas mediante el cultivo de la microalga *Chlorella sp.* a escala de laboratorio.

Tabla 8

Resultados del tratamiento (1)

Dosis	T(°C)	pH	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	REPLICA			
					T(°C)	pH	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)
5%	13.5	9.8	22	18.6	15.2	9.7	20	19
15%	13.8	9.7	14	10.5	15.4	9.9	16	11.6
30%	13.6	9.8	8	5.8	15.3	9.7	9	6.1
50%	13.4	9.8	11	7.3	15.4	9.8	10	7

Nota: Primer análisis después del tratamiento con replica respectiva

En la tabla 8 se observa los resultados obtenidos después del tratamiento en donde se observa diferentes temperaturas entre tratamientos, siendo la causa de ello el horario de análisis, sin embargo, el pH se mantuvo 9.7 a 9.9 esto a raíz de las características de la microalga. Por otro lado, se tienen los resultados de los nutrientes como los nitratos y fosfatos a diferentes concentraciones con su respectiva replica.

Tabla 9

Promedio de los resultados (1)

Dosis	T(°C)	pH	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)
5%	14.35	9.75	21	18.8
15%	14.6	9.8	15	11.05
30%	14.45	9.75	8.5	5.95
50%	14.4	9.8	10.5	7.15

Nota: Promedio de resultados de los nitratos y fosfatos.

En la Tabla 9 se presenta el promedio de los resultados derivados del tratamiento con concentraciones del 5%, 15%, 30% y 50%. Se observa que los nitratos (NO_3) alcanzaron la concentración más baja, registrando 8.5 mg/L con un 30% de microalga *Chlorella* sp. Por lo general, en el tratamiento de aguas residuales con microalgas, la temperatura ideal se sitúa entre 16 y 24 °C; no obstante, el resultado obtenido se atribuye a las condiciones ambientales durante el análisis.

Tabla 10*Resultados del tratamiento (2)*

Dosis	T(°C)	pH	NO_3^- (mg/L)	PO_4^- (mg/L)	REPLICA			
					T(°C)	pH	NO_3^- (mg/L)	PO_4^{3-} (mg/L)
5%	14.5	9.5	16	13.4	14.5	9.7	17	12.9
15%	14.3	9.6	9	6.4	14.6	9.8	9	6
30%	14.5	9.6	4	2.1	14.7	9.9	3	1.8
50%	14.4	9.7	7	4.3	14.8	9.8	8	5

Nota: Segundo análisis después del tratamiento con replica respectiva

En la tabla 9 se observa los resultados del segundo análisis con su respectiva replica, en donde se puede apreciar los resultados de los nitratos y fosfatos de las diferentes dosis.

Tabla 11*Promedio de los resultados (2)*

Dosis	T(°C)	pH	NO_3^- (mg/L)	PO_4^{3-} (mg/L)
5%	14.5	9.6	16.5	13.15
15%	14.45	9.7	9	6.2
30%	14.6	9.75	3.5	1.95
50%	14.6	9.75	7.5	4.65

Nota: Promedio de los 2 tratamientos.

En la tabla 13 se puede observar el promedio de resultados del tratamiento con su respectiva replica a diferentes concentraciones, en donde se ve que el pH presento valores elevados y esto porque el tratamiento del agua servida con la microalga se alcaliniza para así realizar mejor remoción de nutrientes. Ya que a mayor pH se da mayor crecimiento de microalgas y por ende realiza mejor tratamiento.

Tabla 12*Resultados del tratamiento (3)*

Dosis	T(°C)	pH	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	REPLICA			
					T(°C)	pH	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)
5%	16.8	9.6	18	15	15.3	9.6	17	16
15%	17.2	9.7	11	7.6	15.7	9.5	10	8
30%	17.4	9.6	6	3.8	15.5	9.7	8	3.5
50%	17.6	9.5	11	4.7	15.6	9.6	12	5.2

Nota: Tercer análisis después del tratamiento con replica respectiva

En la tabla se observa los resultados obtenidos en el tercer tratamiento, se puede observar que el pH aún mantiene su valor y esto por el comportamiento de las microalgas en el agua residual doméstica. Sin embargo, los nutrientes presentan valores muy por debajo frente al valor inicial.

Tabla 13*Promedio de los resultados (3).*

Dosis	T(°C)	pH	NO ₃ ⁻ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)
5%	16.05	9.6	17.5	15.5
15%	16.45	9.6	10.5	7.8
30%	16.45	9.65	7	3.65
50%	16.6	9.55	11.5	4.95

En la Tabla 17 se presentan los resultados promedio de los tratamientos realizados en el día 13. Se destaca que la mayor reducción de los parámetros considerados se evidenció con la concentración del 30%.

Tabla 14

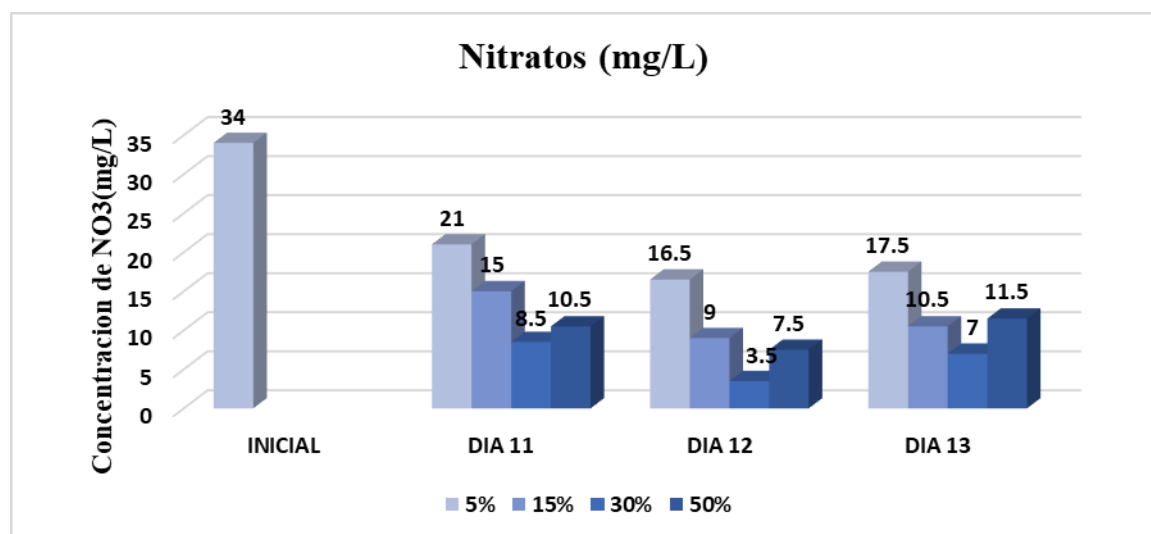
Comparación de la concentración inicial con el tratamiento de nitratos (NO₃)

NITRATOS (NO ₃ ⁻)				
mg/L				
DOSIS	INICIAL	DIA 11	DIA 12	DIA 13
5%	34	21	16.5	17.5
15%		15	9	10.5
30%		8.5	3.5	7
50%		10.5	7.5	11.5

En la tabla 14 se observa los resultados obtenidos durante los días 11,12 y 13 del tratamiento juntamente con el resultado inicial antes del tratamiento por lo que se observa que el día 12 tubo menor acumulación de nitratos con una dosis del 30% de microalga frente a los días 11 y 13.

