



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEPURADORA CON MICROALGAS
SCENEDESMUS SP. Y CHLORELLA SP. PARA EL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS A ESCALA DE LABORATORIO DEL
DISTRITO DE JULIACA**

PRESENTADA POR:

KAREN KELLY QUISPE QUISPE

PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

CON MENCIÓN EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y AMBIENTAL

PUNO, PERÚ

2023

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEPURADORA CON MICROALGAS SCENEDESMUS

AUTOR

KAREN KELLY QUISPE

RECUENTO DE PALABRAS

21913 Words

RECUENTO DE CARACTERES

107530 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

108 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.6MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 5, 2024 7:36 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jan 5, 2024 7:38 AM GMT-5

● 7% de similitud general

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

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

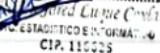
- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)


Ing. C. RENE JUSTO QUISPE FLORES
Registro 116828 - QUÍMICO




M.Sc. Solomón Tito León
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN UPG
MAESTRÍA EN CIENCIAS - INGENIERÍA QUÍMICA




Ing. LUIS CARLOS
COORDINADOR DE INVESTIGACIÓN
ESTADÍSTICO E INFORMÁTICO
CIP. 110025

Resumen



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE PORGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS INGENIERIA QUÍMICA

TESIS

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEPURADORA CON MICROALGAS
SCENEDESMUS SP. Y CHLORELLA SP. PARA EL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS A ESCALA DE LABORATORIO DEL
DISTRITO DE JULIACA**



PRESENTADA POR:

KAREN KELLY QUISPE QUISPE

PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

CON MENCIÓN EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y AMBIENTAL

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE


.....
D.Sc. MOISES PEREZ CAPA

PRIMER MIEMBRO


.....
D.Sc. ROGER HUANQUI PEREZ

SEGUNDO MIEMBRO


.....
M. Sc. JORGE ARUHUANCA CARTAGENA

ASESOR


.....
M. Sc. RENE JUSTO QUISPE FLORES

Puno, 06 de diciembre de 2023

ÁREA: Investigación.

TEMA: Seguridad y Medio Ambiente.

LÍNEA: Recursos Naturales y Medio Ambiente.



DEDICATORIA

Dedico esta investigación primeramente a Dios por guiarme y por estar siempre presente durante el transcurso de mi vida.

A Roger mi esposo por alentarme a continuar con mis objetivos.

A mi hija Ástrid Belen la personita más dulce de mi vida por ser mi motivo, mi fuerza para continuar a cumplir nuestros sueños.

A mi mami Nelly, por el amor infinito e incondicional que me das, por el gran apoyo que me brindas para seguir cumpliendo mis objetivos, tu ejemplo de amor que nos demostraste a tus hijos, por esa fe y confianza de ver este sueño hecho realidad.

A mi padre David (†) quien se encuentra en el cielo por esos buenos momentos que pasamos juntos cuando estuviste en vida, por los consejos, valores y principios que me dejaste.

A mi hermano Javier por su confianza que implanto en mí, por apoyarme en los momentos difíciles.

Karen Kelly



AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a Dios por permitirme lograr este objetivo.

A la Universidad Nacional del Altiplano mi alma mater, a la Escuela de Pos Grado y por supuesto a la Facultad de Ingeniería Química por brindarme los conocimientos durante mi formación profesional.

Mis agradecimientos al M.Sc. Glicerio Amaru Chambilla del laboratorio continental IMARPE por el apoyo y los conocimientos compartidos en el periodo de ejecución de mi proyecto de investigación.

Al M.Sc. Rene J. Quispe Flores por su asesoría durante el proceso de mi proyecto de investigación.

Al Dr. Moisés Pérez Capa por alentarme a cumplir este objetivo

A mis amigas Neyma, Stechkin y Nelida por el apoyo constante en el periodo de ejecución.

Al laboratorio de Calidad Ambiental de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.

Karen Kelly



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	x
ACRÓNIMOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
REVISIÓN DE LITERATURA	
1.1 Marco teórico	3
1.1.1 Aguas residuales	3
1.1.2 Aguas residuales domesticas	3
1.1.3 Contaminación	4
1.1.4 Composición y características de las aguas residuales	4
1.1.5 Parámetros de aguas residuales	5
1.1.6 Límites máximos permisibles	6
1.1.7 Tratamiento de aguas residuales	7
1.1.8 Tratamiento de aguas residuales con microalgas	7
1.1.9 Función de las microalgas en el tratamiento de aguas residuales	9
1.1.10 Sistema de tratamiento y su efectividad de remoción	10
1.1.11 Requerimiento para el cultivo de microalgas	10
1.1.12 Microalgas	11
1.1.13 Clasificación de las microalgas	11
1.1.14 Crecimiento de las microalgas	12
1.2. Antecedentes	13



CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1	Identificación del problema	18
2.2	Enunciados del problema	19
2.2.1	Pregunta general	19
2.2.2	Preguntas específicas	19
2.3	Justificación	20
2.3.1	Justificación de impacto social	20
2.3.2	Justificación de impacto ambiental	20
2.3.3	Justificación de impacto económico	20
2.4	Objetivos	21
2.4.1	Objetivo general	21
2.4.2	Objetivos específicos	21
2.5	Hipótesis	21
2.5.1	Hipótesis general	21
2.5.2	Hipótesis específicas	21

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Lugar de estudio	22
3.2	Población	22
3.3	Muestra	23
3.4	Método de investigación	23
3.5	Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	23
3.5.1	Descripción de variables analizadas	23
3.5.2	Materiales, equipos e insumos	25
3.5.3	Parte experimental	26

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Resultados	31
4.1.1	Caracterización inicial del agua residual doméstica del efluente	31
4.1.2	Condiciones óptimas para el crecimiento de las microalgas <i>Scenedesmus Sp.</i> y <i>Chlorella Sp</i>	32
4.1.3	Tratamiento del agua residual doméstica con microalgas	37
4.1.4	Tratamiento con microalgas <i>Chlorella sp</i>	46



4.1.5 Porcentajes de remoción del tratamiento con microalgas	54
4.1.6 Comparación de los resultados obtenidos después del tratamiento con la normatividad vigente	58
4.2 Discusión	59
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFIA	63
ANEXOS	72

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Características de las aguas residuales y fuentes de origen.	5
2. Límite Máximo Permisible de efluentes.	7
3. Descripción de variables.	24
4. Parámetros y métodos de evaluación.	26
5. Resultados de la caracterización inicial de aguas residuales domésticas.	31
6. Resultados de pH durante la masificación de la microalga <i>Scenedesmus sp.</i> y <i>Chlorella sp.</i>	33
7. Resultados de temperatura durante la masificación de la microalga <i>Scenedesmus sp.</i> y <i>Chlorella sp.</i>	34
8. Concentración celular de microalgas <i>Scenedesmus Sp</i> y <i>Chlorella Sp.</i> (cél/ml).	35
9. Resultados de la temperatura durante el tratamiento con la microalga <i>Scenedesmus sp.</i>	37
10. Resultados del pH durante el tratamiento con la microalga <i>Scenedesmus sp.</i>	38
11. Resultados de solidos suspendidos totales durante el tratamiento con la microalga <i>Scenedesmus sp.</i>	39
12. Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno durante el tratamiento con la microalga <i>Scenedesmus sp.</i>	40
13. Resultados de la demanda química de oxígeno durante el tratamiento con la microalga <i>Scenedesmus sp.</i>	41
14. Resultados de los coliformes termotolerantes durante el tratamiento con la microalga <i>Scenedesmus sp.</i>	42
15. Análisis de varianza para la temperatura	43
16. Análisis de varianza para el pH	44
17. Análisis de varianza para los sólidos suspendidos totales	44
18. Análisis de varianza para la demanda bioquímica de oxígeno	44
19. Análisis de varianza para la demanda química de oxígeno	45
20. Análisis de varianza para los coliformes termotolerantes.	45
21. Resultados de la temperatura durante el tratamiento con la microalga <i>Chlorella sp.</i>	46
22. Resultados del pH durante el tratamiento con la microalga <i>Chlorella sp.</i>	47



23.	Resultados de solidos suspendidos totales durante el tratamiento con la microalga Chlorella sp.	48
24.	Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno durante el tratamiento con la microalga Chlorella sp.	49
25.	Resultados de la demanda química de oxígeno durante el tratamiento con la microalga Chlorella sp.	50
26.	Resultados de los coliformes termotolerantes durante el tratamiento con la microalga Chlorella sp.	51
27.	Análisis de varianza para la temperatura	52
28.	Análisis de varianza para el pH	52
29.	Análisis de varianza para los sólidos suspendidos totales	53
30.	Análisis de varianza para la demanda bioquímica de oxígeno	53
31.	Análisis de varianza para la demanda química de oxígeno	54
33.	Porcentaje de remoción de solidos totales con Scenedesmus sp.	55
34.	Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno con Scenedesmus sp.	55
35.	Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno con Scenedesmus sp..	55
36.	Porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes con Scenedesmus sp.	56
37.	Porcentaje de remoción de solidos totales con Chlorella sp.	56
38.	Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno con Chlorella sp.	57
39.	Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno con Chlorella sp.	57
40.	Porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes con Chlorella sp.	58
41.	Resultados obtenidos del tratamiento con la microalga Scenedesmus frente a la normativa vigente.	58
42.	Resultados obtenidos del tratamiento con la microalga Chlorella frente a la normativa vigente.	59

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Esquema de tratamiento de aguas residuales con microalgas.	9
2. Esquema básico del aprovechamiento de microalgas.	11
3. Fases de crecimiento de un cultivo microalga.	13
4. Ubicación del punto de muestreo en el río Torococha - Juliaca	22
5. Desembocadura de la PTAR al río Torococha.	23
6. Toma de muestras y análisis en laboratorio.	27
7. Adecuación de microalgas para tratamiento de aguas residuales domésticas.	29
8. Análisis de las muestras después del tratamiento con microalgas.	30
9. Curva de crecimiento durante la masificación de <i>Scenedesmus</i> sp.	36
10. Datos de temperatura durante el tratamiento con <i>Scenedesmus</i> Sp.	37
11. Datos del pH durante el tratamiento con la microalga <i>Scenedesmus</i> Sp.	38
12. Valores de los sólidos suspendidos totales durante el tratamiento con la microalga <i>Scenedesmus</i> Sp.	39
13. Valores de la demanda bioquímica de oxígeno durante el tratamiento con la microalga <i>Scenedesmus</i> Sp.	40
14. Valores de la demanda química de oxígeno durante el tratamiento con la microalga <i>Scenedesmus</i> Sp.	41
15. Valores de los coliformes termotolerantes durante el tratamiento con la microalga <i>Scenedesmus</i> Sp.	42
16. Datos de temperatura durante el tratamiento con <i>Chlorella</i> Sp.	46
17. Datos del pH durante el tratamiento con la microalga <i>Chlorella</i> Sp.	47
18. Valores de los sólidos suspendidos totales durante el tratamiento con la microalga <i>Chlorella</i> Sp.	48
19. Valores de la demanda bioquímica de oxígeno durante el tratamiento con la microalga <i>Chlorella</i> Sp.	49
20. Valores de la demanda química de oxígeno durante el tratamiento con la microalga <i>Chlorella</i> Sp.	50
21. Valores de los coliformes termotolerantes durante el tratamiento con la microalga <i>Chlorella</i> Sp.	51
22. Toma de muestras iniciales	85



23. Laboratorio Continental, area de acuicultura y cultivos auxiliares IMARPE-PUNO	85
24. Cepas de microalgas Chlorella sp y Scenedesmus sp.	86
25. Dosificación de aguas residuales con microalgas con aguas residuales	86
26. Acondicionamiento de microalgas	87
27. Conteo celular en microscopio	87
28. Chlorella sp y Scenedesmus sp	88
29. Muestras decantadas para el analisis respectivo	88
30. Análisis de aguas residuales tratadas	89



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Constancia de la obtención de las especies de microalga <i>Scenedesmus</i> sp. y <i>Chlorella</i> sp.	73
2. Resultados de laboratorio	74
3. Evidencias fotográficas	85
4. Puntos porcentuales de la distribución F	90



ACRÓNIMOS

- °C** : Grados Celsius
- DQO** : Demanda química de oxígeno
- DBO** : Demanda bioquímica de oxígeno
- E** : Este
- ECA** : Estándar de calidad ambiental
- mg/l** : Miligramos por litro
- LMP** : Límite máximo permisible
- MINAM**: Ministerio del ambiente
- NMP** : Número más probable
- N** : Norte
- pH** : Potencial de hidrogeno
- PTAR** : Planta de tratamiento de aguas residuales
- RPM** : Revoluciones por minuto
- SM** : Métodos estandarizados
- SST** : Sólidos suspendidos totales
- T** : Temperatura
- UTM** : Universal Transversal de Mercator
- W** : Watts
- %** : Porcentaje



RESUMEN

La siguiente investigación tiene como finalidad evaluar la capacidad depuradora con microalgas *Scenedesmus Sp.* y *Chlorella Sp.* para el tratamiento de aguas residuales domesticas a escala de laboratorio del distrito de Juliaca, en la planta de tratamiento de aguas residuales presenta dificultades en la calidad del agua del efluente por los desechos que se encuentran, la investigación es de tipo aplicada, de enfoque cuantitativo que corresponde a un diseño experimental de nivel explicativo. Inicialmente se realizó una caracterización inicial obteniendo resultados de: Temperatura de 13.8 °C, pH 7.18, SST de 170mg/L, DQO de 1020 mg/L, DBO 450 mg/L, coliformes termotolerantes $1.1 * 10^7$ NMP/100mL con los resultados obtenidos se procedió a realizar las dosificaciones considerando 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% de microalgas (*Scenedesmus Sp.* y *Chlorella Sp.*) en agua residual, el tratamiento se realizó en un periodo de 12 días y los análisis se realizaron a partir del día 8 hasta el día 12 considerando 5 días de análisis, el crecimiento celular se controló diariamente con el pH y la temperatura. En cuanto a la remoción con *Scenedesmus Sp.* los SST obtuvo un 86.38%, la DBO 81.02%, la DQO 82.25% y los coliformes el 100% de remoción, por otro lado, la *Chlorella Sp.* presento una remoción de SST de 81.06%, la DBO 77.71%, la DQO 80.78% y los coliformes termotolerantes el 100% la mayor remoción se dio con una dosis del 20% de ambas especies de microalgas. Por tanto, se recomienda realizar este tipo de tratamiento por ser eficiente.

Palabras claves: Aguas residuales, *Chlorella Sp.*, evaluación, microalgas, *Scenedesmus Sp.*, tratamiento.



ABSTRACT

The research objective is to evaluate the purification capacity with microalgae *Scenedesmus Sp.* and *Chlorella Sp.* for domestic wastewater treatment on a laboratory scale in Juliaca district, in the wastewater treatment plant presents difficulties in the quality of the effluent water due to waste found, the research is of an applied type, with a quantitative approach that corresponds to an explanatory level experimental design. Firstly, an initial characterization was carried out obtaining results of: Temperature of 13.8 °C, pH 7.18, TSS of 170 mg/L, COD of 1020 mg/L, BOD 450 mg/L, thermotolerant coliforms $1.1 * 10^7$ NMP/100ml With the results obtained, the dosages were carried out considering 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30% of microalgae (*Scenedesmus Sp.* and *Chlorella Sp.*) in wastewater, the treatment was carried out in a period of 12 days and the analyzes were carried out from day 8 to day 12 considering 5 analysis days, cell growth was controlled daily with pH and temperature. Regarding the removal with *Scenedesmus Sp.* the TSS obtained 86.38%, the BOD 81.02%, the COD 82.25% and the coliforms 100% removal, on the other hand, *Chlorella Sp.* presented a TSS removal of 81.06%, the BOD 77.71%, the COD 80.78% and the thermotolerant coliforms 100%, the greatest removal occurred with a dose of 20% of both species of microalgae. Therefore, it is recommended to perform this type of treatment because it is efficient.

Keywords: Wastewater, *Chlorella Sp.*, evaluation, microalgae, *Scenedesmus Sp.*, treatment.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso importante para la actividad humana, el desarrollo económico y el bienestar social (Silva et al., 2008), La creciente contaminación del agua amenaza la salud humana y los ecosistemas. Esto nos llevó a buscar mecanismos para afrontar esta situación; Una solución es reciclar el agua contaminada (Rodríguez-Miranda et al., 2010).

La principal fuente de contaminación del agua son los aguas residuales domésticas, que contienen abundantes sustancias (Yan et al., 2013), lo que ha resultado ser una contaminación dañina de los recursos hídricos (Abdel et al., 2012), por lo que estas aguas residuales son un gran problema en el mundo ya que causan efectos dañinos a los recursos naturales. Poseen altas cantidades de materia orgánica e inorgánica como sales alcalinas, contenido de carbono y componentes volátiles que reaccionan con los fenómenos naturales y los contaminan, Por lo tanto, es importante que sean tratados antes de que se viertan en el medio ambiente (Pooja, Priyanka, & Rao, 2022).

Mientras que las plantas de tratamiento de aguas residuales buscan desarrollar y promover procesos más económicos, que creen más valor agregado y sean amigables con el medio ambiente, el tratamiento biológico de aguas residuales con microalgas proporciona beneficios económicos y ambientales al proceso operativo (Mérida, 2020).

Las propiedades físico-químicas de las aguas residuales o aguas residuales son de gran importancia en el desarrollo de las microalgas, la finalidad de las microalgas es reducir los compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en las aguas residuales, los cuales deben servir como nutrientes en la formación de biomasa. La eficacia del tratamiento biológico depende del tipo de cepa utilizada (Y. Wang et al., 2016a).

Actualmente, el tratamiento de aguas residuales es un proceso costoso y poco rentable para las empresas acuícolas. Por lo tanto, la investigación sobre este tema debería centrarse en el desarrollo de tecnologías eficientes y de bajo costo. Entre estas tecnologías, los cultivos de microalgas juegan un papel importante y se consideran amigables con el medio ambiente porque procesan eficientemente contaminantes en medios líquidos y gaseosos y los incorporan al metabolismo para producir biomasa (Pérez & Labbé, 2014). Las microalgas son un grupo muy grande y diverso de microorganismos fotosintéticos que tienen una estructura

simple que les permite crecer rápidamente y por tanto producir más biomasa, y dependiendo de la especie, pueden crecer tanto en agua dulce como salada (Muñiz, 2019).

En las últimas décadas se ha prestado mucha atención al aprovechamiento de microalgas que, además de eliminar grandes cantidades de metales pesados, también son capaces de absorber nutrientes de las aguas residuales para favorecer su crecimiento. (Rosales et al., 2018). También interactúan con las bacterias para ayudar a eliminar la materia orgánica y reducir los sólidos en suspensión, además de consumir directamente compuestos orgánicos disueltos (Abdel et al., 2012).

En el presente proyecto de investigación se evaluó la capacidad depuradora con microalgas *Scenedesmus Sp.* y *Chlorella Sp.* para el tratamiento de los efluentes domésticas, determinando inicialmente la calidad del agua del efluente a tratar, comparando la eficiencia del tratamiento a diferentes dosis de cada especie de microalga, para luego determinar la remoción de los parámetros considerados con el fin de estimar la eficiencia de cada especie de microalga.

El presente proyecto de investigación está contenido por los siguientes capítulos: Capítulo I. Revisión de literatura; que aborda el marco teórico y los antecedentes del estudio. Capítulo II, que aborda todos los aspectos referentes a la problemática, identificación del problema, justificación de la investigación, objetivos de investigación e hipótesis de la investigación; Capítulo III, consta de los materiales y métodos, en donde se observa el lugar de estudio, la población la muestra, el método de investigación y la descripción detallada de métodos por objetivos específicos. Capítulo IV, resultados y discusión seguidamente de las conclusiones, recomendaciones, además la bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico

1.1.1 Aguas residuales

Las aguas residuales pueden definirse como desechos o una combinación de desechos de instituciones públicas, empresas industriales y comerciales y edificios residenciales, o aquellos que puedan sumarse; en última instancia, aguas subterráneas, aguas superficiales y aguas pluviales (Arévalo & Malo, 2017), por lo que son un gran problema en el mundo ya que causan efectos dañinos a los recursos naturales por que poseen altas cantidades de materia orgánica como sales alcalinas, contenido de carbono y componentes volátiles que reaccionan con los fenómenos naturales y los contaminan (Pooja et al., 2022), Generalmente, los generadores de aguas residuales se pueden dividir en aguas residuales domésticas, aguas residuales industriales (típicas o contadas y no contabilizadas) y aguas residuales comerciales (Ramírez, 2011), por lo tanto en el informe difundido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), indica que los efluentes son la combinación de las aguas residuales domésticos que vienen a ser aguas negras y grises (Huacho, 2020).

1.1.2 Aguas residuales domesticas

Las aguas residuales domésticas provienen de viviendas o instalaciones comerciales públicas o privadas (Pérez, 2009), que las características primarias han sido modificadas por actividades humanas (Valderrama, 2018). “Esta clasificación de las aguas residuales son las procedentes de las actividades domésticas de la vida diaria”, estos desechos presentan altos contenidos de materia orgánica, grasas y

detergentes.(Arévalo & Malo, 2017), como también están compuestos por aguas fecales y aguas de lavado.

1.1.3 Contaminación

La contaminación de los cuerpos de agua se basa en la eutrofización (Lavoie & Noüe, 1985), debido a la cantidad de productos contaminantes (Abdel et al., 2012) Los más importantes son la excreción de excrementos, los productos nitrogenados liberados por el animal y la descomposición de los alimentos no consumidos (Pardo et al., 2006).

1.1.4 Composición y características de las aguas residuales

- Composición

Debido a que las aguas residuales se ven afectadas por varios factores, la composición de las aguas residuales varía ampliamente. Estos incluyen el consumo promedio diario de agua per cápita, que afecta la concentración (cantidad) de agua, y los hábitos dietéticos de la población, que afectan su composición química (calidad) (Rojas, 2002). Las aguas residuales están compuestas esencialmente por un 99,9% de agua (llamada agua potable) y un 0,1% (en peso) de sólidos (disueltos o suspendidos) (Saltos, 2023).

- Características

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica tres características fundamentales que contribuirá en el estudio de depuración de aguas residuales.

Tabla 1

Características de las aguas residuales y fuentes de origen.

Características	Fuentes de origen
Físicas	
- Sólidos	Suministro de agua, residuos industriales y doméstico
- Temperatura	Residuos industriales y domésticos.
- Color	Residuos industriales y domésticos.
- Olor	Descomposición de residuos líquidos
Químicas	
Orgánicos	
- Proteínas	Residuos comerciales y domésticos.
- Carbohidratos	Residuos comerciales y domésticos.
- Aceites y grasas	Residuos comerciales, industriales y domésticos.
- Fenoles	Residuos industriales.
- Pesticidas	Residuos agrícolas.
Inorgánicos	
- pH	Residuos industriales.
- Cloruros	Suministro de agua, residuos industriales e infiltraciones.
- Nitrógeno	
- Fosforo	Residuos agrícolas y domésticos.
- Azufre	Residuos agrícolas, industriales y domésticos.
- Metales pesados	Suministro de agua, residuos industriales.
Gases	
- Oxígeno	
- Hidrógeno sulfurado	Suministro de agua e infiltraciones. Residuos domésticos.
- Metano	Residuos domésticos.
Biológicas	
- Virus	Residuos domésticos.
- Bacterias	Residuos domésticos.
- Protozoarios	Residuos domésticos.
- Nematodos	Residuos domésticos.

Nota: (Rojas, 2002).

1.1.5 Parámetros de aguas residuales

- a. **Temperatura.** Conociendo la temperatura del cuerpo receptor o muestra de agua residual, podemos determinar la amplitud o intensidad de los procesos biológicos y reacciones químicas, así como la baja solubilidad (anoxia) de los gases en el ambiente en el que se encuentran. (Moreno, 2020).
- b. **Sólidos totales en suspensión.** Se define como las impurezas (sólidos no filtrables) que quedan tras filtrar una muestra de agua, expresadas en mg/l. Además, pueden causar una condición indeseable: aumento de turbidez en el cuerpo receptor (Moreno, 2020).

- c. **Potencial de hidrogeno (pH).** La concentración de iones de hidrogeno es un parámetro de calidad importante en aguas naturales y residuales. El pH es clave para mantener la supervivencia de los microorganismos y prevenir la corrosión (Saltos, 2023).
- d. **Demanda química de oxígeno (DQO).** “Es la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación química (destrucción) de la materia orgánica” (Rojas, 2002).
- e. **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).** Es la cantidad de materia orgánica que es fácilmente biodegradable durante 5 días a una temperatura de 20°C y corresponde a la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación biológica de la materia orgánica (Rojas, 2002).
- f. **Coliformes termotolerantes.** Estos son microorganismos que son estructuralmente similares a la bacteria común *Escherichia* y se propagan a través de las heces. La presencia de bacterias coliformes indica que el suministro de agua puede estar contaminado con aguas residuales u otros desechos en descomposición (Elías, 2014).

1.1.6 Límites máximos permisibles

Límites máximos permisibles de aguas residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias o municipales. Para el Ministerio de Medio Ambiente del Estado, el límite máximo permisible (LMP) está determinado por el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM como medida de la concentración de parámetros físicos, químicos y biológicos que determinan las emisiones.

Tabla 2

Límite Máximo Permisible de efluentes.

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua
Temperatura	°C	<35
pH		6.5 – 8.5
Solidos suspendidos totales	mg/L	150
Aceites y grasas	mg/L	20
Demanda química de oxígeno	mg/L	200
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	100
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	10000

Nota: (LMP, 2010) Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

1.1.7 Tratamiento de aguas residuales

Debido al crecimiento demográfico y la actividad industrial, el tratamiento de aguas residuales está adquiriendo cada vez más importancia (Amaral, 2016). El objetivo del tratamiento de aguas residuales es prevenir la contaminación física, química, bioquímica, biológica y radiactiva de las instalaciones receptoras (Rojas, 2002), el tratamiento se divide en 3 niveles. Un nivel primario que evita sólidos sedimentables que pueden provocar problemas de rendimiento en etapas posteriores. Los procesos secundarios, físicos y biológicos interactúan para consumir materia orgánica disuelta y oxidar los nutrientes primarios a nitratos y ortofosfatos. Nivel 3 que incluye tratamiento avanzado para eliminar nitratos, fosfatos y compuestos orgánicos. (Mérida, 2020), siendo el principal objetivo para obtener aguas residuales purificadas. (Abdel et al., 2012) y de esta manera no presente un riesgo para el medio ambiente.

1.1.8 Tratamiento de aguas residuales con microalgas

“El tratamiento biológico con microalgas en aguas residuales se considera el más compatible con el medio ambiente y el menos costoso de los métodos de tratamiento

de aguas residuales” (Mantzavinos & Kalogerakis, 2005) ya que estas aguas residuales domesticas constituyen un medio apropiado para el crecimiento de microalgas (J. E. A. Abalde et al., 1995). Básicamente, las microalgas proporcionan oxígeno a las bacterias para digerir los contaminantes orgánicos biodegradables de las aguas residuales (Kadir et al., 2018).

Las propiedades físicas y químicas de las aguas residuales o residuales desempeñan un papel importante en el crecimiento de las microalgas. El objetivo de las microalgas es reducir los compuestos orgánicos e inorgánicos de las aguas residuales, que servirán como nutrientes para la formación de biomasa. Sin embargo, la eficacia del tratamiento biológico depende en particular del tipo de tallo utilizado (Wang et al., 2016).

Las microalgas han sido consideradas como posibles candidatas para el tratamiento terciario de aguas residuales debido a las interacciones de simbiosis entre las microalgas y las bacterias que resultó en una alta eficiencia en la eliminación de contaminantes (Whitton et al., 2015), como también ha sido una alternativa eficiente para la inactivación de bacterias patógenas. (J. E. A. Abalde et al., 1995)

El objetivo principal del uso de microalgas para el tratamiento de aguas residuales es el aprovechamiento de nutrientes y su conversión biológica en biomasa. Además, eliminar contaminantes y aumentar el pH es beneficioso para oxidar el agua y la materia orgánica, reducir los organismos que causan enfermedades y reciclar el O₂ liberado durante la fotosíntesis, entre otros beneficios.

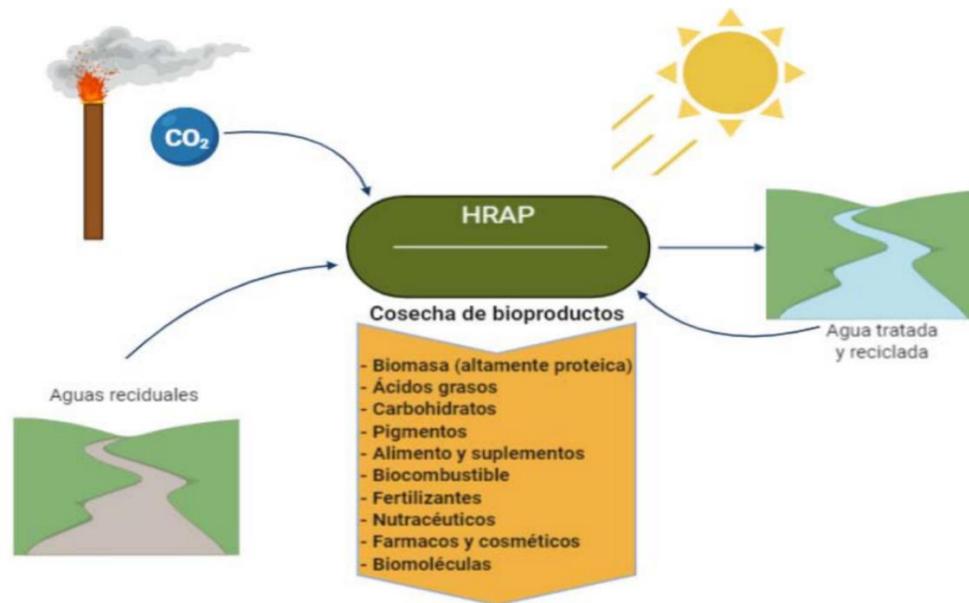


Figura 1. Esquema de tratamiento de aguas residuales con microalgas.

Nota: (Mérida, 2020, p. 33)

1.1.9 Función de las microalgas en el tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales tienen una composición diversa y son ricas en nutrientes que permiten que diversos microorganismos prosperen (Ajonina et al., 2015). La concentración de nutrientes en el cuerpo de agua promueve la reproducción de organismos fototróficos, lo cual es producto de la eutrofización del cuerpo de agua (Mérida, 2020). Este fenómeno reduce la cantidad de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua, lo que provoca la muerte de organismos aeróbicos, reduce la riqueza de especies y afecta gravemente la cadena alimentaria en el cuerpo de agua (Spietz et al., 2015).

Las microalgas también tienen la capacidad de eliminar microorganismos patógenos, ya que producen un alto nivel de pH y secretan sustancias con efectos antimicrobianos (Mérida, 2020). Su capacidad para crecer en ambientes marinos líquidos o aguas residuales reduce el consumo de agua dulce en la producción (Leiva, 2014).

El consorcio de microalgas es adecuado para la depuración de las aguas residuales y pueden ser acoplados a los sistemas actuales para la remoción de patógenos, material orgánica y nutrientes como el nitrógeno y el fosforo (Amaral, 2016).

1.1.10 Sistema de tratamiento y su efectividad de remoción

Cultivo de microalgas. El tratamiento de aguas residuales y el cultivo de microalgas se suelen realizar en estanques abiertos porque suelen ser económicos y fáciles de construir y operar (bajo consumo de energía). (Moreno, 2020). Se han aplicado varias estrategias para mejorar el crecimiento de las microalgas y el contenido de lípidos. Estos incluyen la optimización de las composiciones del medio como: el tipo de fuente de carbono, sales vitaminas y nutrientes, parámetros físicos como la temperatura y la intensidad de luz y tipo de metabolismo con el crecimiento fototrófico, heterótrofo, mixotrófico, y fotoheterotrófico (Chojnacka & Rocha, 2004), estos factores influyen significativamente en el crecimiento y la acumulación de lípidos de las microalgas (Chen et al., 2010). “Los cultivos microalgales con mayor densidad celular son capaces de utilizar la luz incidente con mayor eficiencia en comparación con cultivos convencionales diluidos” (Contreras-Flores et al., 2003).

1.1.11 Requerimiento para el cultivo de microalgas

Presencia de CO₂. Deben proporcionar una fuente de carbono, ya sea creando un equilibrio natural con el CO₂ atmosférico o burbujeando aire o aire rico en CO₂ directamente en el reactor para mejorar la transferencia de masa (L. A. Muñoz, 2015).