Figura 13

Resultados de los nitratos frente a la concentración inicial



La concentración inicial de los nitratos en aguas residuales presento un valor de 34 mg/L, sin embargo, realizando el tratamiento con microalgas se pudo observar que a una dosis del 30% de microalga se obtiene un valor de 3.5 mg/L. Según Chacón et al. (2002). Las microalgas han sido objeto de numerosas investigaciones en el tratamiento de aguas residuales debido a su capacidad para eliminar cantidades significativas de nitrógeno y fósforo. La biomasa generada durante el procesamiento de estos efluentes presenta un potencial como fuente de alimentos.

Según Peltroche (2015) reporto una acumulación inicial de nitratos de 5.06 mg/L llegando a una concentración de 1.26 mg/L tratamiento que se dio en el día 10. Mientras que Oscanoa et al. (2021) en su caracterización del efluente obtuvo un resultado de 55.9 mg/L de nitratos y durante el tratamiento al 4to día obtuvo una concentración de nitrato de 0.3 mg/L.

Tabla 15

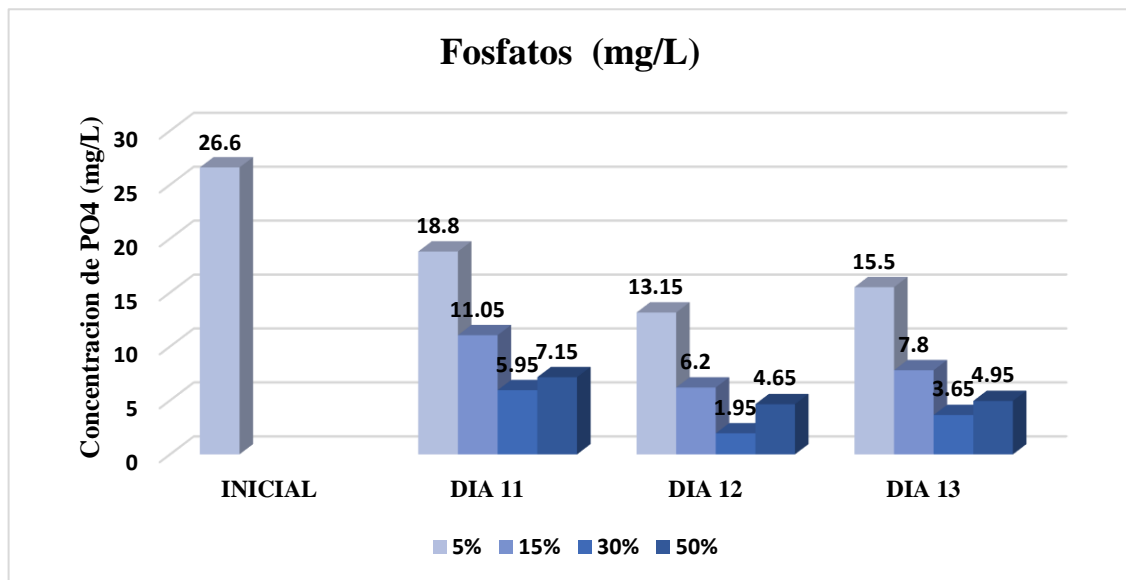
Comparación de la concentración inicial con el tratamiento de fosfatos (PO₄)

FOSFATOS (PO₄³⁻) mg/l				
DOSIS	INICIAL	DIA 11	DIA 12	DIA 13
5%	26.6	18.8	13.15	15.5
15%		11.05	6.2	7.8
30%		5.95	1.95	3.65
50%		7.15	4.65	4.95

En la tabla 15 se aprecia los resultados obtenidos durante los días 11,12 y 13 del tratamiento juntamente con el resultado inicial antes del tratamiento por lo que se observa que el día 12 tubo menor acumulación de fosfatos con una dosis del 30% de microalga frente a los días 11 y 13.

Figura 14

Resultados de los fosfatos frente a la concentración inicial



En la fig. 15 se observa la concentración inicial de los fosfatos en aguas residuales, presento un valor de 26.6 mg/L, sin embargo, realizando el tratamiento con microalgas se pudo observar que a una dosis del 30% de microalga se obtiene un valor de 1.95 mg/L. Leiva (2014) obtuvo un resultado inicial de 28.7 mg/L y en su tratamiento en el día 18 obtuvo una concentración de 0.6 mg/l. Oscanoa et al. (2021) en su investigación obtuvo un valor inicial de 30 mg/L realizando el tratamiento con la microalga obtuvo un valor de 8.3 mg/L.

Tabla 16

Porcentaje de sustracción de nitratos

% DE REMOCIÓN DE NITRATOS (NO ₃ ⁻) mg/L			
DOSIS	DIA 11	DIA 12	DIA 13
5%	38.2	51.5	48.5
15%	55.9	73.5	69.1
30%	75.0	89.7	79.4
50%	69.1	77.9	66.2

En la Tabla 16 se presentan los porcentajes de remoción obtenidos durante el tratamiento, destacando que la eliminación más significativa se registró en el día 12 con una dosis del 30%, alcanzando una remoción del 89.7%. En estudios previos, Leiva (2014) logró un porcentaje de remoción del 99.3%, mientras que Wang et al. (2010) utilizó *Chlorella sp.* para tratar diversos tipos de agua residual doméstica, logrando una extracción de hasta el 82.3% en nueve días. Según Lekshmi et al. (2015), las microalgas pueden eliminar nitrógeno incluso en concentraciones elevadas en aguas naturales eutrofizadas, llegando a valores de hasta 1400 ppm. En este caso, la concentración inicial de nitratos fue en promedio de 34.0 mg/L, disminuyendo a valores inferiores a 3.5 mg/L. Este proceso indica que la microalga realiza una asimilación rápida del nitrógeno utilizable como nutriente, incorporándolo en la síntesis de aminoácidos para la formación de estructuras celulares. Por otro lado, Ponte (2019) reportó un porcentaje de remoción de nitratos del 96.5%.

Para lograr porcentajes elevados de remoción, el crecimiento de las microalgas en entornos acuáticos está influenciado por diversos factores ambientales. Para su cultivo exitoso, resulta crucial contar con condiciones óptimas, tales como la temperatura, el pH y la iluminación adecuados, (Abalde et al., 1995). Considerando esto cabe mencionar que en el presente proyecto de investigación se cumplió con las condiciones que requiere las microalgas para su crecimiento.