El CO₂ liberado durante la mineralización bacteriana puede ser consumido por las microalgas como fuente de carbono para crecer a través del proceso de fotosíntesis

Influencia del pH. “El pH del cultivo esta influenciado por varios factores como la productividad algal” (Pérez & Labbé, 2014). Las bacterias fecales mueren rápidamente con valores de pH por encima de 9 (Pearson et al., 1987).

Influencia de la intensidad lumínica.

Influencia de la aireación. Es necesario prevenir la deposición de microalgas, asegurar una exposición igual de todas las células de la colonia a la luz y los nutrientes y, finalmente, asegurar el intercambio de gases entre el medio y el aire (Leiva, 2014).

1.1.12 Microalgas

Son un grupo de microorganismos con capacidad fotosintética (E. Me. Cabrera, 2023), Son unicelulares y capaces de realizar la fotosíntesis, utilizan CO_2 y luz para producir biomasa orgánica y utilizan agua como portador de electrones para oxidarla a O_2 (Sevilla, 2014). En los últimos años, las microalgas han despertado un gran interés científico por su potencial biotecnológico y comercial, ya que son fuente de una amplia gama de compuestos, pigmentos y aceites polisacáridos, que a su vez pueden utilizarse para el tratamiento de aguas residuales. (Leiva, 2014).

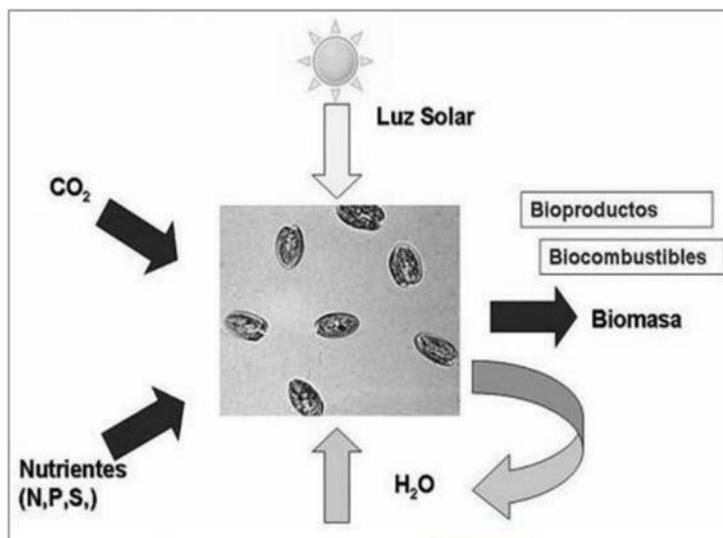


Figura 2. Esquema básico del aprovechamiento de microalgas.

Nota: Requerimiento de los cultivos de microalgas (Leiva, 2014, p. 31) CO_2

1.1.13 Clasificación de las microalgas

En la naturaleza, estas especies son diferentes, y en las investigaciones se dividen según la presencia de pigmentos en ellas, además de su organización, forma y estructura (Saltos, 2023). Generalmente se presentan divididas en procariontas y eucariotas; además según Ponte (2019) Clasificadas según su abundancia en la naturaleza, las diatomeas más comunes son de la clase Diaphyta, que se encuentran en océanos y agua salada, con alrededor de 100.000 especies; algas verdes de la clase Chlorophyta, con 8.000 especies en agua dulce; y algas verdes de la clase de las cianobacterias. Se encuentran en varios hábitats y hay aproximadamente 2000 especies de algas de agua dulce y 1000 especies de la clase Chrysophyceae. Hábitat

Las microalgas se encuentran en ambientes acuosos como en los océanos, aguas de río, en estuarios y en aguas salobres, estos ambientes permiten el crecimiento de diferentes tipos de microalgas. La mayor cantidad de microalgas se encuentra en lugares no muy profundos ya que son microorganismos fotosintéticos y requieren luz y mientras más hondo sea no llega luz y no se encuentra en mayor cantidad. Se encuentra en las orillas, como también en los lagos y lagunas de agua dulce (E. Me. Cabrera, 2023).

1.1.14 Crecimiento de las microalgas

Según Cabrera & Tenemaza (2014) su desarrollo se encuentra dado por varias fases durante su cultivo considerando las siguientes fases:

Fase de latencia o adaptación. Conocida como fase de iniciación, hay un proceso de retraso en el que las células se adaptan a los nutrientes del medio de cultivo.

Fase exponencial. A medida que las células se adaptan a las condiciones del medio, pasan por una fase de crecimiento exponencial.

Fase de crecimiento lineal o de retardo. A medida que aumenta la población, además de los cambios en el pH, la cantidad de nutrientes en el medio también disminuye, provocando una acumulación constante de biomasa, lo que resulta en un crecimiento lineal.

Fase estacionaria. Aquí se crea un equilibrio entre las tasas de natalidad y mortalidad que ocurren en el medio de cultivo, es decir, la población celular permanece constante durante un período de tiempo.

Fase de muerte. La etapa en la que las células mueren después de un cierto período de fase estacionaria.

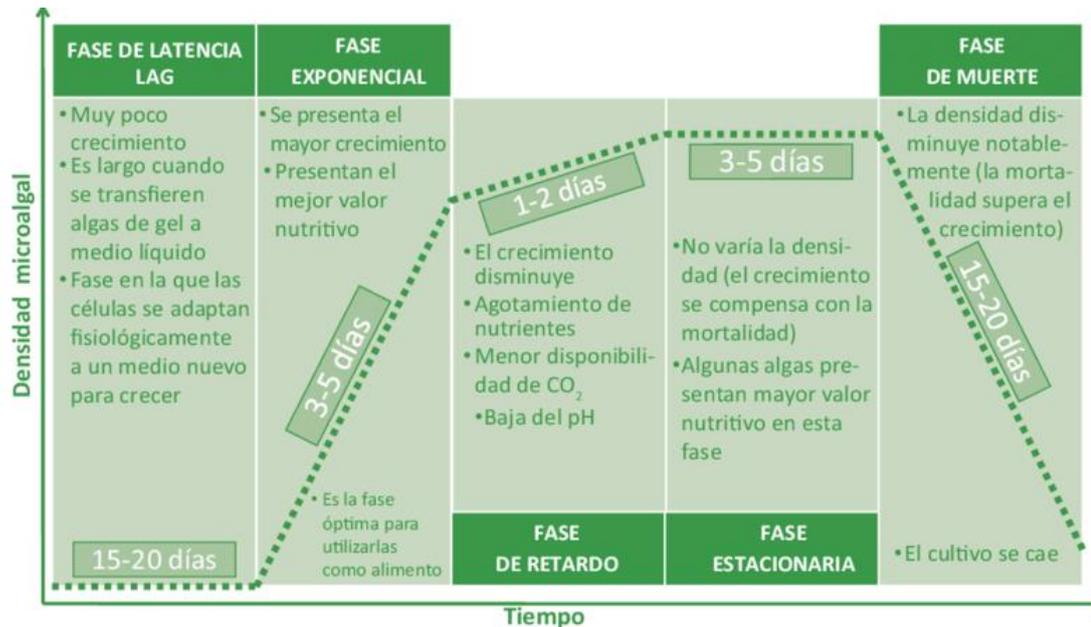


Figura 3. Fases de crecimiento de un cultivo microalga.

Nota: (Acevedo, 2011).

1.2. Antecedentes

Sonune & Ghate (2004) indican que el tratamiento de aguas residuales es un proceso en el que los sólidos en las aguas residuales se eliminan y se cambian parcialmente por descomposición de sólidos orgánicos altamente complejos y putrescibles a sólidos orgánicos minerales o relativamente estables. El tratamiento primario y secundario elimina la mayoría de la DBO y los sólidos suspendidos que se encuentran en las aguas residuales. Un efluente secundario promedio puede tener una DBO de 20 mg/L y una DQO de 60 a 100 mg/L. La planta secundaria promedio elimina aproximadamente el 65% de la DQO afluente. Por lo tanto, cuando se requieren efluentes de alta calidad, se debe lograr una eliminación orgánica adicional.

Pérez & Labbé (2014) concluyen que Las microalgas tienen capacidades de remediación de algas, incluida la eliminación o biotransformación de contaminantes de medios líquidos o gaseosos. Estos compuestos contaminantes son capturados por la biomasa de algas y pueden recuperarse mediante recolección. Estas capacidades han llevado a la creación de sistemas de cultivo con el doble objetivo de eliminar contaminantes y producir biomasa con fines comerciales. Estos objetivos dependen del sistema cultural, factores ambientales.

Rawat et al. (2011) “Esta revisión abarca los últimos avances en la explotación de microalgas para el tratamiento de aguas residuales domésticas y la producción de

biodiesel”. Las microalgas han contribuido al tratamiento terciario en el tratamiento convencional de aguas residuales y, más directamente, a la DBO y la eliminación de nutrientes en sistemas de ingeniería.

Muñiz (2019) su objetivo principal fue evaluar los factores de crecimiento, en cuanto a pH el rango ideal para la mayoría de cultivos es de 7 a 9, la temperatura óptima para el cultivo se encuentra generalmente entre los 20 y 24 °C, no obstante, estos valores pueden variar dependiendo del medio de cultivo y la cepa utilizada.

Díaz et al. (2022) menciona que hay múltiples especies de microalgas capaces de crecer en aguas residuales, logrando eficiencias de eliminación de nutrientes que superan el 70%. Esto permite introducir los principios de la economía circular en el sector del tratamiento de aguas residuales.

Chacón et al. (2002) hicieron uso de so de *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.*, para la remoción de la DQO de las aguas residuales Los experimentos se realizaron con un volumen de 200 mL de agua residual esterilizada y no esterilizada, en relación a un control con agua destilada los bioensayos se mantuvieron a 137 $\mu\text{mol. q/m}^2.\text{s}$, fotoperíodo de 12:12h, $26\pm 2^\circ\text{C}$, sin aireación y durante 27 días Al final del experimento de eliminación de DQO de *Scenedesmus Sp*, la concentración de *chlorella Sp*. en las aguas residuales desinfectadas fue del 55,8%, mientras que la concentración de chlorella en las aguas residuales no esterilizadas alcanzó un valor máximo del 54,8% después de 24 horas. Los resultados muestran que ambas microalgas ofrecen buenas alternativas para el tratamiento de aguas residuales.

Pooja et al. (2022) se enfocaron en el tratamiento de aguas residuales a base de microalgas utilizando Chlorella para eliminar contaminantes tóxicos. El experimento lo realizaron en tanques de sintaxis abierta al aire libre con una capacidad de 50L de capacidad. Consideraron los factores ambientales cruciales como la intensidad de la luz y la temperatura siendo de mucha importancia para el crecimiento de la biomasa. Las concentraciones de la DQO y DBO se redujeron hasta en un 92%. Por lo tanto, se demuestra que utilizar aguas residuales tratadas con microalgas como biofertilizante para cultivar plantas vegetativas tiene un triple propósito de fico-remediación, generación de bioenergía y agricultura orgánica con la ventaja adicional de menos daño a los suelos y la salud humana en comparación con los fertilizantes químicos.

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

Abdel-Raouf et al. (2012) Tratamiento de aguas residuales con microalgas para eliminar materiales que se depositan fácilmente y oxidar la materia orgánica de las aguas residuales. El resultado final son aguas residuales claras y aparentemente limpias que desembocan en cuerpos de agua naturales. El cultivo de microalgas es un paso interesante en el tratamiento de aguas residuales, ya que proporciona un tratamiento biológico terciario y al mismo tiempo produce biomasa potencialmente valiosa que puede usarse para diversos fines, como la reducción de DBO, la eliminación de nitrógeno y fósforo, el grupo de eliminación de *E. coli* y la eliminación de contaminantes de metales pesados.

Arévalo & Malo (2017) evaluaron el uso de la microalga *Chlorella* para la remoción de la materia orgánica, haciendo énfasis en la remoción por la demanda química de oxígeno (DQO) y por los sólidos suspendidos totales (SST) en donde obtuvieron el 81.80% de remoción de la DQO y el 89.91% de remoción de los sólidos suspendidos totales.

Leiva (2014) Debido a la alta carga de contaminantes en las aguas residuales, que causa graves daños a la flora y fauna, se realizó una evaluación de la biorremediación de la comunidad de microalgas *Chlorella - Scenedesmus* para la remoción biológica de materia orgánica de las aguas residuales. El estudio concluyó que las comunidades de microalgas eran capaces de eliminar biológicamente de forma efectiva la DBO y la DQO de las aguas residuales (67% y 66%, respectivamente)

Sisman-Aydin (2022) determino el rendimiento de tres microalgas nativas en aguas residuales. Las especies de microalgas pertenecían a tres clases taxonómicas diferentes, a saber, las algas verdeazuladas *Nostoc muscorum*, las diatomeas *Navicula veneta* y las microalgas verdes *Chlorella vulgaris*, durante la fase de crecimiento exponencial de 7 días. Los resultados mostraron que las eficiencias de tratamiento de COD, TN y TP estuvieron en los rangos de (85,7–95,7 %), (72–96,9 %) y (86,07–99,8 %), respectivamente. La eficiencia de eliminación es de (96,9 % TN, 99,8 % TP, 95,7 % DQO).

Muñoz (2015) El objetivo de su estudio era investigar los sistemas microalgas-bacterias y su eficacia para eliminar materia orgánica y nutrientes de las aguas residuales. La conclusión de este trabajo es que los sistemas de microalgas-bacterias pueden eliminar eficazmente la materia orgánica (hasta el 85% en algunos casos) de varios tipos de aguas residuales y, lo más importante, separan grandes cantidades de materia orgánica mediante la asimilación de amoníaco-nitrógeno.

Salto (2023) uso *Chlorella Sp.* microalgas para mejorar el efecto y lograr la purificación de contaminantes DQO, DBO, coliformes fecales y pH en aguas residuales domésticas. Evalué las condiciones dosificación de microalgas para lograr el porcentaje de remoción de carga contaminante y reducción de DQO. La dosis de microalgas se ajustó durante el ensayo. La dosis óptima para Ballenita fue 70% agua residual y 30% microalga *Chlorella Sp.*, para Santa Elena 90% agua residual y 10% microalga *Chlorella Sp.*, y finalmente para Anconcito 80% agua residual y 20% microalga *Chlorella Sp.*, la concentración final con reducción significativa de DQO en la muestra se obtuvo con porcentajes de remoción de 81.25% en Ballenita, 70.64% en Santa Elena y 81.29% en Anconcito.

Yeh & Chang (2012) investigaron el crecimiento y la productividad de la microalga *Chlorella vulgaris* a diferentes medios y condiciones de cultivo, en este estudio se demostró la viabilidad de utilizar la microalga *Chlorella vulgaris*, se obtuvo una mayor producción de biomasa (2 – 5 g/l) utilizando un medio MBL con limitaciones de nitrógeno.

García et al. (2021) Se evaluó la eliminación de nitrógeno y materia orgánica a través de un humedal diseñado con flujo subterráneo conectado a un reactor de microalgas de lecho fijo. La *Chlorella* se utiliza como microalga. La eficiencia de eliminación de materia orgánica fue del 30-40 %, la eficiencia de conversión de nitrógeno fue del 73,4 %, y los recuentos de coliformes fecales y totales se redujeron en un 87 % y 88 %, respectivamente. El sistema desarrollado tiene un objetivo específico y mejora significativamente la calidad del agua después del tratamiento de aguas residuales domésticas.

Mendoza (2016) Muestra el efecto de las aguas residuales municipales sobre el crecimiento de la microalga *Scenedesmus*. La tasa máxima de crecimiento se determinó con una dilución del 60% el sexto día y del 80% el séptimo día. Específicamente, los

coliformes fecales oscilaron entre 130.000 y menos de 1,8 NMP ml-1 con una tasa de eliminación estimada del 99,99%. Los valores iniciales de DBO (60 mg L-1) y DQO (36 mg L-1) fueron mayores debido a la descomposición de la materia orgánica en las aguas residuales.

Rosales et al. (2018) Se evaluó la capacidad de *Scenedesmus* para eliminar y hacer crecer contaminantes. La DBO y la DQO en el efluente de la curtiduría se redujeron significativamente (>97%), probablemente debido a un efecto sinérgico con las bacterias en el cultivo de microalgas. Finalmente, en ambos casos el porcentaje de lípidos fue superior al 20%, lo que indica que esta biomasa tiene un gran potencial como materia prima para la producción de biodiesel.

Ulloa & Ramírez (2019) El objetivo principal fue evaluar la eficiencia de la eliminación de *E. coli* de aguas residuales domésticas mediante cultivo de *Scenedesmus acuminata*, considerando concentraciones de aguas residuales (25%, 50%, 75% y 100%). Los cultivos se mantuvieron en condiciones de crecimiento regulares con agitación y luz constantes. Los resultados mostraron que la tasa de eliminación de bacterias coliformes fue de hasta el 100% en todos los tratamientos experimentales con *Scenedesmus acuminata* el día 7 de cultivo, mientras que la tasa de eliminación máxima fue del 96,57% en el tratamiento control con 25% de agua residual. Este estudio demuestra el potencial de la microalga *S. acutus* elimina bacterias patógenas del medio acuático

Malo et al. (2018) evaluaron el uso de la microalga *Chlorella vulgaris* para remoción de materia orgánica de aguas residuales. Se concluyó que el cultivo con 10% en volumen de microalgas adaptadas dio los mejores resultados (DQO 81,80% y SST 89,91%), lo cual es superior a la PTAR (DQO 35,3% y SST 57,51%)

Ponte (2019) en su investigación evaluó dos especies de microalgas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes de aguas residuales de la PTAR Taboada del Callao, las microalgas que utilizó fue *Chlorella* y *Desmodesmus*, llegando a la conclusión que el mejor tratamiento se dio con la microalga *Desmodesmus* ya que fue la especie que más removió los nutrientes.

Camacho et al. (2015) en su investigación realizó un tratamiento de aguas residuales basado en la simbiosis de microalgas y bacterias, son una alternativa sostenible activa.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

Hoy en día es una certeza reconocer de los problemas asociados a la contaminación, ya que es una de las principales preocupaciones de la sociedad (Abdel et al., 2012), las aguas residuales constituyen un gran problema sanitario (Escorihuela et al., 2007) ya que causan efectos dañinos a los recursos naturales (Pooja, Priyanka, & Rao, 2022), casi el 71% de la superficie de la tierra está cubierta por agua y actualmente están siendo contaminadas por las actividades antropogénicas en vista que cada vez los desechos se vierten en ríos sin ningún tratamiento previo (Sonune & Ghate, 2004) de esta manera se está incrementando altamente concentraciones de materia orgánica e inorgánica ocasionando contaminación (Abdel et al., 2012).

Las aguas residuales sin tratar plantean serios problemas ambientales para los cuerpos de agua receptores (de-Bashan & Bashan, 2010), los principales contaminantes son los excrementos, los productos nitrogenados excretados por los animales y la descomposición de los alimentos no consumidos. (Pardo et al., 2006) de esta manera se ocasiona el deterioro de la calidad del agua. Por lo tanto, se debe incitar obligatoriamente el tratamiento adecuado de las aguas residuales para reducir los contaminantes a niveles aceptables o cumplir con la calidad microbiológica y química recomendada antes de que se descarguen en los cuerpos de agua (Kadir et al., 2018).

Desde hace unos años se dice que el tratamiento biológico con microalgas en aguas residuales se considera el más compatible con el medio ambiente y el menos costoso en los métodos de tratamiento de aguas residuales (Rawat et al., 2011) entre estas tecnologías, los cultivos de microalgas juegan un papel importante y se consideran

amigables con el medio ambiente porque procesan eficientemente contaminantes en medios líquidos y gaseosos y los incorporan al metabolismo para producir biomasa. (Pérez & Labbé, 2014).

Uno de los usos más documentados de estos cultivos es su uso en el tratamiento de aguas residuales al final del proceso de depuración. (Muñiz, 2019), ya que las microalgas tienen la capacidad de eliminar nutrientes inorgánicos en simbiosis con bacterias heterótrofas, en las que las bacterias degradan la materia orgánica al consumir oxígeno (O₂) generado por microalgas a través del proceso de fotosíntesis (Passos & Ferrer, 2014). También interactúan con las bacterias para ayudar a eliminar la materia orgánica y reducir los sólidos en suspensión, además de consumir directamente compuestos orgánicos. (Sonune & Ghate, 2004) estas microalgas tienen la capacidad de eliminar organismos patógenos debido a los valores extremos de pH y sustancias con efectos antimicrobianos que liberan del organismo. (Mérida, 2020). Por lo tanto, es necesario realizar estudios sobre microorganismos eficientes.

En la ciudad de Juliaca, la planta de tratamiento de aguas residuales presenta dificultades en la calidad del agua del efluente por los desechos que se encuentran. A causa de esta problemática que se presenta, se pretendió realizar una evaluación de la capacidad depuradora con microalgas *Scenedesmus Sp.* y *Chlorella Sp.* para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala laboratorio, para tener en conocimiento de la eficiencia de este tratamiento.

2.2 Enunciados del problema

2.2.1 Pregunta general

¿Cuál será la capacidad depuradora de las microalgas *Scenedesmus Sp.* y *Chlorella Sp.* para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala de laboratorio del distrito de Juliaca?

2.2.2 Preguntas específicas

¿Cómo se encontrará la calidad del agua residual doméstica del efluente antes del tratamiento?

¿Qué condiciones serán las óptimas para el crecimiento de las microalgas *Scenedesmus Sp.* y *Chlorella Sp.*?

¿Cómo se encontrará el agua residual después del tratamiento con microalgas *Scenedesmus Sp.* y *Chlorella Sp.*?

2.3 Justificación

2.3.1 Justificación de impacto social

Las sustancias orgánicas e inorgánicas que son liberadas al medio ambiente por los efluentes domésticas conduce a la contaminación (Abdel et al., 2012), teniendo en cuenta esto, el efluente de la planta de tratamiento de la ciudad de Juliaca está siendo afectada enormemente por la contaminación que se presenta por los desechos, excretas, los productos nitrogenados liberados por los animales y la descomposición del alimento no consumido. El tratamiento que se aplica mediante las microalgas contribuirá una mejora en la calidad del agua residual del efluente.

2.3.2 Justificación de impacto ambiental

El tratamiento de aguas residuales es uno de los procesos de conservación ambiental más importantes para mejorar la calidad de las aguas residuales vertidas (Kadir et al., 2018), el desarrollo de tecnologías orientadas al cuidado del medio ambiente, entre estas el cultivo de microalgas adquieren un gran protagonismo al ser consideradas eco-amigables con el medio ambiente, ya que reducen eficientemente los contaminantes desde medios líquidos.

2.3.3 Justificación de impacto económico

Los tratamientos biológicos han ido ganando importancia, ya que pueden ser más económicos, fáciles de instalar y operar (Ajayan & Selvaraju, 2013) por otro lado, las microalgas son un recurso muy valioso por problemas económicos y al mismo tiempo constituyen un grupo muy amplio de microorganismos fotosintéticos por su estructura simple que les permite lograr un crecimiento rápido y así producir más biomasa. Son muy eficaces para el tratamiento de aguas residuales.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general

Evaluar la capacidad depuradora con microalgas *Scenedesmus Sp.* y *Chlorella Sp.* para el tratamiento de aguas residuales domesticas a escala de laboratorio del distrito de Juliaca.

2.4.2 Objetivos específicos

- Realizar una caracterización inicial del agua residual doméstica del efluente
- Adecuar las condiciones óptimas para el crecimiento de las microalgas *Scenedesmus Sp.* y *Chlorella Sp.*
- Analizar la calidad del agua residual domestica después del tratamiento con microalgas *Scenedesmus Sp.* y *Chlorella Sp.*

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

Las microalgas *Scenedesmus Sp.* y *Chlorella Sp.* son eficientes para la depuración de contaminantes de aguas residuales domésticas.

2.5.2 Hipótesis específicas

- Las aguas residuales domesticas del efluente se encuentra en concentraciones elevadas.
- Las condiciones adecuadas para el crecimiento de las microalgas *Scenedesmus Sp.* y *Chlorella Sp.* serán las óptimas para su crecimiento.
- El agua residual domestica del efluente después del tratamiento, presentara remociones consideradas.

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio

La presente investigación se realizó en la desembocadura del efluente de la PTAR al río Torococha que se encuentra ubicada en el distrito de Juliaca, provincia de San Román, departamento de Puno. Las coordenadas en UTM del punto de muestreo fueron E: 380234 N: 8287073. Los laboratorios que respaldaron a este proyecto de investigación fueron el Laboratorio Continental de Puno del Instituto del Mar del Perú, Laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y el Laboratorio de Análisis Químico Ambiental LAQUAMEQ E.I.R.L. ubicado en la ciudad de Juliaca.



Figura 4. Ubicación del punto de muestreo en el río Torococha - Juliaca

Nota: Google EARTH (2022).

3.2 Población

Está conformada por el cuerpo de agua del río Torococha en vista que se va viendo deteriorada por las actividades del desarrollo cotidiano por el vertimiento del efluente de la PTAR.

3.3 Muestra

La muestra para el estudio de investigación estuvo constituida por las aguas residuales domesticas provenientes de la desembocadura de la PTAR al rio Torococha como se observa en la siguiente figura.



Figura 5. Desembocadura de la PTAR al rio Torococha.

Nota: Aguas residuales domesticas.

La toma de muestra de las aguas residuales domesticas se realizó de acuerdo a las recomendaciones del protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales (OMA, 2013). La muestra inicial se colecto en los frascos correspondientes según a los parámetros considerados. La muestra para el tratamiento fue colectada en 2 envases de 7 litros del punto de muestreo, seguidamente se almacenó en congeladora entre 4 a 6 °C.

3.4 Métodos

El tipo de la investigación es aplicada, de enfoque cuantitativo que corresponde a un diseño experimental de nivel explicativo por que se enfoca en el análisis sobre la influencia de la variable independiente sobre la variable dependiente.(Sampieri et al., 2016). Además, tiene como finalidad recolectar numéricamente los datos necesarios para dar respuestas a las preguntas investigativas.

3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

3.5.1 Descripción de variables analizadas

En el siguiente proyecto de investigación se consideró las siguientes variables:

Objetivo específico 1:

Variable independiente (Vi): Contaminación

Variable dependiente (Vd): Aguas residuales domesticas

Objetivo específico 2:

Variable independiente (Vi): Condiciones óptimas para crecimiento

Variable dependiente (Vd): Concentración de microalgas

Objetivo específico 3:

Variable independiente (Vi): Aplicación de microalgas *Scenedesmus Sp* y *Chlorella Sp*

Variable dependiente (Vd): Aguas residuales domesticas

Tabla 3

Descripción de variables.

Objetivo específico	Variables	Dimensión	Indicadores
Realizar una caracterización inicial del agua residual doméstica del efluente.	(Vi) Contaminación	Desembocadura del efluente de la PTAR	Contaminación por desechos, excretas, alimentos no consumidos.
	(Vd) Aguas residuales domesticas	Caracterización inicial del agua residual domestica	Temperatura (°C), pH, solidos totales en suspensión (mg/L), DQO (mg/L), DBO (mg/L), Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)
Adecuar las condiciones óptimas para el crecimiento de las microalgas <i>Scenedesmus Sp.</i> y <i>Chlorella Sp</i>	(Vi) Condiciones <i>óptimas para crecimiento</i>	Adecuación de las condiciones optimas	Temperatura (°C) pH Intensidad lumínica Aireación Agitación
	(Vd) <i>Concentración de microalgas</i>	Crecimiento microalgal	Concentración celular (cél/mL)
Analizar la calidad del agua residual domestica después del tratamiento con	(Vi) <i>Aplicación de microalgas Scenedesmus</i>	Dosis de microalgas en aguas residuales	(ml/L)

microalgas <i>Scenedesmus Sp.</i> y <i>Chlorella Sp.</i>	<i>Sp</i> y <i>Chlorella</i> <i>Sp</i>	(Vd) <i>Aguas</i> <i>residuales</i> <i>domesticas</i>	Remoción de los parámetros físicos químicos y microbiológicos	Temperatura (°C), pH, solidos totales en suspensión (mg/L), DQO (mg/L), DBO (mg/L), Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)
--	---	---	---	--

3.5.2 Materiales, equipos e insumos

- a) **Materiales.** Vasos de precipitados de 100 mL y 250 mL clase A; placas Petri 60x15mm, matraces volumétricos de 1000,500,250 y 100 mL clase A; matraces Erlenmeyer de 1000,500,250 y 100 mL clase A; probetas de 1000, 500 y 100 ml; micropipetas de 5000, 1000, 200 µl; pipeta de 10mL; cámara de Neubauer, puntas para micropipeta; tubos de ensayo; barra magnética; tubos de digestión de 10mL; gradillas de 48 tubos, botellas winkler de 300mL, frascos de borosilicato; bombilla de succión, frasco lavador, espátula, papel filtro Whatman N° 47; mangueras; difusor de aire; Azas Ecoli; mechero; aireador; foco fluorescente; planchas de tecnopor.
- b) **Equipos.** Multiparámetro (HACH HQ2200); Bomba de vacío (Rocker - 300); Estufa (Raypa DOD90); balanza analítica (ADAM 224E); digestor DQO (Rocker – CR25); bureta digital (Witeg); incubadora (DNP 9052A); Baño maría (MEMMERT WTB50); autoclave (Biobase BKQ-B50II).
- c) **Reactivos.** Solución tampón pH7, tampón fosfato, sulfato de magnesio (Merck, p.a.), cloruro de calcio $CaCl_2$ (Merck, p.a.), cloruro férrico $FeCl_3$ (Merck, p.a.), sulfato de plata Ag_2SO_4 (Merck p.a.), dicromato de potasio $K_2Cr_2O_7$ (Merck, p.a.), ácido sulfúrico H_2SO_4 (Merck, p.a.), 1,10-fenantrolina monohidratado (Merck, p.a.), sulfato de hierro $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (Merck, p.a.), sulfato ferroso amoniacal $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ (J.T. Baker), óxido de manganeso MnO_2 (Merck, p.a.), Almidón soluble (Merck, p.a.), tiosulfato sódico penta hidratado (Merck, p.a.) medio de cultivo lauril sulfato triptosa (Himedia), medio de cultivo EC (Himedia), Medio de cultivo verde brillante bilis (Himedia), agua destilada

3.5.3 Parte experimental

Objetivo 1: Realizar una caracterización inicial del agua residual doméstica del efluente

Para el cumplimiento del presente objetivo se realizó los análisis de acuerdo a los métodos estandarizados de análisis de aguas residuales y potables (APHA, 2005).

Tabla 4

Parámetros y métodos de evaluación.

N°	Parámetro	Unidad	Método
1	Temperatura	°C	SM - 2550 B método de laboratorio de campo
2	pH	-	SM 4500 – H
3	Sólidos suspendidos totales	mg/L	Método gravimétrico
4	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	SM 5220 C Reflujo cerrado, método titulométrico
5	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	SM 5210 B Prueba de DBO de 5 días
6	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SM 9221 B Técnicas estandarizadas de fermentación

Fuente: (APHA, 2005)

De tal manera se consideró los siguientes pasos:

- Identificación del punto de muestreo
- Toma de muestra del punto definido
- Caracterización inicial de parámetros físicos, químicos y microbiológicos.



Figura 6. Toma de muestras y análisis en laboratorio.

Objetivo 2: Adecuar las condiciones óptimas para el crecimiento de las microalgas *Scenedesmus Sp.* y *Chlorella Sp*

Para la adecuación de las microalgas se siguieron los siguientes pasos:

- Inicialmente se obtuvo las cepas de microalga del Laboratorio Continental de Puno del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) del área de acuicultura y cultivos auxiliares.
- Las cepas de microalgas se trasladaron en culer para mantener la temperatura.
- Una vez ingresado a las instalaciones del laboratorio se acondiciono inyectando aire para oxigenar a las microalgas.
- Los experimentos se instalaron en el Laboratorio de Análisis Químico Ambiental 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(L. A. Muñoz, 2015), y a una temperatura de 16 a 24 °C (Orduz, 2016), para ello se llevó el control diario de estos parámetros con el multiparámetro HACH HQ 2200
- Una vez adecuado el espacio se procedió a realizar las dosificaciones considerando 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% de microalgas (*Scenedesmus Sp.* y *Chlorella Sp*)

la cantidad de agua residual y cepas de microalga fueron un total de un litro en cada dosificación.

- El procedimiento se realizó en un tiempo de 15 días, durante ese tiempo de tratamiento se añadió 1ml/L del nutriente foliar BAYFOLAN inicialmente como alimento de las microalgas.
- Durante los días del tratamiento se evaluó la temperatura, pH y conteos diarios de microalgas.
- El recuento se realizó utilizando una cámara de Neubauer con una contraplaca que contenía 9 cuadrados grandes, cada uno de 1 mm² de tamaño. El gran cuadrado angular se divide en 16 cuadrados con un borde de 0,25 mm. El cuadrado grande en el centro se divide en 25 cuadrados medianos con una longitud de borde de 0,2 mm, y cada cuadrado del medio se divide en 16 cuadrados pequeños con una longitud de borde de 0,05 mm y un área de superficie de 0,0025 mm. El conteo se realiza en el cuadrado grande del medio, que se usa para células más pequeñas, como las microalgas, y los otros cuadrados se usan para células más grandes. La siguiente ecuación se utiliza para determinar la concentración de células que pasan por la cámara de Neubauer:

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

Donde:

C = cél/ml Concentración celular

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

- Seguidamente se realizaron los análisis en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.