Tabla 17

Porcentaje de remoción de fosfatos

% DE REMOCIÓN DE FOSFATOS (PO_4^{3-}) mg/l			
DOSIS	DÍA 11	DÍA 12	DÍA 13
5%	29.3	50.6	41.7
15%	58.5	76.7	70.7
30%	77.6	92.7	86.3
50%	73.1	82.5	81.4



En la tabla 17 se presenta los porcentajes de remoción obtenidos, en el tratamiento y se observa que la remoción más alta se dio en el día 12 con una dosis del 30% la remoción fue del 92.7%. Valderrama (2018), Las microalgas *Chlorella vulgaris* mostraron una reducción sustancial del 80% en la cuarta semana, lo que indica una absorción significativa de este nutriente. Es bien sabido que varios tipos de algas tienen la capacidad de absorber eficazmente fosfato a gran velocidad. Este excedente de fósforo suele almacenarse en forma de partículas de polifosfato. En situaciones en las que la concentración de fosfato en el medio circundante es muy baja o está agotada, el fosfato acumulado en un efluente rico en fosfato puede favorecer eficazmente el desarrollo de microalgas. (Wang et al., 2010), mientras que Ponte (2019) el porcentaje de remoción fue de 88.3%, El porcentaje de eliminación fue del 88,3%. Según Leiva (2014) el porcentaje de eliminación en su tratamiento de aguas residuales fue del 97,91%. Oscanoa et al. (2021) indica que su remoción fue 77.1%

El ortofosfato (PO_4^{3-}), El fósforo, en su forma química, es utilizado por las microalgas y participa de forma significativa en procesos celulares como la transferencia de energía y la biosíntesis de ácidos nucleicos. Es un componente indispensable que regula la síntesis de proteínas y también está presente en el fosfato de adenosina (ADP), crucial para el correcto transporte intracelular. (Oscanoa et al., 2021).

4.2. DISEÑO ESTADISTICO

Modelo de regresiones lineales simples

El modelo de regresión lineal simple es una técnica estadística utilizada para analizar la correlación entre una variable dependiente y una variable independiente. En



este modelo, el objetivo es encontrar la línea de regresión lineal óptima que minimice la discrepancia entre los datos observados y los valores proyectados.

El modelo de regresión lineal simple se representa mediante la ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

Donde:

Y = Remoción de nitratos y fosfatos

β_0 = *Constante*

β_1 = *Pendiente*

X = Dosis de microalga *Chlorella Sp*

ε = es el término de error, que señala la variabilidad no explicada por la relación lineal entre X e Y .

El objetivo principal del modelo básico de regresión lineal es determinar los valores de β_0 y β_1 que minimizan la suma de los residuos al cuadrado, que representa la discrepancia entre los valores observados y los valores predichos por el modelo.

Una vez estimados los coeficientes β_0 y β_1 , se puede utilizar el modelo para predecir el valor de Y para cualquier valor dado de X .

Resultados del modelo de regresiones lineales simples

- a) Modelo de regresión lineal simple (sustracción de nitratos de las aguas residuales domesticas con el cultivo de microalga *Chlorella Sp*)

Tabla 18

*Resumen del modelo del procedimiento del porcentaje adecuado Dosis de microalga
Chlorella Sp, en la remoción nitratos*

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,720 ^a	0,518	0,501	7,186

a. Predictores: (Constante), Dosis microalga Chlorella Sp (%)

Bondad de ajuste

El valor de R cuadrado es 0.518, lo que significa que aproximadamente el 51.8% de la variabilidad en la remoción de nitratos puede ser explicada por la dosis de la microalga

Coefficiente de correlación múltiple R

El valor "R" de es de 0,720, lo que nos expresa que existe un alto grado de correlación entre la Dosis de microalga Chlorella Sp y Remoción de nitratos

Planteamiento de la hipótesis estadística

- Nivel de confianza: 95% = 0,95
- Nivel de significación = 5%=0,05
- Estimador:

Si P-Value (Sig) \geq 0.05 se acepta la H_0

Si P-Value (Sig) $<$ 0.05 se rechaza la H_0 y se acepta la H_1

Formulación de la hipótesis estadística

H_0 : El modelo de regresión lineal simple no es adecuado y no proporciona un buen ajuste para explicar la relación entre la dosis de la microalga *Chlorella* sp, los diferentes tratamientos y la remoción de nitratos en aguas residuales.

H_1 : El modelo de regresión lineal simple es adecuado y proporciona un buen ajuste para explicar la relación entre la dosis de la microalga *Chlorella* sp, los diferentes tratamientos y la remoción de nitratos en aguas residuales.

Tabla 19

ANOVA

	Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1556,124	1	1556,124	30,135	0,000 ^b
	Residuo	1445,876	28	51,638		
	Total	3002,000	29			

a. Variable dependiente: Remoción de Nitratos (NO₃) (mg/L)

b. Predictores: (Constante), Dosis microalga *Chlorella* Sp (%)

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) respaldan fuertemente la hipótesis alternativa, indicando que el modelo de regresión lineal simple, al considerar solo la dosis de la microalga *Chlorella* sp como predictor, es efectivo y adecuado para explicar significativamente la relación con la remoción de nitratos en aguas residuales. Con un valor de significancia extremadamente bajo ($p = 0,000$) y un valor F significativo ($F = 30,135$), se rechaza la H_0 , lo que indica que la dosis de la microalga *Chlorella* sp tiene un impacto significativo en la remoción de nitratos en este modelo.

Tabla 20*Ecuación de regresión*

		Coefficientes^a		
		Coefficientes no estandarizados		
Modelo		B	Desv. Error	Sig.
	(Constante)	23,929	1,951	0,000
1	Dosis microalga Chlorella Sp (%)	-0,396	0,072	0,000

a. Variable dependiente: Remoción de Nitratos (NO₃) (mg/L)

Coefficiente de la constante: 23,929. Indica la remoción de nitratos esperada cuando las demás variables independientes (en este caso solo dosis de Chlorella Sp) son 0.

Coefficiente de dosis de Chlorella Sp.: -0,396. Indica que por cada unidad de aumento en la dosis de Chlorella Sp (%), la remoción de nitratos disminuye en 0,396 mg/L. El signo negativo señala una relación inversa entre estas variables.

P-valor sig. de dosis: 0,000. Altamente significativo, valida que la relación entre dosis.