Figura 7. Adecuación de microalgas para tratamiento de aguas residuales domésticas.

Objetivo 3: Analizar la calidad del agua residual domestica después del tratamiento con microalgas *Scenedesmus Sp.* y *Chlorella Sp.*

Para el cumplimiento del objetivo se realizaron los siguientes pasos:

- Una vez culminado el tiempo del tratamiento se realizó la decantación de las muestras de las microalgas *Scenedesmus sp.* y *Chlorella sp.* para realizar los análisis respectivos a una velocidad de 80RPM por un tiempo de 10 minutos de esta manera la concentración de la microalga queda en la parte baja de los tubos de decantación.
- Una vez obtenida la muestra se realizó los análisis de los parámetros considerados (solidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes termotolerantes, pH y temperatura) tomando en cuenta los métodos estandarizados
- Seguidamente se determinó el porcentaje de remoción, de esta manera analizar el agua residual doméstica después del tratamiento.

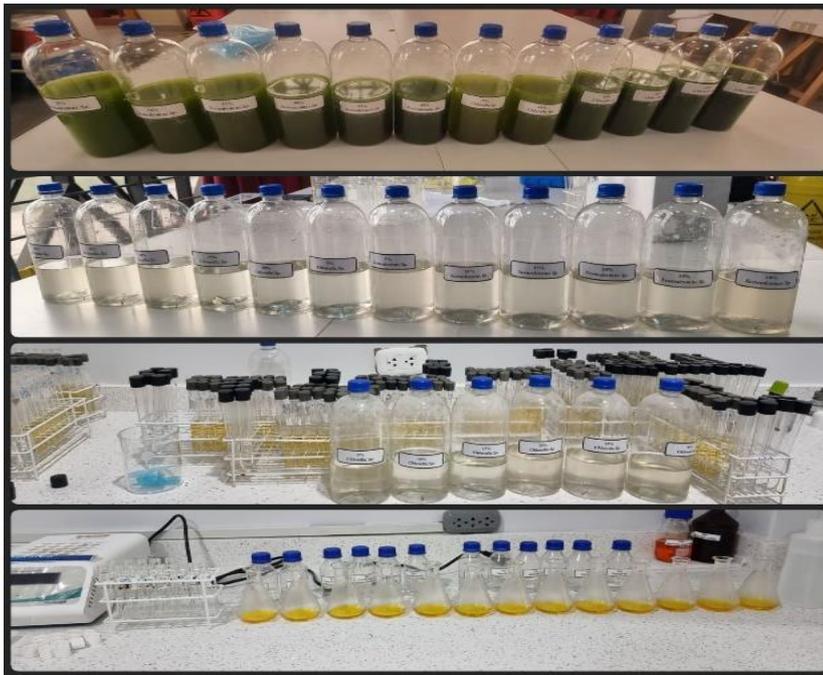


Figura 8. Análisis de las muestras después del tratamiento con microalgas.

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Caracterización inicial del agua residual doméstica del efluente

El resultado obtenido de la caracterización inicial presento valores como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5

Resultados de la caracterización inicial de aguas residuales domésticas.

N°	Parámetros	Unidad	Resultados	LMP D.S. 003-2010 MINAM
1	Temperatura	°C	13.8	<35
2	Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	7.18	6.5 – 8.5
3	Sólidos totales en suspensión	mg/L	170	150
4	Demanda química de oxígeno	mg/L	1020	200
5	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	450	100
6	Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	$1.1 * 10^7$	10000

La muestra del agua residual domestica obtenida fue analizada de acuerdo a los procedimientos de los “Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales”(APHA, 2005) obteniendo resultados como se observa en la tabla 5, teniendo en cuenta que los sólidos totales en suspensión, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y los coliformes termotolerantes se encuentran con concentraciones elevadas frente a los límites máximos permisibles del D.S. 003-2010-MINAM, cabe mencionar que los valores elevados es debido

principalmente por las descargas de aguas residuales ya que estas contienen residuos sólidos y residuos orgánicos haciendo que presenten concentraciones altas de materia orgánica y sólidos en suspensión y estas son vertidas al río Torococha.

La calidad del agua puede ser alterada por las actividades antropogénicas que producen efectos adversos que cambian su valor físico, químico y biológico. Estas alteraciones provocan un efecto inaceptable de su utilidad considerada como contaminación. (U. G. Acuña & Palacios, 2021).

Según los resultados obtenidos de (Cabana Alanoca et al., 2022) reportaron valores de la demanda química de oxígeno de 1028.7 mg/L y la demanda bioquímica de oxígeno 560 mg/L. (L. A. Muñoz, 2015) reportó valores de sólidos de 150mg/L de aguas residuales municipales. Por otro lado (Mendoza, 2016) en cuanto a coliformes termotolerantes obtuvo un valor de $13 * 10^4 NMP/100mL$ de efluentes municipales. A raíz de estos resultados obtenidos se lleva a cabo el tratamiento de las aguas residuales domésticas con 2 especies de microalgas *Scenedesmus Sp.* y *Chlorella Sp.*

4.1.2 Condiciones óptimas para el crecimiento de las microalgas *Scenedesmus Sp.* y *Chlorella Sp.*

Para un adecuado acondicionamiento de la microalga, se consideró básicamente la temperatura y el pH para el incremento de la biomasa microalgal. Obteniendo los siguientes resultados durante la masificación, como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 6

Resultados de pH durante la masificación de la microalga Scenedesmus Sp. y Chlorella Sp.

Fecha	<i>Scenedesmus Sp y Chlorella Sp</i>					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
07/03/22	7.43	7.62	7.5	7.45	7.76	7.65
	7.52	7.66	7.53	7.55	7.81	7.72
08/03/22	7.75	7.84	7.83	7.86	7.97	7.95
	7.69	7.87	7.86	7.91	7.98	8.02
09/03/22	8.32	8.16	8.34	8.38	8.22	8.30
	8.28	8.10	8.26	8.36	8.41	8.39
10/03/22	8.35	8.28	8.35	8.48	8.65	8.66
	8.40	8.32	8.44	8.53	8.71	8.73
11/03/22	8.67	8.54	8.61	8.72	8.75	8.79
	8.71	8.73	8.75	8.83	8.85	8.83
12/03/22	8.89	8.88	8.91	8.93	8.94	8.94
	8.90	8.91	8.93	8.93	8.94	8.95
13/03/22	9.02	9.04	9.02	9.05	9.04	9.05
	9.09	9.09	9.01	9.01	9.05	9.03
14/03/22	9.05	9.07	9.01	9.03	9.02	9.04
	9.03	9.06	9.02	9.01	9.02	9.01
15/03/22	9.02	9.04	9.00	9.03	9.04	9.03
	9.06	9.03	9.03	9.03	9.01	9.04
16/03/22	9.02	9.00	9.05	9.05	9.02	9.05
	9.03	9.02	9.04	9.04	9.01	9.03
17/03/22	9.10	9.12	9.12	9.09	9.08	9.09
	9.11	9.11	9.14	9.09	9.08	9.16
18/03/22	9.30	9.30	9.51	9.41	9.23	9.34
	9.33	9.43	9.53	9.42	9.25	9.44

El potencial de hidrogeno es un factor muy importante en el cultivo de microalgas (J. Abalde et al., 1995). El pH en la mayoría de los cultivos de microalgas se encuentran entre 7 a 9 (Arévalo & Malo, 2017). Como se observa en la tabla 6 se obtuvo valores de pH entre 7 a 9, considerando estos valores, las condiciones fueron adecuadas para este parámetro que es clave en la producción de microalgas, y al encontrarse en el rango optimo, favorece en la absorción de contaminantes(Ophantie, 2020).

Tabla 7

Resultados de temperatura durante la masificación de la microalga Scenedesmus Sp. y Chlorella Sp.

Fecha	<i>Scenedesmus Sp. y Chlorella Sp.</i>					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
07/03/22	17	18.2	18.1	18.6	18.7	18.9
	18.8	19.7	19.1	21.2	19.4	18.3
08/03/22	18.5	18.2	18.4	18.4	18.7	17.6
	20.2	19.8	20.7	20.9	19.5	18.9
09/03/22	17.4	18.3	18.4	18.3	18.6	18.2
	21.1	19.3	21.3	21.3	19.6	19.4
10/03/22	18.3	18.1	18.1	18.3	19.7	18.7
	21.6	19.8	21.8	21.3	20.9	19.7
11/03/22	18.4	19.6	19.7	19.7	20	14.5
	22	19.4	21.4	22.1	21.8	18.8
12/03/22	18.6	19.7	19.7	18.7	19.3	19.2
	21.9	20.9	22	22.3	21.9	21
13/03/22	17.7	19.3	19.3	18.8	19.3	19
	21.6	20.8	21.8	20.5	22.1	19.1
14/03/22	18.2	19.2	19.3	19.7	19.8	19.9
	21.5	20.5	21.7	21.2	21	20
15/03/22	18.2	19.6	19.2	19.2	19.4	18.9
	21.4	21	22.2	21.7	22.3	21.1
16/03/22	18.7	19.4	19.8	19.6	19.2	19.4
	20.7	21.8	22.3	21	20.6	21.9
17/03/22	20.3	20.3	19.9	19.2	19.7	19.2
	22	21	22.6	22.5	22.4	20
18/03/22	18.5	18.9	18.5	19.1	19.1	19.7
	21.1	19.5	21	21.5	22	20.6

Durante el proceso de masificación de las microalgas y el tratamiento de aguas residuales con ambas especies de microalgas se obtuvieron temperaturas entre 17 a

22 °C en un periodo de 12 días. La temperatura es un parámetro fundamental para el crecimiento de las microalgas. En las microalgas existe una relación entre la temperatura y la actividad biológica, a medida que aumenta la temperatura, se acelera la tasa de crecimiento y, en el rango óptimo, aumenta la producción de microalgas. (J. Abalde et al., 1995). En casi todas sus especies crecen en temperaturas que fluctúan entre 16 y 24 °C (Orduz, 2016) y por encima de estas temperaturas el crecimiento disminuye, a veces bruscamente, hasta llegar a cero si continua el aumento de la temperatura.(J. Abalde et al., 1995)

Tabla 8

Concentración celular de microalgas Scenedesmus Sp y Chlorella Sp. (cél/mL).

Fecha	<i>Scenedesmus Sp. y Chlorella Sp.</i>					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
07/03/22	2.55E+06	3.60E+06	9.35E+06	1.44E+07	1.97E+07	1.61E+07
	6.40E+06	2.01E+07	2.96E+07	4.21E+07	3.47E+07	3.87E+07
08/03/22	9.95E+06	2.09E+07	1.42E+07	1.70E+07	1.08E+07	1.97E+07
	2.03E+07	2.96E+07	3.24E+07	5.95E+07	3.74E+07	6.14E+07
09/03/22	1.49E+07	1.98E+07	9.65E+06	1.53E+07	2.13E+07	3.00E+07
	1.10E+07	3.84E+07	1.45E+07	7.10E+07	4.88E+07	4.39E+07
10/03/22	5.25E+06	1.65E+07	1.43E+07	3.57E+07	6.39E+07	4.86E+07
	3.47E+07	4.95E+07	8.25E+07	8.28E+07	1.25E+08	8.96E+07
11/03/22	2.18E+07	6.20E+07	1.75E+07	3.78E+07	5.34E+07	6.50E+07
	1.77E+07	4.28E+07	7.83E+07	1.17E+08	1.64E+08	1.68E+08
12/03/22	2.92E+07	6.73E+07	4.95E+07	8.30E+07	1.06E+08	7.13E+07
	4.56E+07	9.74E+07	1.51E+08	1.98E+08	1.69E+08	1.94E+08
13/03/22	3.69E+07	8.54E+07	5.52E+07	5.98E+07	7.31E+07	8.47E+07
	5.23E+07	8.64E+07	3.45E+08	1.45E+08	1.26E+08	1.67E+08
14/03/22	1.80E+07	6.04E+07	5.31E+07	6.90E+07	7.03E+07	7.63E+07
	6.36E+07	7.26E+07	1.07E+08	1.42E+08	1.18E+08	1.38E+08
15/03/22	4.79E+07	7.73E+07	7.19E+07	8.68E+07	9.51E+07	8.63E+07
	5.17E+07	6.02E+07	9.34E+07	1.63E+08	1.00E+08	1.69E+08
16/03/22	6.52E+07	8.04E+07	7.50E+07	1.18E+08	1.13E+08	1.17E+08
	6.84E+07	1.12E+08	1.20E+08	1.35E+08	1.42E+08	1.64E+08

17/03/22	6.51E+07	1.18E+08	1.13E+08	1.36E+08	1.33E+08	1.51E+08
	1.36E+08	1.30E+08	1.49E+08	2.37E+08	2.05E+08	2.02E+08
18/03/22	6.86E+07	1.20E+08	1.27E+08	1.19E+08	1.72E+08	1.28E+08
	1.07E+08	1.27E+08	2.23E+08	2.36E+08	1.63E+08	1.95E+08

Los conteos de las microalgas se realizaron diariamente durante el procedimiento de incremento de masificación celular de las cepas de *Scenedesmus Sp.* y *Chlorella Sp* y durante el tratamiento con microalgas y agua residual doméstica. Se llevó el control del conteo con el microscopio trinocular con aumento de 40X y la cámara de Neubauer.

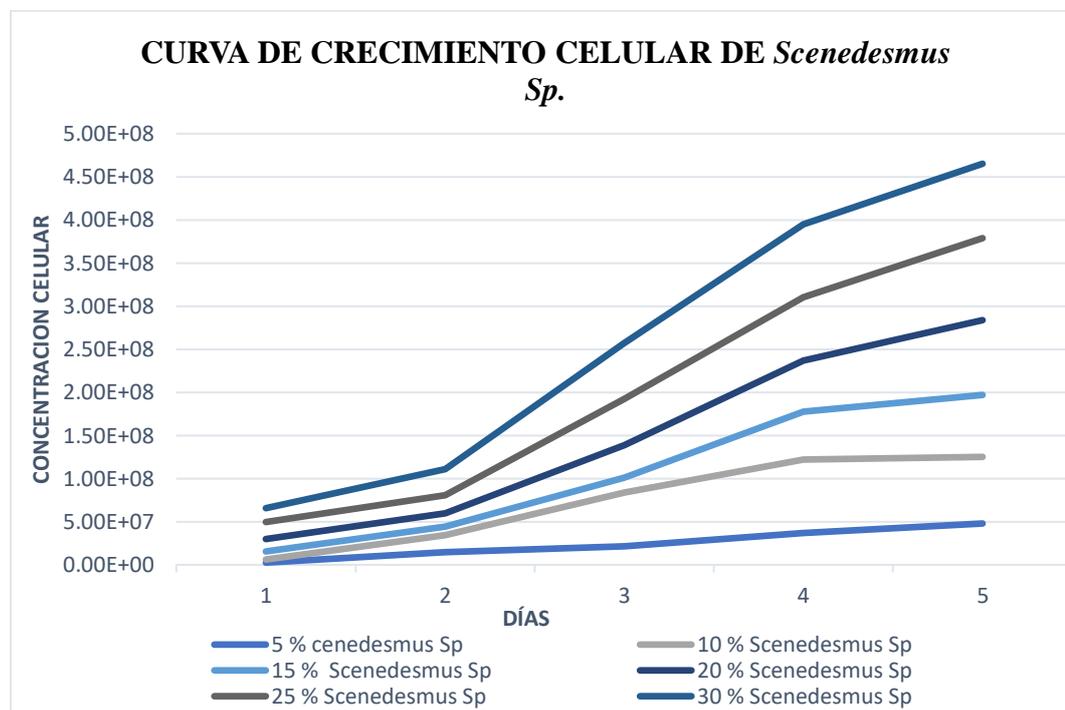


Figura 9. Curva de crecimiento durante la masificación de Scenedesmus sp.

En la fig. 9 se muestra la curva de crecimiento celular que presento durante los días que se realizó la masificación de las cepas de microalgas, cabe mencionar que según Muñoz (2015) cuando se cultiva las microalgas, se observa un incremento en el pH. Considerando que las microalgas a temperaturas de 17 a 22 °C y pH de 7 a 9 presenta mayor crecimiento, como se puede observar en el gráfico.

4.1.3 Tratamiento del agua residual doméstica con microalgas

- Tratamiento con microalgas *Scenedesmus Sp.*

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del análisis realizado de las muestras después del tratamiento con la especie de microalga *Scenedesmus sp.* de las diferentes dosis.

El tratamiento tuvo una duración de 12 días, los 7 primeros días se acondiciono las microalgas con el agua residual doméstica y a partir del día 8 se realizó los tratamientos durante 5 días para observar el tiempo en el que deja de ser eficiente la microalga.

Tabla 9

Resultados de la temperatura durante el tratamiento con la microalga Scenedesmus Sp.

Días	Temperatura (°C)					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1	18.7	19.4	19.8	19.6	19.2	19.4
2	20.3	20.3	19.9	19.2	19.7	19.2
3	18.5	18.9	18.5	19.1	19.1	19.7
4	16.5	16.9	17.2	17.1	16.9	17.1
5	16	17.8	18.1	18.6	18.7	18.9

En la tabla 9 se observa los resultados de la temperatura que se obtuvo durante el tratamiento, teniendo como valor mínimo de 16 °C y el valor máximo fue de 20.3°C.

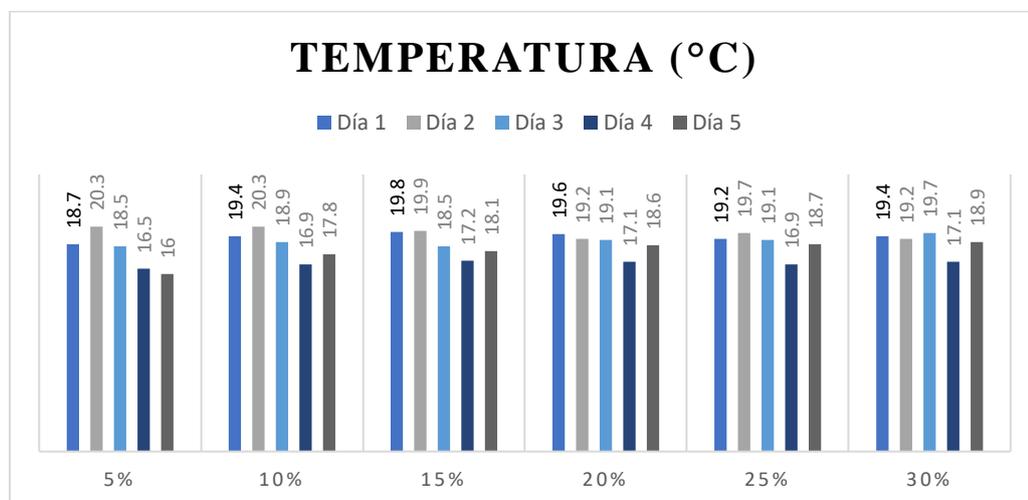


Figura 10. Datos de temperatura durante el tratamiento con *Scenedesmus Sp.*

La temperatura para este tipo de tratamiento es un parámetro muy importante, ya que a temperaturas altas el crecimiento de las microalgas es mayor y por ende los tratamientos son más eficientes. Según Arévalo & Malo (2017) Se dice que la producción de algas aumenta en proporción a la temperatura hasta alcanzar la temperatura óptima para cada especie. Las temperaturas superiores a esta aumentan la respiración y la fotorrespiración, lo que reduce la productividad general. Mientras Acuña et al. (2021) menciona que la temperatura es una de las variables más significativas para el tratamiento.

Tabla 10

Resultados del pH durante el tratamiento con la microalga Scenedesmus Sp.

Potencial de Hidrogeno (pH)						
Días	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1	8.69	8.37	8.78	9.79	9.59	9.97
2	9.19	8.55	9.68	9.49	9.94	9.81
3	8.98	9.68	9.76	9.98	9.65	9.87
4	8.94	9.97	9.84	9.83	9.86	9.82
5	8.93	9.1	9.53	9.67	9.77	9.66

En la tabla 10 se presenta los resultados de pH obtenidos durante el tratamiento en donde se puede observar el incremento de pH por cada día de tratamiento en un rango de 8.37 a 9.98.

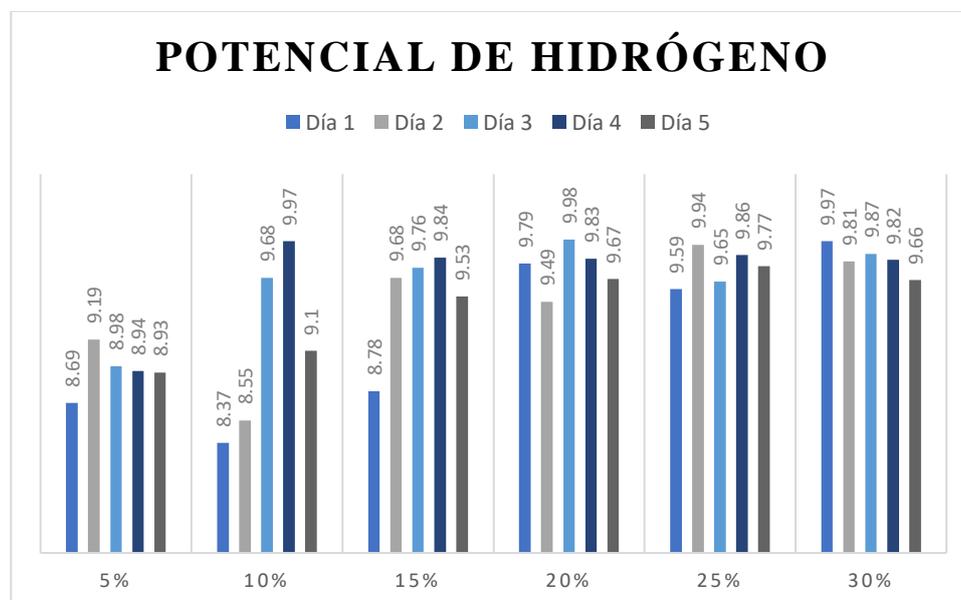


Figura 11. Datos del pH durante el tratamiento con la microalga Scenedesmus Sp.

En la figura 11 se ve Durante el tratamiento realizado desde el 5% de dosis se tuvo valores alcalinos de pH, manteniéndose en todas las dosis aplicadas pH altos, siendo óptimos para el tratamiento.

Tabla 11

Resultados de solidos suspendidos totales durante el tratamiento con la microalga Scenedesmus Sp.

Días	Solidos suspendidos totales (mg/L)					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1	114.00	86.00	84.00	82.00	78.00	72.00
2	98	87	72	64	70	83
3	70.48	61.96	58.47	47.48	49.32	52.00
4	58.42	47.21	28.31	23.15	35.21	61.37
5	67.14	62.28	45.23	38.21	59.32	69.32

En la tabla 11 se aprecia los resultados de los sólidos suspendidos totales, en donde se observa que el cuarto día de análisis que corresponde al 11avo día de tratamiento presento los valores más bajos siendo la dosis adecuada del 20% que presento una concentración de 23.15mg/L.

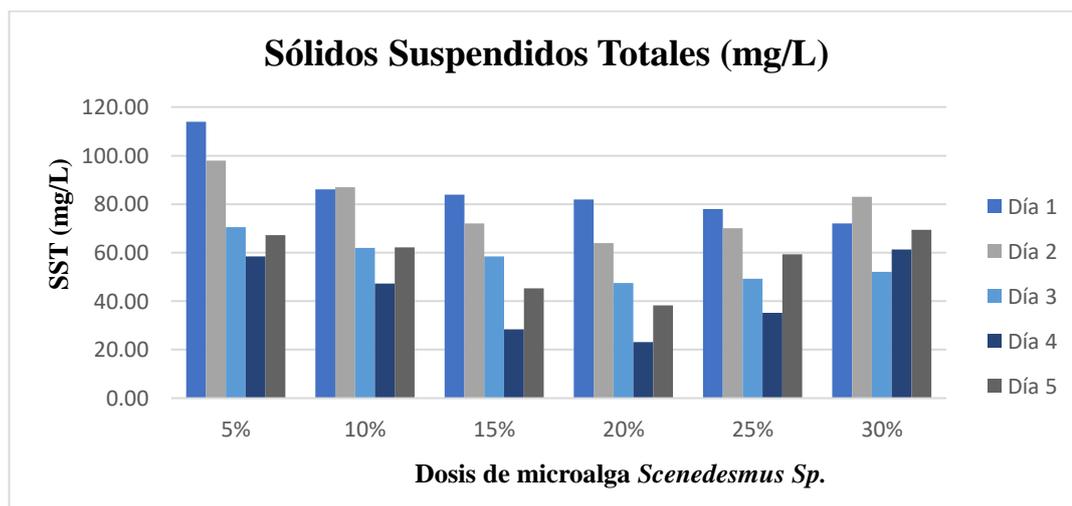


Figura 12. Valores de los sólidos suspendidos totales durante el tratamiento con la microalga *Scenedesmus Sp.*

Como se observa en la figura 12 la comparación de los 5 días de análisis para cada dosis de microalga siendo la dosis adecuada del 20%. Según Camacho et al. (2015) los materiales que contribuyen al total de sólidos suspendidos incluyen todas las partículas en el agua, como arcilla, materia orgánica e inorgánica, sedimentos, plancton, bacterias y otros microorganismos.

El uso de microalgas para eliminar la materia suspendida total de las aguas residuales se basa en la conversión de materia orgánica en biomasa algal y posterior separación utilizando la materia orgánica convertida en biomasa, en este caso el proceso de eliminación de materia orgánica del sistema de separación de algas.

Tabla 12

Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno durante el tratamiento con la microalga Scenedesmus Sp.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)						
Días	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1	405	393.2	284.1	258.5	265.3	345.2
2	351.7	286.81	142.02	127.8	250.99	258.19
3	297.8	278.5	245.1	129.3	142.5	167.8
4	162.4	121.8	85.4	95.3	111.2	118.8
5	249.2	222.8	179	156.3	193.5	200

Como se puede observar en la tabla 12 se aprecia los valores obtenidos durante el tratamiento de las aguas residuales con la microalga *Scenedesmus Sp.*, en donde se dio el mayor porcentaje de remoción al 15% en el 4to día de análisis que corresponde al 11avo día de tratamiento el resultado mínimo fue de 85.4 mg/L a comparación del valor inicial antes del tratamiento que fue de 450 mg/L.

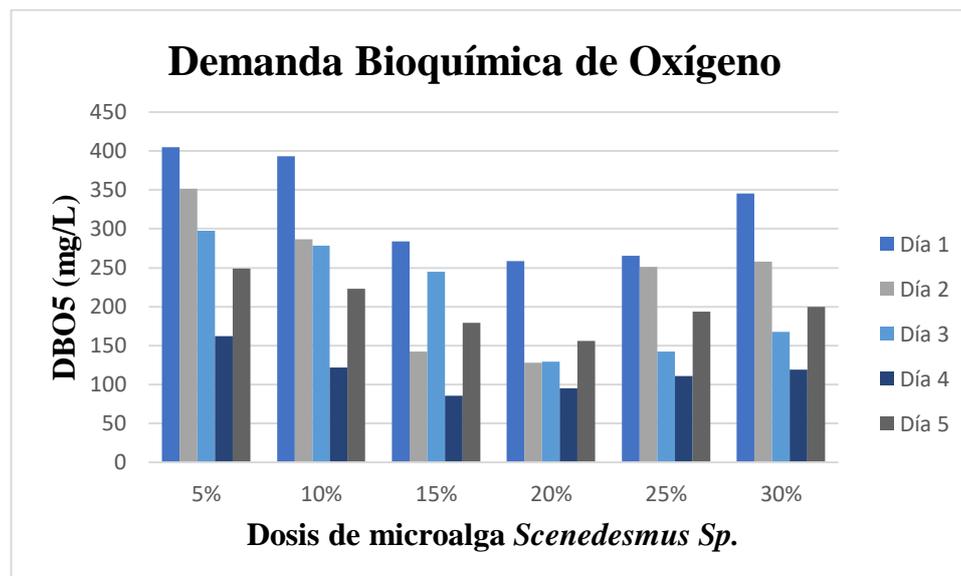


Figura 13. Valores de la demanda bioquímica de oxígeno durante el tratamiento con la microalga *Scenedesmus Sp.*

En la figura 13 se presenta los valores de la demanda bioquímica de oxígeno durante el periodo de tratamiento en donde se puede ver que con una dosis del 15% se presentó la mínima concentración de la DBO, cabe mencionar “que la utilización de microalgas ha demostrado ser eficiente en la reducción”. Según Camacho et al. (2015) El consumo bioquímico de oxígeno es una medida de las necesidades respiratorias de las bacterias para convertir la materia orgánica en aguas residuales.

Tabla 13

Resultados de la demanda química de oxígeno durante el tratamiento con la microalga Scenedesmus Sp.

Demanda química de oxígeno (mg/L)						
Días	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1	960	800	640	548.30	556.17	750.00
2	800	640	380	320	402	483
3	638.28	570.48	447.48	288.47	261.96	317.25
4	233.51	215	193.7	181	206	215
5	478.18	449.2	328.35	286.7	397.17	406.3

En la tabla 13 se aprecia los resultados de la demanda química de oxígeno obtenidos durante el periodo de tratamiento de las aguas residuales domesticas logrando una concentración de 181mg/L con una dosis del 20% de microalga *Scenedesmus Sp.*

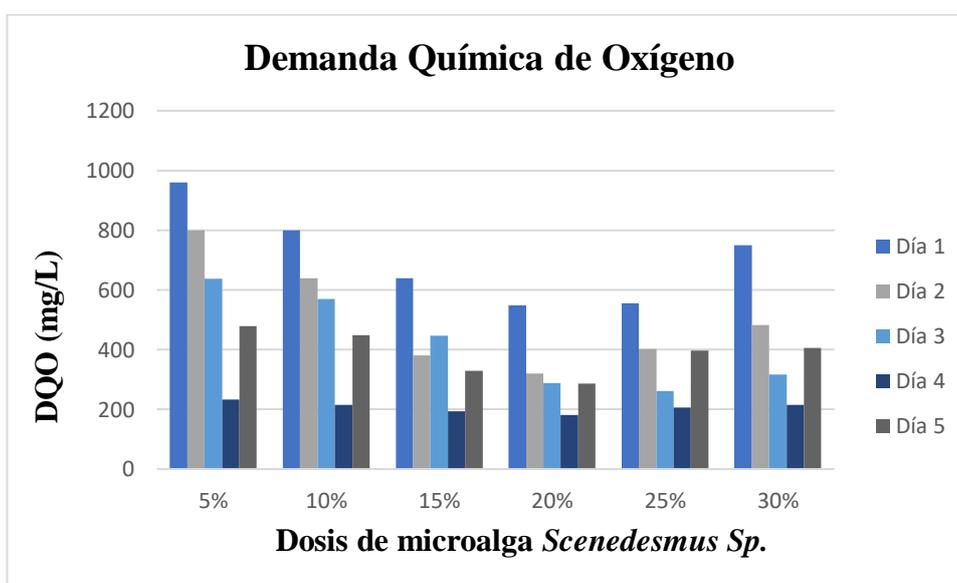


Figura 14. Valores de la demanda química de oxígeno durante el tratamiento con la microalga Scenedesmus Sp.

En la figura 14 se muestra los resultados obtenidos de la DQO de los diferentes tratamientos en donde se observa una disminución de DQO muy pronunciada hasta el día 4 de análisis, seguidamente el día 5 de análisis ya presento una lenta remoción.

Tabla 14

Resultados de los coliformes termotolerantes durante el tratamiento con la microalga Scenedesmus Sp.

Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)						
Días	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1	150000	2400	240	90	110	4300
2	11000	1500	230	40	90	110
3	2400	1100	150	23	43	46
4	110	75	40	0	0	4
5	1100	900	430	150	240	400

En la tabla 14 se observa claramente como ha ido removiendo los coliformes termotolerantes con una mínima dosis del 5% de microalga llegando a valores < 3.