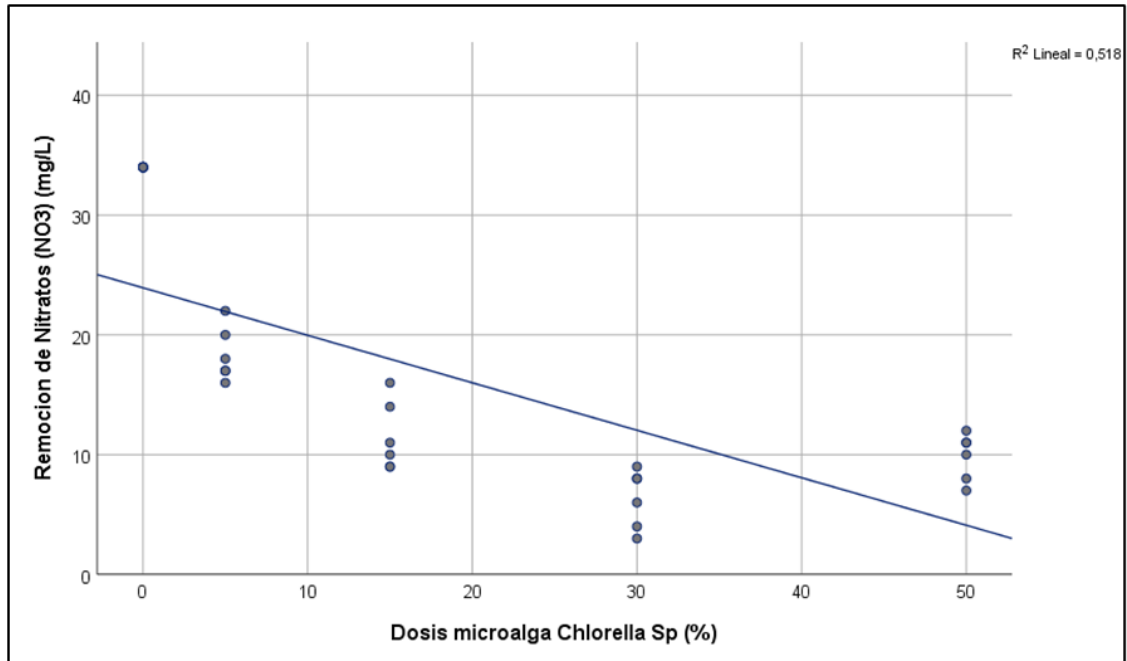
Basándose en esto, la ecuación de regresión se expresa como sigue:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X$$

El pronóstico: remoción de nitratos = 23,929 - 0,396* Dosis de microalga
Chlorella sp

Figura 15

*Dispersión Simple de remoción de nitratos (NO₃) (mg/L) por Dosis microalga
Chlorella Sp (%)*



En la figura los puntos se concentran alrededor de una línea con pendiente negativa. Esto confirmaría la relación inversa hallada en la regresión, es decir, incrementos en la dosis conllevan decrecimientos en la remoción de nitratos.

- b) Modelo de regresión lineal simple (remoción de fosfatos de las aguas residuales domesticas con el cultivo de microalga Chlorella Sp)

Tabla 21

*Resumen del modelo del procedimiento del porcentaje adecuado Dosis de microalga
Chlorella Sp, en la remoción fosfatos.*

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,782 ^a	0,612	0,598	5,4872

a. Predictores: (Constante), Dosis microalga Chlorella Sp (%)



Bondad de ajuste

El valor de R cuadrado es 0.782, lo que significa que aproximadamente el 78.2% de la variabilidad en la remoción de fosfatos puede ser explicada por la dosis de la microalga

Coefficiente de correlación múltiple R

El valor de “R” es de 0,612, lo que nos expresa que existe una correlación significativa entre la Dosis de microalga *Chlorella Sp* y Remoción de fosfatos.

Planteamiento de la hipótesis estadística

- Nivel de confianza: 95% = 0,95
- Nivel de significación = 5%=0.05
- Estimador:

Si P-Value (Sig) \geq 0.05 se acepta la H_0

Si P-Value (Sig) $<$ 0.05 se rechaza la H_0 y se acepta la H_1

Formulación de la hipótesis estadística

H_0 : El modelo de regresión lineal simple no es adecuado y no proporciona un buen ajuste para explicar la relación entre la dosis de la microalga *Chlorella sp*, los diferentes tratamientos y la remoción de fosfatos en aguas residuales.

H_1 : El modelo de regresión lineal simple es adecuado y proporciona un buen ajuste para explicar la relación entre la dosis de la microalga *Chlorella sp*, los diferentes tratamientos y la remoción de fosfatos en aguas residuales.

Tabla 22*ANOVA*

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	
1	Regresión	1331,000	1	1331,000	44,205	0,000 ^b
	Residuo	843,072	28	30,110		
	Total	2174,072	29			

a. Variable dependiente: Remoción de Fosfatos (PO4) (mg/L)

b. Predictores: (Constante), Dosis microalga *Chlorella Sp* (%)

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) respaldan fuertemente la hipótesis alternativa, indicando que el modelo de regresión lineal simple, al considerar solo la dosis de la microalga *Chlorella sp* como predictor, es efectivo y adecuado para explicar significativamente la relación con la remoción de fosfatos en aguas residuales. Con un valor de significancia extremadamente bajo ($p = 0,000$) y un valor F significativo ($F = 44,205$), se rechaza la H_0 , lo que indica que la dosis de la microalga *Chlorella sp* tiene un impacto significativo en la remoción de fosfatos en este modelo.

Tabla 23*Ecuación de regresión*

Coeficientes ^a				
Coeficientes no estandarizados				
Modelo	B	Desv. Error	Sig.	
	(Constante)	19,373	1,490	0,000
1	Dosis microalga <i>Chlorella Sp</i> (%)	-0,0367	0,055	0,000

a. Variable dependiente: remoción de fosfatos (PO4) (mg/L)

Coefficiente de la constante: 19.373. Indica la remoción de fosfatos esperada cuando las demás variables independientes (en este caso solo dosis de *Chlorella sp*) son 0.

Coefficiente de dosis de *Chlorella*: -0,367. Indica que por cada unidad de aumento en la dosis de *Chlorella sp* (%), la remoción de fosfatos disminuye en 0,367 mg/L. El signo negativo señala una relación inversa entre estas variables.

P-valor sig. de dosis: 0,000. Altamente significativo, valida que la relación entre dosis.

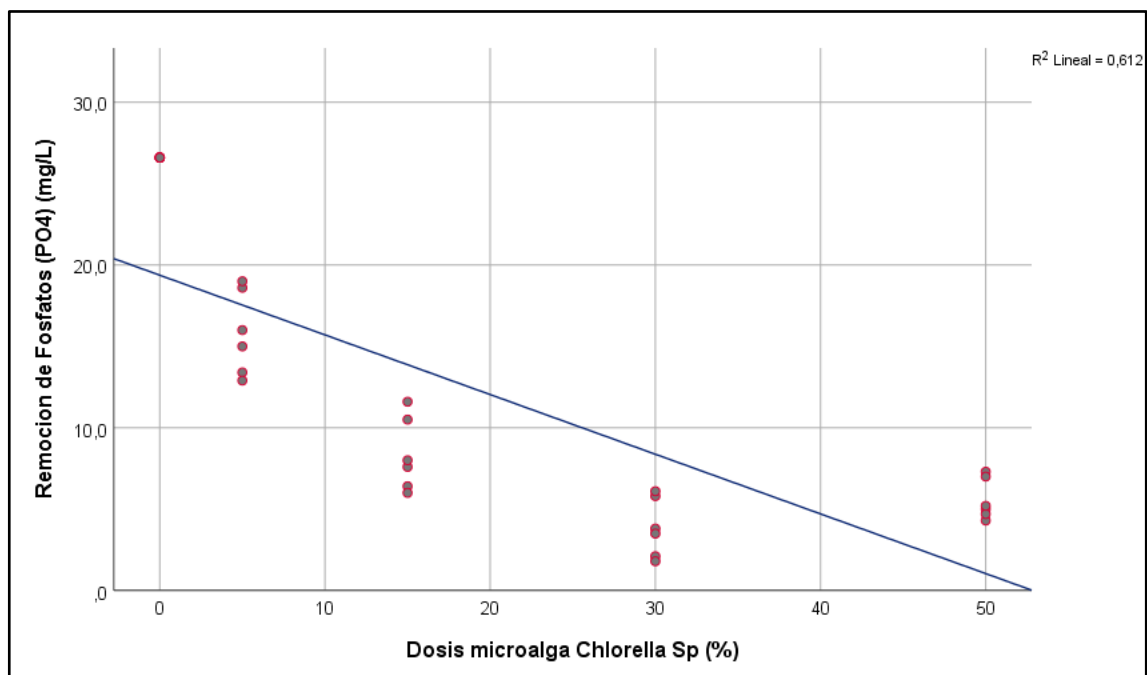
Basado en esto, la ecuación de regresión se presenta así:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X$$