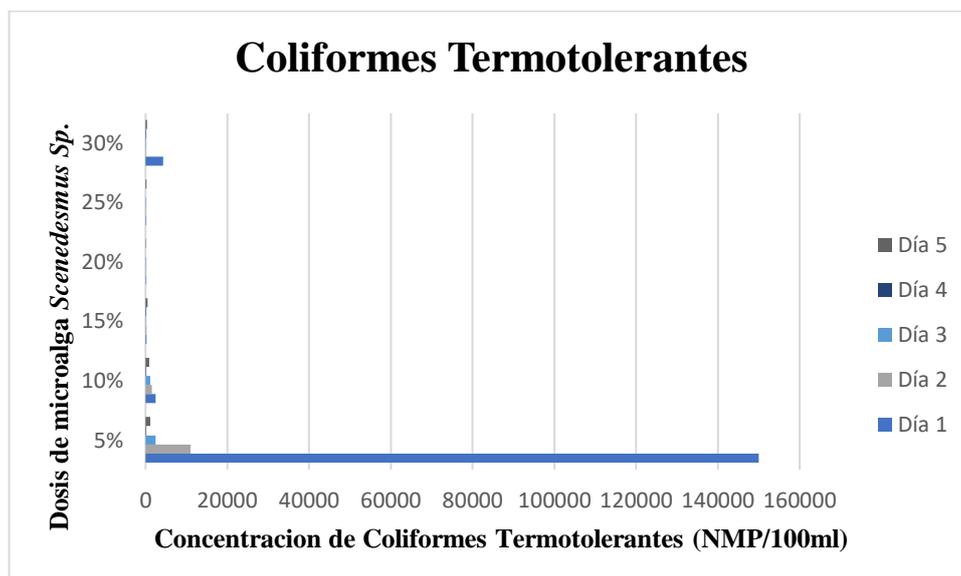


Figura 15. Valores de los coliformes termotolerantes durante el tratamiento con la microalga Scenedesmus Sp.

En la figura 15 Se muestran los indicadores obtenidos de bacterias coliformes termotolerantes y se puede observar que en la mayoría de los métodos de tratamiento se eliminan, debido a que las condiciones ambientales en las que se encuentran son favorables para el crecimiento de las microalgas, pero no favorables para la

supervivencia de los patógenos. microorganismos. La eficacia de la desinfección de aguas residuales generalmente se puede evaluar en función del grado de eliminación total de coliformes. En este sentido, las lagunas de estabilización de aguas residuales y sus altas tasas de tratamiento de aguas residuales se consideran más eficientes que los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales (Camacho et al., 2015).

- **Análisis del estadístico tratamiento del agua residual domestica con microalgas *Scenedesmus Sp***

Según la Tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14 se realizaron diseños experimentales de bloques completos al azar. Las variables respuesta fueron la temperatura, pH, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y coliformes termotolerantes que se obtuvieron después de los tratamientos.

Para realizar una comparación de los 5 días de tratamiento realizados se plantea la hipótesis.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu$$

$$H_a: \mu_i \neq \mu_j \text{ para algún } i \neq j = 1, 2, 3, 4, 5$$

Tabla 15

Análisis de varianza para la temperatura

<i>Fuente de variación</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Grado de libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F₀</i>	<i>Valor-p</i>
Días	30.722	4	7.6805	23.14	0.0000
Concentración de microalga	2.347	5	0.4694	1.41	0.2618
Error	6.638	20	0.3319		
Total	39.707	29			

En las tablas de la distribución F de Fisher (Anexo) podemos ver que los días de tratamiento tiene 4 grados de libertad en el numerador y 20 grados de libertad en el denominador se tiene que el valor de F (tablas) es 2.87. Como el estadístico calculado $F_0 = 23.14 > F(\text{tablas}) = 2.87$ se concluye que, si hay efecto significativo de los días de tratamiento, es decir todos los días se obtuvo distintos resultados.

Tabla 16

Análisis de varianza para el pH

<i>Fuente de variación</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Grado de libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F₀</i>	<i>Valor-p</i>
Días	0.987013	4	0.246753	2.39	0.0851
Concentración de microalga	3.3949	5	0.678979	6.58	0.0009
Error	2.06459	20	0.103229		
Total	6.4465	29			

Según la tabla de la distribución F de Fisher (Anexo 6) podemos observar que para la concentración de microalga tiene 5 grados de libertad en el numerador y 20 grados de libertad en el denominador se tiene que el valor de F (tablas) es 2.71. Como el estadístico $F_0 = 6.58 > F(\text{tablas}) = 2.71$ se concluye que, si hay efecto de la concentración de microalga en el tratamiento.

Tabla 17

Análisis de varianza para los sólidos suspendidos totales

<i>Fuente de variación</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Grado de libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F₀</i>	<i>Valor-p</i>
Días	7712.17	4	1928.04	28.82	0.0000
Concentración de microalga	2943.88	5	588.777	8.80	0.0002
Error	1338.08	20	66.9041		
Total	11994.1	29			

Según la tabla 17, los estadísticos $F_0 > F(\text{tablas})$ se concluye que, si hay efecto de los días de tratamiento y de la concentración de microalga en el tratamiento.

Tabla 18

Análisis de varianza para la demanda bioquímica de oxígeno

<i>Fuente de variación</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Grado de libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F₀</i>	<i>Valor-p</i>
Días	135896.	4	33974.1	24.65	0.0000
Concentración de microalga	66174.0	5	13234.8	9.60	0.0001
Error	27566.5	20	1378.32		
Total	229637.	29			

En la tabla 18 se concluye que si hay efecto de los días de tratamiento y de la concentración de microalga en los tratamientos realizados es decir que los estadísticos $F_0 > F$ (tablas). Es decir que en los experimentos realizados se obtienen distintas concentraciones de DBO.

Tabla 19

Análisis de varianza para la demanda química de oxígeno

<i>Fuente de variación</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Grado de libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F₀</i>	<i>Valor-p</i>
Días	799242.	4	199810.	30.36	0.0000
Concentración de microalga	313074.	5	62614.8	9.51	0.0001
Error	131645.	20	6582.23		
Total	1.24396 x 10 ⁶	29			

En la tabla 19 se concluye que también hay efecto de los días de tratamiento y de la concentración de microalga en los tratamientos realizados es decir que los estadísticos $F_0 > F$ (tablas). Es los experimentos realizados se obtienen distintas concentraciones de DQO.

Tabla 20

Análisis de varianza para los coliformes termotolerantes.

<i>Fuente de variación</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Grado de libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F₀</i>	<i>Valor-p</i>
Días	3.09954 x 10 ⁹	4	7.74884 x 10 ⁸	1.10	0.3851
Concentración de microalga	4.38337 x 10 ⁹	5	8.76673 x 10 ⁸	1.24	0.3272
Error	1.41261 x 10 ¹⁰	20	7.06306 x 10 ⁸		
Total	2.1609 x 10 ¹⁰	29			

Según las tablas de la distribución F de Fisher (Anexo 6) podemos observar que para los días de tratamiento y concentración de microalga tienen 4 y 5 grados de libertad en el numerador respectivamente y 20 grados de libertad en el denominador se tiene que los valores de F (tablas) fueron 2.87 y 2.71 respectivamente. En ambos casos, los estadísticos $F_0 < F$ (tablas). Se concluye que los días de tratamiento y la concentración de microalga no tienen efectos en los tratamientos de coliformes termotolerantes.

4.1.4 Tratamiento con microalgas *Chlorella sp*

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del análisis realizado de las muestras después del tratamiento con la especie de microalga *Chlorella Sp.* de las diferentes dosis.

Tabla 21

Resultados de la temperatura durante el tratamiento con la microalga Chlorella Sp.

Temperatura (°C)						
Días	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1	20.7	21.8	22.3	21	20.6	21.9
2	22	21	22.6	22.5	22.4	20
3	21.1	19.5	21	21.5	22	20.6
4	17.8	17,9	17,6	18,2	18.2	17.5
5	21.8	19.7	19.1	21.2	19.4	18.3

En la tabla 21 se observa los valores obtenidos de la temperatura durante el tratamiento manteniendo como valor mínimo 17.5 °C y un valor máximo de 22.6 °C.

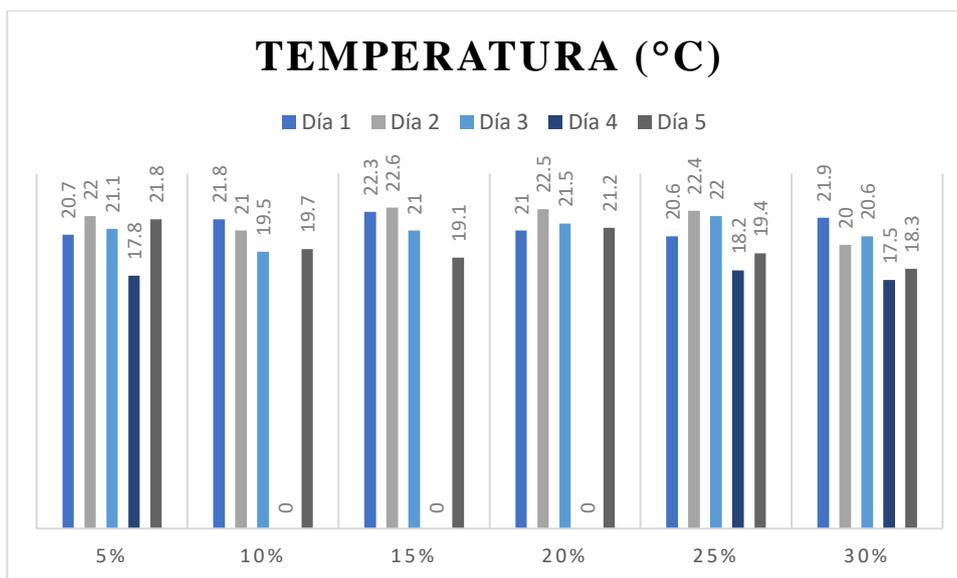


Figura 16. Datos de temperatura durante el tratamiento con *Chlorella Sp.*

Las condiciones óptimas para el tratamiento indican que las temperaturas debes ser mayores de 16°C, considerando esto en la figura 16 se puede apreciar que las temperaturas fueron óptimas para el crecimiento. Ponte (2019) indica que la mayoría de las especies de microalgas se adaptan a temperaturas alrededor de 15 a 25°C.

Tabla 22

Resultados del pH durante el tratamiento con la microalga *Chlorella Sp.*

Potencial de hidrogeno						
Días	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1	8.89	9.96	9.91	8.87	9.76	9.5
2	8.44	9.57	8.77	9.64	9.93	9.98
3	8.49	8.41	9.75	9.93	9.85	9.74
4	9.31	9.28	9.65	9.51	9.76	9.44
5	9.34	9.62	9.6	9.55	9.56	9.31

Los resultados obtenidos del pH como se muestra en la tabla 22 se encuentra con rangos de 8.41 a 9.98 siendo pHs óptimos para el crecimiento de las microalgas.

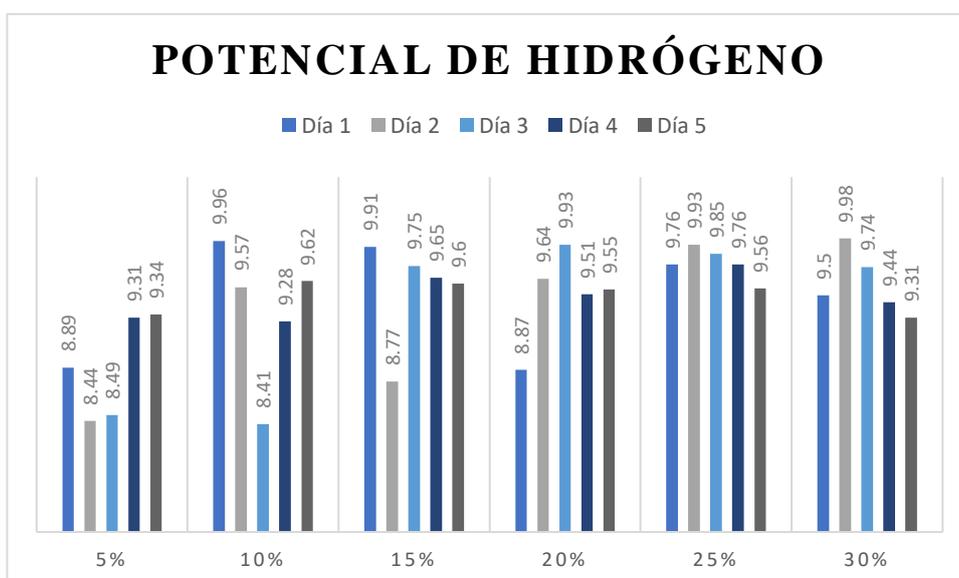


Figura 17. Datos del pH durante el tratamiento con la microalga *Chlorella Sp.*

Para este tipo de tratamiento el pH es un parámetro de mucha importancia. Ponte (2019) Se ha encontrado que la mayoría de los cultivos de microalgas están en el rango de 7 a 9.

El pH óptimo en los cultivos a menudo se mantiene mediante aireación con aire rico en CO₂. Mientras que en el tratamiento realizado como se muestra en la figura 17 se puede observar que el pH obtuvo resultados favorables.

Tabla 23

Resultados de sólidos suspendidos totales durante el tratamiento con la microalga *Chlorella Sp.*

Días	Sólidos suspendidos totales (mg/L)					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1	132	116	95	87	75	52
2	102	95	81	72	81	93
3	78	72.4	59	45	48.6	62.8
4	67.25	53.41	32.19	39.28	98.37	51.41
5	73.01	69.14	53.22	42.18	68.51	79.27

Los sólidos suspendidos totales se presentaron con un resultado inicial de 170 mg/L con la aplicación de la microalga *Chlorella Sp.* en las aguas residuales se llegó hasta una concentración de 45 mg/L con una dosis del 20% de microalga como se puede observar en la tabla 23.

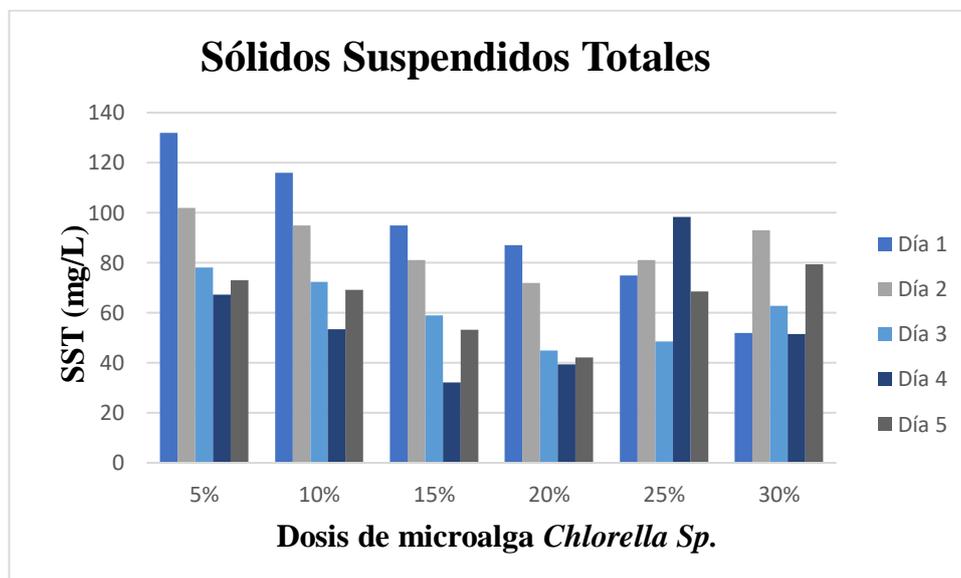


Figura 18. Valores de los sólidos suspendidos totales durante el tratamiento con la microalga *Chlorella Sp.*

Durante el tratamiento obtenido con la aplicación de la microalga *Chlorella Sp.* en aguas residuales se realizó a diferentes dosis considerando 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30%, siendo el mejor tratamiento con una dosis del 20% como se muestra en la figura 18. Los sólidos suspendidos durante el tratamiento suelen convertirse en biomasa ya que está presente como materia orgánica, bacterias y otros organismos.

Tabla 24

Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno durante el tratamiento con la microalga Chlorella Sp.

Días	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1	447.7	405.2	323.4	295.2	301.3	379.5
2	356.46	248.51	123.48	115.34	247.16	298.14
3	310.5	299.1	248.5	168.1	199.8	201
4	195.9	128.4	115.15	100.3	122.3	159
5	269.7	250.7	190.3	172	202.3	215.4

En la tabla 24 se aprecia los resultados de la demanda bioquímica de oxígeno a diferentes dosis de microalga *Chlorella Sp.* durante 5 días de análisis. La DBO inicial antes del tratamiento presento una concentración de 450 mg/L con el tratamiento aplicado se llegó a una concentración de 100.3 mg/L con una dosis de 20% de microalga.