El pronóstico: remoción de fosfatos = 19,373 - 0,367* Dosis de microalga *Chlorella sp*

Figura 16

*Dispersión Simple de remoción de fosfatos (PO4) (mg/L) por Dosis microalga *Chlorella Sp* (%)*





En la figura los puntos se concentran alrededor de una línea con pendiente negativa. Esto confirmaría la relación inversa hallada en la regresión, es decir, incrementos en la dosis conllevan decrecimientos en la remoción de fosfatos.

V. CONCLUSIONES

- La caracterización inicial del agua residual presento valores de temperatura de 18.7°C, un pH de 7.18, nitratos (NO_3^-) 34 mg/L y fosfatos (PO_4^{3-}) de 26.6 mg/L de acuerdo los valores alcanzados los nitratos están dentro de los parámetros permitidos, empero, los fosfatos se encuentran con concentraciones por encima de lo permitido frente a la organización mundial de la salud.
- La adecuación del proyecto de investigación a escala laboratorio se instaló considerando las condiciones que requiere la microalga *Chlorella Sp.* Obteniendo una temperatura de 18 – 21.4 °C, el pH se mantuvo con pHs de 7.7 – 9.9 y una iluminación con focos fluorescentes de 40W, siendo estas condiciones adecuadas para obtener un mejor crecimiento de microalgas. Se adeco para 1 litro mi muestra de agua residual y las dosis fue de 5%,15%,30% y 50% de microalgas *Chlorella Sp.*
- El porcentaje de remoción en cuanto a nitratos se dio al 12avo día con una dosis del 30% obteniendo un 89.7% de remoción, sin embargo, los fosfatos presentaron un 92.7% de remoción.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar metales pesados, el material orgánico y los organismos patógenos de las aguas residuales domesticas para realizar el procedimiento con microalgas *Chlorella Sp.* de tal manera comprobar que tan eficiente se comporta estos microorganismos frente a estos contaminantes.
- Se recomienda realizar el tratamiento de aguas residuales con microalgas *Chlorella Sp.* A condiciones ambientales, considerando inicialmente la temperatura, el pH y la influencia de la radiación.
- Evaluar estudios de remoción de nutrientes en aguas residuales industriales aplicando la microalga *Chlorella Sp.*



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abalde, J. E. A., Cid Blanco, A., España, U. da Coruña., José Pablo Fidalgo Paredes, España, U. da Coruña., Torres Vaamonde, J. E., Universidade da Coruña. España, Herrero López, C., & Universidad de da Coruña. España. (1995). *Microalgas: Cultivo y aplicaciones* (2.^a ed.). Universidad da Coruña. Servizo de Publicacións. <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497695>
- Abdel, N. R., Al-Homaidan, A. A., & Ibraheem, I. B. M. (2012). Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19(3), 257-275. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.04.005>
- APHA, A. G. (2005). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales AHPA - AWWA - WPCF* (17.^a ed.). Dias de Santos.
- Bitton, G. (2005). *Wastewater microbiology* (3rd ed). Wiley-Liss, John Wiley & Sons.
- Bolado, S., Martin, J., Lebrero, R., Pérez, S., García, D., Marín, D., & Lorenzo, A. (2014). *Tratamiento y valorización de aguas residuales mediante microalgas*. 5.
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen. *Ecological Applications*, 8(3), 559-568. <https://doi.org/10.2307/2641247>
- Chacón, C., Andrade, C., & Araujo, I. (2002). *Uso de Chlorella sp. Y Scenedesmus sp.* 38, 13.
- Chen, C. Y., Yeh, K. L., Su, H. M., Lo, Y. C., Chen, W. M., & Chang, J. S. (2010). Strategies to enhance cell growth and achieve high-level oil production of a



Chlorella vulgaris isolate. *Biotechnology Progress*, 26(3), 679-686.

<https://doi.org/10.1002/btpr.381>

Elias, M. L. N. (2014). *Evaluacion del grado de contaminacion del sector urbano del rio Chira por aguas residuales de la ciudad de Sullana, provincia Sullana, departamento de Piura* [Tesis de maestria]. Universidad Nacional de Piura.

EPA., U. S. E. P. A., U. S. (1975). *Process design manual for nitrogen control. Office of technology transfer.*

García, R. O. P. (2009). *Eliminación de nutrientes para el tratamiento biológico de agua residual usando un sistema inmovilizado microalga-bacteria en crecimiento autotrófico, heterotrófico y mixotrófico* [Tesis de maestria]. Centro de Investigaciones Biológicas del Norte.

Leiva, L. A. R. (2014). *Evaluación in vitro de la capacidad de Biorremediación del consorcio microalgal Chlorella sp Scenedesmus sp., en la biorremoción de materia orgánica de aguas residuales del Camal de Ambato* [Tesis de pregrado]. Universidad Central del Ecuador.

Lekshmi, B., Joseph, R. S., Jose, A., Abinandan, S., & Shanthakumar, S. (2015). Studies on reduction of inorganic pollutants from wastewater by *Chlorella pyrenoidosa* and *Scenedesmus abundans*. *Alexandria Engineering Journal*, 54(4), 1291-1296.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.09.013>

LMP, L. M. P. (2010). *Limites maximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales D.S. N° 003-2010—MINAM.*



- Martínez, A. R. (2011). *Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente*. [Tesis de maestría, Universidad Politecnica de Valencia].
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12831/Ruiz%20Martinez%20Ana%20-%20Tesina%20Fin%20Master%20-%202011.pdf?sequence=1>
- Martínez-Córdova, L. R., Martínez-Porchas, M., López-Elías, J. A., & Enríquez-Ocaña, L. F. (2014). Uso de microorganismos en el cultivo de crustáceos. *Biotecnia*, 16(3), Article 3. <https://doi.org/10.18633/bt.v16i3.141>
- Mercado-Reyes, I., & Álvarez-Montero, X. (2022). *Microalgas y cianobacterias*.
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering treatment and reuse* (4.^a ed.).
- Mojica, I. Y. M. (2020). *Las microalgas una alternativa para la remoción de materia orgánica de aguas residuales domésticas* [Universidad de Pamplona].
http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/5354/1/Medina_2020_TG.pdf
- Moreno, J. A. A. (2020). *Tratamiento de aguas residuales con el uso de microalgas*. Universidad Científica del Sur.
- Muñiz, R. (2019). *Los fotobiorreactores de microalgas: Un recurso para el tratamiento terciario de aguas residuales*. 22.
<file:///C:/Users/usuario/Downloads/javalamo,+4062-13258-1-CE.pdf>
- Muñoz, L. A. (2015). *Remoción de materia orgánica y nutrientes de aguas residuales, purines de cerdo y digestato anaerobio utilizando un consorcio de microalgas-bacterias* [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma de México.



- OMA, O. del medio A. (2013). *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*.
<http://www3.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/anexo-rm-273-2013-vivienda.pdf>
- OMS, O. M. de la S. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda (4a ed + 1a adenda)*. Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/272403>
- Ophtanie, J. G. (2020). *Aplicación de microalgas para la remoción de nutrientes en efluentes agrícolas: Revisión de literatura*. 37.
- Orduz, R. D. C. (2016a). *Las microalgas y el tratamiento de aguas residuales: Conceptos y aplicaciones. Una revisión bibliográfica* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia na.
- Orduz, R. D. C. (2016b). *Las microalgas y el tratamiento de aguas residuales: Conceptos y aplicaciones. Una revisión bibliográfica* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Oscanoa, A. I., Cervantes Gallegos, M. A., Flores Ramos, L., & Ruiz Soto, A. (2021). Evaluación del potencial de *Desmodesmus asymmetricus* y *Chlorella vulgaris* para la remoción de nitratos y fosfatos de aguas residuales. *Revista Peruana de Biología*, 28(1), e18082. <https://doi.org/10.15381/rpb.v28i1.18082>
- Peltroche, J. G. J. A. (2015). *Evaluación de la remoción de nitratos y fosfatos a nivel laboratorio por microalgas libres e inmovilizadas para el Tratamiento Terciario de Aguas Residuales Municipales* [Tesis de pregrado]. Universidad Ricardo Palma.



- Pérez, A. H., & Labbé, J. I. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de biología marina y oceanografía*, 49(2), 157-173. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572014000200001>
- Ponte, W. M. L. (2019a). *Evaluacion de dos especies de microalgas para determinar la eficiencia de remocion de nutrientes de aguas residuales de la ptar Taboada del Callao, Perú* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Federico Villareal.
- Ponte, W. M. L. (2019b). *Evaluacion de dos especies de microalgas para determinar la eficiencia de remocion de nutrientes de aguas residuales de la PTAR Taboada del Callao, Peru* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Federico Villareal.
- Pooja, K., Priyanka, V., & Rao, B. C. S. (2022). *Cost-effective treatment of sewage wastewater using microalgae Chlorella vulgaris and its application as bio-fertilizer* / Elsevier Enhanced Reader. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100122>
- Rawat, I., Ranjith Kumar, R., Mutanda, T., & Bux, F. (2011). Dual role of microalgae: Phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. *Applied Energy*, 88(10), 3411-3424. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.11.025>
- Riva, A. M. (2018). *Evaluación de la capacidad de remoción de nitratos y fosfatos de la microalga, Desmodesmus asymmetricus, en aguas residuales de PETAR-TABOADA Callao*. 83.
- Rivera, I. C. R. (2017). *Remoción de nitrógeno total empleando la microalga Chlamydomona Reinhardtii en el efluente de un camal avícola*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional del Centro del Perú.



- Rojas, R. (2002). *Sistemas de tratamiento de aguas residuales*.
- Saltos, A. A. A. (2023). *Aplicación de microalgas (chlorella spp) en el tratamiento de aguas residuales domésticas de Ballenita, Santa Elena y Anconcito*. [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/65463/1/BINGQ-IQ-22P101.pdf>
- Schindler, D. W. (2006). Recent advances in the understanding and management of eutrophication. *Limnology and Oceanography*, 51(1part2), 356-363. https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0356
- Sucasaca, D. Y. S. (2019). *Remoción de nitrógeno y fosforo de las aguas residuales domésticas por la biomasa de microalgas del riachuelo Torococha en condiciones de laboratorio, Juliaca 2017*. [Tesis de pregrado]. Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez.
- Tudela-Mamani, J. W. (2017). Disponibilidad a pagar por el mejoramiento en el tratamiento de aguas residuales: Aplicación del método de valoración contingente en Puno, Perú. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 23(3), 341-352. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.11.059>
- Valderrama, J. E. T. (2018). *Evaluación de la capacidad depuradora de chlorella vulgaris beyerinck inmovilizada en alginato para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Huaura-Lima* [Tesis de pregrado]. Universidad Católica Sedes Sapientiae.
- Wang, D., Zhang, Z., Li, X., Zheng, W., Yang, Q., Ding, Y., Zeng, T., Cao, J., Yue, X., Shen, T., Zeng, G., & Deng, J. (2010). A full-scale treatment of freeway toll-gate domestic sewage using ecology filter integrated constructed rapid infiltration.



Ecological Engineering, 36(6), 827-831.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.03.005>

Yeh, K.-L., & Chang, J.-S. (2012). Effects of cultivation conditions and media composition on cell growth and lipid productivity of indigenous microalga *Chlorella vulgaris* ESP-31. *Bioresource Technology*, 105, 120-127.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.11.103>



ANEXOS



ANEXO 1: Informe de resultados



LAQUAMEQ E.I.R.L. LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

INFORME DE RESULTADOS N°: LQ - 03323A

DATOS DEL SERVICIO

SOLICITANTE: Rudy Percy Condori Mamani

Ronal Augusto Cuenta Quispe

PROYECTO : APLICACIÓN DE LA MICROALGA CHLORELLA SP. PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA CIUDAD DE PUNO.

DATOS DEL ENSAYO

Producto : Agua residual
Numero de muestras : 01
Muestreado por : El cliente
Fecha de análisis : 16 - 18/05/2023

Ubicación, fecha y hora de muestreo:

Código	Dist. /Prov./ Depart.	Ubicación	Fecha y hora de muestreo
M - I	Puno/Puno/Puno	E: 392244 N: 824783	15/05/2023 9:52

DATOS DEL RESULTADO

N°	PARAMETRO	UNIDAD	METODO	M - I
1	Temperatura	°C	SM - 2550 B método de laboratorio de campo	18.7
2	Potencial de hidrogeno	Unidades de pH	SM 4500 - H	7.18
3	Nitratos	mg/l	Método colorimétrico (HACH)	34
4	Fosfatos	mg/l	Método colorimétrico (HACH)	26.6

Observación: Las muestras se analizaron tal como se recibió.

Fecha de emisión
2023-05-19

LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO Y EQUIPOS
Rolando Ródy
ING. ROLANDO RÓDY LARA HUARANCCA
CIP. 198412
JEFE DE LABORATORIO

Jr. Deústua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno - San Román - Juliaca
www.laquameq.com - Cel. 920869679 - 979265920



LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

INFORME DE RESULTADOS N°: LQ – 03423A

DATOS DEL SERVICIO

SOLICITANTE: Rudy Percy Condori Mamani

Ronal Augusto Cuenta Quispe

PROYECTO : APLICACIÓN DE LA MICROALGA CHLORELLA SP. PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA CIUDAD DE PUNO.

DATOS DEL ENSAYO


Producto : Agua residual
Numero de muestras : 04
Muestreado por : El cliente
Fecha de muestreo : 27/05/2023
Fecha de análisis : 27 - 29/05/2023

DATOS DEL RESULTADO

N°	PARAMETRO	UNIDAD	METODO	5%	15%	30%	50%
1	Temperatura	°C	SM - 2550 B método de laboratorio de campo	13.5	13.8	13.6	13.4
2	Potencial de hidrogeno	Unidades de pH	SM 4500 - H	9.8	9.7	9.8	9.8
3	Nitratos	mg/l	Método colorimétrico (HACH)	22	14	8	11
4	Fosfatos	mg/l	Método colorimétrico (HACH)	18.6	10.5	5.8	7.3

Observación: Las muestras se analizaron tal como se recibió.

Fecha de emisión
2023-05-19


LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO Y EQUIPOS
ING. ROLANDO RODRY JARA HUARANCCA
CIP. 198412
JEFE DE LABORATORIO

Jr. Deústua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno – San Román – Juliaca
www.laquameq.com – Cel. 920869679 - 979265920



LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

INFORME DE RESULTADOS N°: LQ - 03523A

DATOS DEL SERVICIO

SOLICITANTE: Rudy Percy Condori Mamani

Ronal Augusto Cuenta Quispe

PROYECTO : APLICACIÓN DE LA MICROALGA CHLORELLA SP. PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA CIUDAD DE PUNO.

DATOS DEL ENSAYO

Producto : Agua residual
Numero de muestras : 04
Muestreado por : El cliente
Fecha de muestreo : 27/05/2023
Fecha de análisis : 27 - 29/05/2023

DATOS DEL RESULTADO

N°	PARAMETRO	UNIDAD	METODO	R5%	R15%	R30%	R50%
1	Temperatura	°C	SM - 2550 B método de laboratorio de campo	15.2	15.4	15.3	15.4
2	Potencial de hidrogeno	Unidades de pH	SM 4500 - H	9.7	9.9	9.7	9.8
3	Nitratos	mg/l	Método colorimétrico (HACH)	20	16	9	10
4	Fosfatos	mg/l	Método colorimétrico (HACH)	19	11.6	6.1	7

Observación: Las muestras se analizaron tal como se recibió.

Fecha de emisión
2023-05-19

LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO Y EQUIPOS
Rolando Rody
ING. ROLANDO RODRY SAMA HUARANCCA
C.I.P. 138412
JEFE DE LABORATORIO

Jr. Deístua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno – San Román – Juliaca
www.laquameq.com – Cel. 920869679 - 979265920



LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

INFORME DE RESULTADOS N°: LQ – 03623A

DATOS DEL SERVICIO

SOLICITANTE: Rudy Percy Condori Mamani

Ronal Augusto Cuenta Quispe

PROYECTO : APLICACIÓN DE LA MICROALGA CHLORELLA SP. PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA CIUDAD DE PUNO.

DATOS DEL ENSAYO


Producto : Agua residual
Numero de muestras : 04
Muestreado por : El cliente
Fecha de muestreo : 28/05/2023
Fecha de análisis : 28 – 30/05/2023

DATOS DEL RESULTADO

N°	PARAMETRO	UNIDAD	MÉTODO	5%	15%	30%	50%
1	Temperatura	°C	SM - 2550 B método de laboratorio de campo	14.5	14.3	14.5	14.4
2	Potencial de hidrogeno	Unidades de pH	SM 4500 - H	9.5	9.6	9.6	9.7
3	Nitratos	mg/l	Método colorimétrico (HACH)	16	9	4	7
4	Fosfatos	mg/l	Método colorimétrico (HACH)	13.4	6.4	2.1	4.3

Observación: Las muestras se analizaron tal como se recibió.

Fecha de emisión
2023-05-19


LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO Y EQUIPOS
ING. ROLANDO ROCY CIA HUANANCA
CIP. 158412
JEFE DE LABORATORIO

Jr. Deístua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno – San Román – Juliaca
www.laquameq.com – Cel. 920869679 - 979265920



LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

INFORME DE RESULTADOS N°: LQ – 03723A

DATOS DEL SERVICIO

SOLICITANTE: Rudy Percy Condori Mamani

Ronal Augusto Cuenta Quispe

PROYECTO : APLICACIÓN DE LA MICROALGA CHLORELLA SP. PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA CIUDAD DE PUNO.

DATOS DEL ENSAYO

Producto : Agua residual
Numero de muestras : 04
Muestreado por : El cliente
Fecha de muestreo : 28/05/2023
Fecha de análisis : 28 – 30/05/2023

DATOS DEL RESULTADO

N°	PARAMETRO	UNIDAD	MÉTODO	R5%	R15%	R30%	R50%
1	Temperatura	°C	SM - 2550 B método de laboratorio de campo	14.5	14.6	14.7	14.8
2	Potencial de hidrogeno	Unidades de pH	SM 4500 - H	9.7	9.8	9.9	9.8
3	Nitratos	mg/l	Método colorimétrico (HACH)	17	9	3	8
4	Fosfatos	mg/l	Método colorimétrico (HACH)	12.9	6	1.8	5

Observación: Las muestras se analizaron tal como se recibió.

Fecha de emisión
2023-05-19

LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO Y EQUIPOS
Rolando Rody
ING. ROLANDO RODRY SAA HUARANCCA
CIP. 198412
JEFE DE LABORATORIO

Jr. Deústua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno – San Román – Juliaca
www.laquameq.com – Cel. 920869679 - 979265920



LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

INFORME DE RESULTADOS N°: LQ – 03823A

DATOS DEL SERVICIO

SOLICITANTE: Rudy Percy Condori Mamani

Ronal Augusto Cuenta Quispe

PROYECTO : APLICACIÓN DE LA MICROALGA CHLORELLA SP. PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA CIUDAD DE PUNO.

DATOS DEL ENSAYO

Producto : Agua residual
Numero de muestras : 04
Muestreado por : El cliente
Fecha de muestreo : 29/05/2023
Fecha de análisis : 29 – 31/05/2023

DATOS DEL RESULTADO

N°	PARAMETRO	UNIDAD	MÉTODO	5%	15%	30%	50%
1	Temperatura	°C	SM - 2550 B método de laboratorio de campo	16.8	17.2	17.4	17.6
2	Potencial de hidrogeno	Unidades de pH	SM 4500 - H	9.6	9.7	9.6	9.5
9.53	Nitratos	mg/l	Método colorimétrico (HACH)	18	11	6	11
4	Fosfatos	mg/l	Método colorimétrico (HACH)	15	7.6	3.8	4.7

Observación: Las muestras se analizaron tal como se recibió.

Fecha de emisión
2023-05-19

LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO Y EQUIPOS
Rolando Rody
ING. ROLANDO RODRYGUA HUARANCCA
CIP. 198412
JEFE DE LABORATORIO

Jr. Deústua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno – San Román – Juliaca
www.laquameq.com – Cel. 920869679 - 979265920



LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

INFORME DE RESULTADOS N°: LQ – 03923A

DATOS DEL SERVICIO

SOLICITANTE: Rudy Percy Condori Mamani
Ronald Augusto Cuenta Quispe

PROYECTO : APLICACIÓN DE LA MICROALGA CHLORELLA SP. PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA CIUDAD DE PUNO.

DATOS DEL ENSAYO

Producto : Agua residual
Numero de muestras : 04
Muestreado por : El cliente
Fecha de muestreo : 29/05/2023
Fecha de análisis : 29 – 31/05/2023

DATOS DEL RESULTADO

N°	PARAMETRO	UNIDAD	METODO	R5%	R15%	R30%	R50%
1	Temperatura	°C	SM - 2550 B método de laboratorio de campo	15.3	15.7	15.5	15.6
2	Potencial de hidrogeno	Unidades de pH	SM 4500 - H	9.6	9.5	9.7	9.6
3	Nitratos	mg/l	Método colorimétrico (HACH)	17	10	8	12
4	Fosfatos	mg/l	Método colorimétrico (HACH)	16	8	3.5	5.2

Observación: Las muestras se analizaron tal como se recibió.

Fecha de emisión
2023-05-19

LAQUAMEQ E.I.R.L.
LABORATORIO Y EQUIPOS
Rolando Rodry
ING. ROLANDO RODRY JARA HUARANCCA
CIP. 198412
JEFE DE LABORATORIO

Jr. Deústua N° 522 Barrio 28 de Julio. Puno – San Román – Juliaca
www.laquameq.com – Cel. 920869679 - 979265920

ANEXO 2: Evidencias fotográficas

Figura 17.

Ubicación del punto de muestreo



Figura 18.

Cepa de microalga Chlorella Sp.

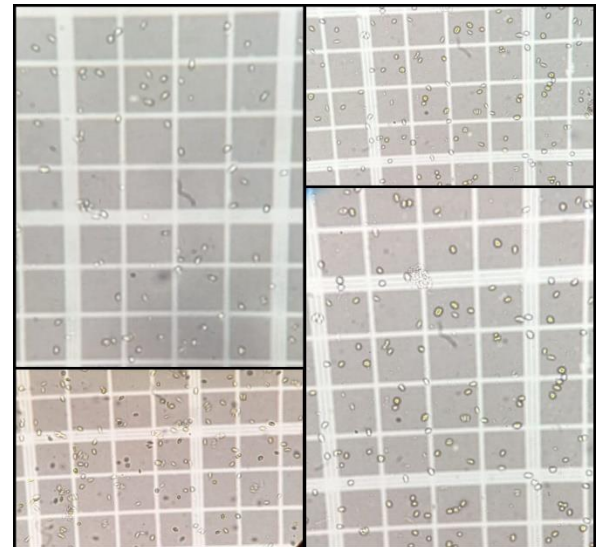


Figura 19

Acondicionamiento de microalga con agua residual



Figura 20

Control de pH y temperatura



Figura 21

Tratamiento al 10mo día



Figura 22

Agua residual tratada con microalgas



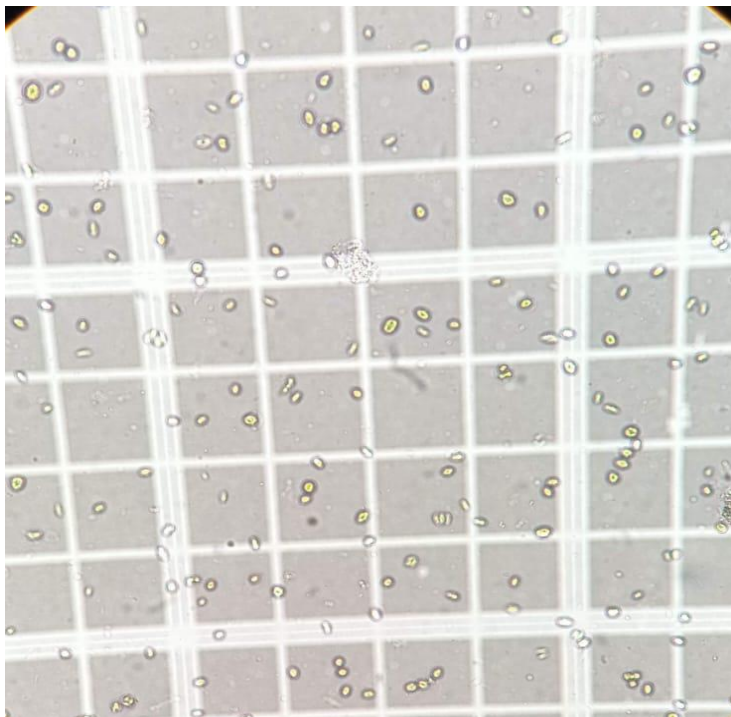
Figura 23.

Control diario del crecimiento microalgal



Anexo 9

Vista de microalga en microscopio





DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Rudy Percy condori mamani
identificado con DNI 43641515 en mi condición de egresado de:

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

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

“Aplicación de la microalga chlorella sp. Para la
Remoción de Nutrientes de Aguas Residuales
Domesticas de la ciudad de Puno”

Es un tema original.

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

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

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

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

Puno 27 de diciembre del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Ronal Augusto Cuenta Quispe,
identificado con DNI 42334524 en mi condición de egresado de:

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

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
“ APLICACIÓN DE LA MICROALGA CHLORELLA SP. PARA
LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES DE AGUAS
RESIDUALES DOMESTICAS DE LA CIUDAD DE PUNO ”

Es un tema original.


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

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

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

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

Puno 27 de Diciembre del 20 23



FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo Rudy Percy Condori Mamani,
identificado con DNI 43649515 en mi condición de egresado de:

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

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

“ Aplicación de la microalga chlorella sp.
Para la Remoción de Nutrientes de Aguas
Residuales Domésticas de la Ciudad de Puno ”

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

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 27 de Diciembre del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo Ronal Augusto Cuenta Quispe,
identificado con DNI 42334524 en mi condición de egresado de:

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

Ingeniería Química

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

"APLICACIÓN DE LA MICROALGA CHLORELLA SP. PARA LA REMOCION DE NUTRIENTES DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA CIUDAD DE PUNO"

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

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

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

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

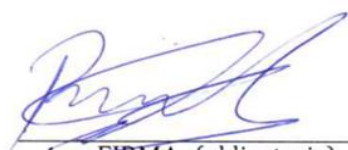
En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 27 de DECIEMBRE del 2023


FIRMA (obligatoria)



Huella