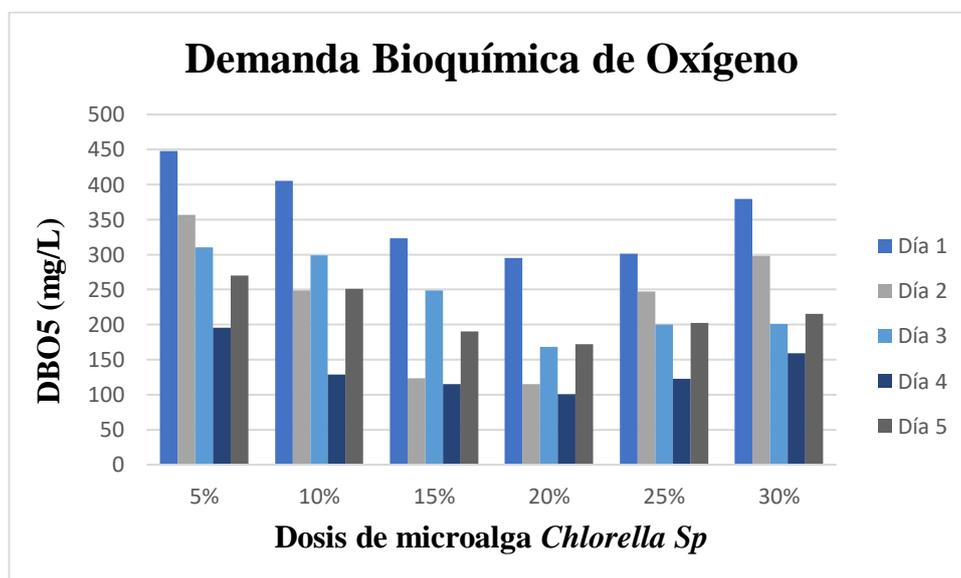


Figura 19. Valores de la demanda bioquímica de oxígeno durante el tratamiento con la microalga *Chlorella Sp.*

Como se muestra en la figura 19 los valores han ido fluctuando de acuerdo al tiempo de tratamiento. Llegando a una concentración mínima de 100.3 mg/L. Saltos (2023) en su tratamiento llegó a una concentración de DBO de 54 mg/L.

Tabla 25

Resultados de la demanda química de oxígeno durante el tratamiento con la microalga *Chlorella Sp.*

Días	Demanda química de oxígeno (mg/L)					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1	987.1	864.7	680	579.2	601.3	787.3
2	840	704	493	408	460	540
3	698.15	652.05	530.33	357.87	374.71	440.02
4	297.98	217.22	203.11	196.05	246	277.15
5	425.81	346.83	346.22	258.26	344.85	367.88

Los resultados obtenidos de la DQO como se muestra en la tabla 25, presenta las concentraciones obtenidas durante el tratamiento realizado, por lo que el tratamiento presento la mejor remoción al 20% de dosis de microalga, dando una concentración de 196.05 mg/L.

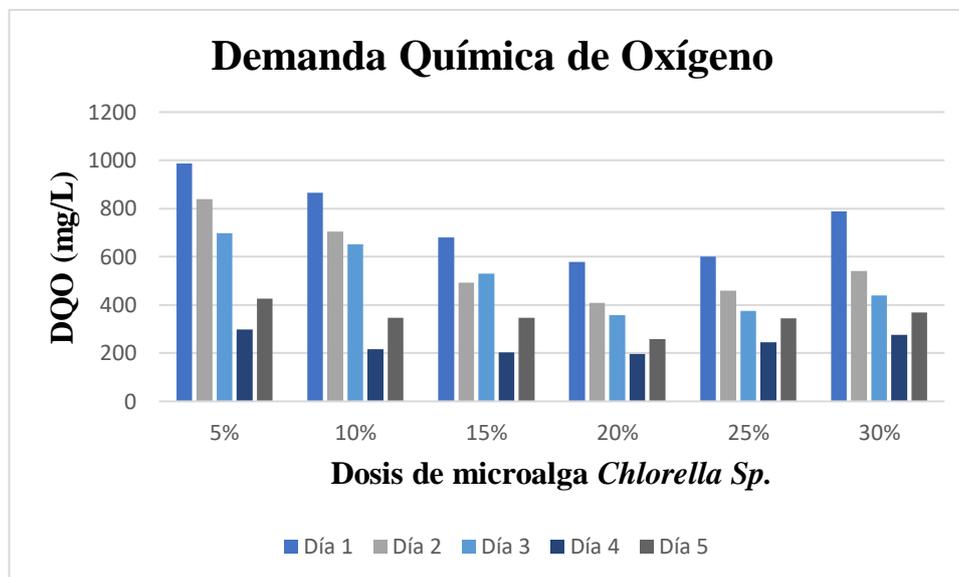


Figura 20. Valores de la demanda química de oxígeno durante el tratamiento con la microalga *Chlorella Sp.*

En la figura 20 se observa las concentraciones obtenidas a diferentes dosis y durante los 5 días de análisis. Saltos (2023) en su tratamiento realizado obtuvo un valor de 66 mg/L, por otro lado, Mojica (2020) en su experimento obtuvo una concentración de 38 mg/L. Es importante mencionar que las especies de microalgas son consumidoras de materia orgánica es por ello que remueve las concentraciones elevadas de DQO.

Tabla 26

Resultados de los coliformes termotolerantes durante el tratamiento con la microalga Chlorella Sp.

Días	Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1	240000	1100	460	150	240	4600
2	23000	2400	460	93	110	150
3	2400	1500	900	230	430	900
4	150	90	93	0	0	9
5	2400	1500	930	400	430	750

En la tabla 26 se presenta las concentraciones obtenidas del tratamiento con microalga *Chlorella Sp*, el presente experimento se pudo lograr una remoción eficiente desde el 5% de dosis hasta el 30% llegando a concentraciones de hasta 0.

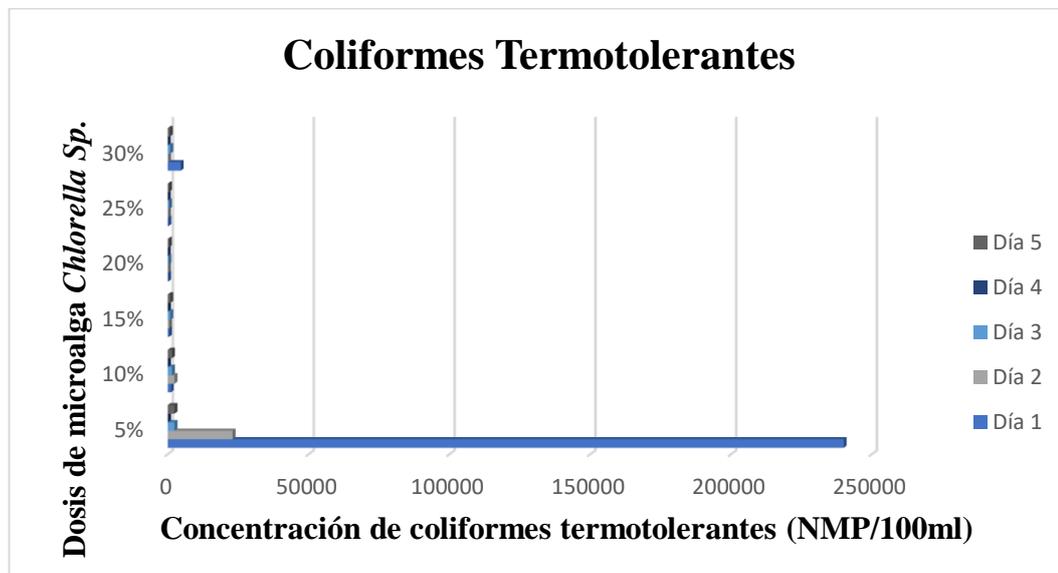


Figura 21. Valores de los coliformes termotolerantes durante el tratamiento con la microalga *Chlorella Sp*.

En la figura 21 se aprecia la concentración de los coliformes termotolerantes, cabe indicar que este tratamiento para este parámetro fue favorable ya que a baja dosis de microalga presento una remoción eficiente. Los organismos patógenos presentes en el agua residual puede provenir de desechos humanos, para evitar estos impactos negativos se requiere de tratamientos efectivos, es así como las microalgas aparecen como una alternativa para la eliminación de microorganismos perjudiciales del ecosistema acuático (Ulloa & Ramirez, 2019).

- **Análisis del estadístico tratamiento del agua residual domestica con microalgas *Chlorella Sp***

Según la Tablas 21, 22, 23, 24, 25 y 26 consistieron de diseños experimentales de bloques completos al azar. Las variables respuesta fueron la temperatura, pH, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y coliformes termotolerantes que se obtuvieron después de los tratamientos realizados.

Para realizar la comparación de los 5 días de tratamiento realizados se plantea la hipótesis.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu$$

$$H_a: \mu_i \neq \mu_j \text{ para algún } i \neq j = 1, 2, 3, 4, 5$$

Tabla 27

Análisis de varianza para la temperatura

<i>Fuente de variación</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Grado de libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F₀</i>	<i>Valor-p</i>
Días	28779.3	4	7194.84	4.62	0.0083
Concentración de microalga	7879.88	5	1575.98	1.01	0.4361
Error	31120.8	20	1556.04		
Total	67780.0	29			

En las tablas de la distribución F de Fisher (Anexo) para los días de tratamiento tiene 4 grados de libertad en el numerador y 20 grados de libertad en el denominador se tiene que el valor de F (tablas) es 2.87. Como el estadístico calculado $F_0 = 4.62 > F$ (tablas) = 2.87 concluimos que si hay efecto significativo de los días de tratamiento.

Tabla 28

Análisis de varianza para el pH

<i>Fuente de variación</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Grado de libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F₀</i>	<i>Valor-p</i>
Días	0.0980533	4	0.0245133	0.13	0.9697
Concentración de microalga	2.2498	5	0.44996	2.38	0.0752
Error	3.77687	20	0.188843		
Total	6.12472	29			

En la tabla 28 los estadísticos calculados para los días de tratamiento y concentración de microalga fueron 0.13 y 2.38 respectivamente. Así mismo, los valores del

estadístico F fueron 2.87 y 2.71 respectivamente. Los estadísticos $F_0 < F$ (tablas) en ambos casos. Se concluye que no hay efecto de las 2 variables en estudio.

Tabla 29

Análisis de varianza para los sólidos suspendidos totales

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado Medio	F_0	Valor-p
Días	6454.39	4	1613.6	5.73	0.0031
Concentración de microalga	3661.79	5	732.357	2.60	0.0573
Error	5633.68	20	281.684		
Total	15749.9	29			

En la tabla 29 el estadístico calculado para los días de tratamiento fue 5.73. También, el valor del estadístico F fue 2.87. El estadístico $F_0 > F$ (tablas), se concluye que el día de tratamiento tiene efectos en los experimentos realizados.

Tabla 30

Análisis de varianza para la demanda bioquímica de oxígeno

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado Medio	F_0	Valor-p
Días	151715.	4	37928.8	28.63	0.0000
Concentración de microalga	68093.0	5	13618.6	10.28	0.0001
Error	26498.3	20	1324.91		
Total	246307.	29			

En la tabla 30 los estadísticos calculados para los días de tratamiento y concentración de microalga fueron 28.63 y 10.28 respectivamente. Los valores del estadístico F fueron 2.87 y 2.71 respectivamente. Los estadísticos $F_0 > F$ (tablas) en ambos casos. Se concluye que hay efecto de las 2 variables en estudio para la remoción de DBO.

Tabla 31

Análisis de varianza para la demanda química de oxígeno

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado Medio	F ₀	Valor-p
Días	945715.	4	236429.	42.73	0.0000
Concentración de microalga	277634.	5	55526.9	10.03	0.0001
Error	110672.	20	5533.59		
Total	1.33402E6	29			

En la tabla 31 los estadísticos calculados para los días de tratamiento y concentración de microalga fueron 42.73 y 10.03 respectivamente. Los valores del estadístico F fueron 2.87 y 2.71 respectivamente. Los estadísticos $F_0 > F$ (tablas) en ambos casos. Se concluye que hay efecto de las 2 variables en estudio para la remoción de DQO.

Tabla 32

Análisis de varianza para los coliformes termotolerantes.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado Medio	F ₀	Valor-p
Días	7.53513x10 ⁹	4	1.88378x10 ⁹	1.04	0.4118
Concentración de microalga	1.16543x10 ¹⁰	5	2.33085x10 ⁹	1.29	0.3091
Error	3.62638x10 ¹⁰	20	1.81319x10 ⁹		
Total	5.54532x10 ¹⁰	29			

Según las tablas de la distribución F de Fisher (Anexo 6) podemos observar que para los días de tratamiento y concentración de microalga tienen 4 y 5 grados de libertad en el numerador respectivamente y 20 grados de libertad en el denominador se tiene que los valores de F (tablas) fueron 2.87 y 2.71 respectivamente. Los estadísticos $F_0 < F$ (tablas), se concluye que los días de tratamiento y la concentración de microalga no tienen efectos en los tratamientos de los coliformes termotolerantes.

4.1.5 Porcentajes de remoción del tratamiento con microalgas

Seguidamente se obtiene los porcentajes de remoción de cada parámetro a diferentes dosis realizadas. A continuación, se presenta los porcentajes de remoción obtenido del tratamiento con la microalga *Scenedesmus Sp*

Tabla 33

Porcentaje de remoción de solidos totales con Scenedesmus Sp.

Solidos Suspendidos Totales						
DIA	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1	32.94	49.41	50.59	51.76	54.12	57.65
2	42.35	48.82	57.65	62.35	58.82	51.18
3	58.54	63.55	65.61	72.07	70.99	69.41
4	65.64	72.23	83.35	86.38	79.29	63.90
5	60.51	63.36	73.39	77.52	65.11	59.22

El porcentaje de remoción del mejor tratamiento se dio con una dosis del 20% al 4to día de análisis obteniendo el 86.38% de remoción.

Tabla 34

Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno con Scenedesmus Sp.

Demanda Bioquímica de Oxígeno						
Día	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1	10.00	12.62	36.87	42.56	41.04	23.29
2	21.84	36.26	68.44	71.60	44.22	42.62
3	33.82	38.11	45.53	71.27	68.33	62.71
4	63.91	72.93	81.02	78.82	75.29	73.60
5	44.62	50.49	60.22	65.27	57.00	55.56

La microalga *Scenedesmus Sp.* fue eficiente para el tratamiento de la DBO con una dosis del 15% de microalga, llegando al 81.02% mientras que al 20%, 25% y al 30% la DBO elevo su concentración. Abdel et al. (2012) en su estudio realizado registro valores moderados de remoción del 68.4%.

Tabla 35

Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno con Scenedesmus Sp.

Demanda Química de Oxígeno						
Día	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1	5.88	21.57	37.25	46.25	45.47	26.47
2	21.57	37.25	62.75	68.63	60.59	52.65
3	37.42	44.07	56.13	71.72	74.32	68.90
4	77.11	78.92	81.01	82.25	79.80	78.92
5	53.12	55.96	67.81	71.89	61.06	60.17

En la tabla 35 se observa los porcentajes de remoción de la demanda química de oxígeno obtenidos durante el tratamiento, logrando un 82.25% de remoción con una dosis del 20% de microalga *Scenedesmus Sp.* Hammouda et al. (1995) registro para *Scenedesmus* una remoción de DQO de 89% mientras que, Abdel et al. (2012) obtuvo una remoción del 67.2%, por otro lado, Wang et al. (2010) obtuvo la más baja remoción con 27.4% en aguas residuales desde lodos de digestión anaerobia de estiércol.

Tabla 36

Porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes con Scenedesmus Sp.

Día	Coliformes termotolerantes					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1	99.99	99.98	100.00	100.00	100.00	99.96
2	99.90	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00
3	99.98	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00
4	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
5	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00

En los resultados obtenidos del porcentaje de remoción se puede apreciar que con la mínima dosis del 5% se presentó un porcentaje del 100% de remoción. Según Camacho et al. (2015) Los estudios demuestran que se pueden descargar grandes cantidades de bacterias coliformes en tanques de estabilización. El valor disminuyó un 88,8% en 11,4 días. En otros informes, los recuentos totales de coliformes se redujeron en un 99,6%. (Abdel et al., 2022).

Seguidamente se observa los porcentajes de remoción del tratamiento con la microalga *Chlorella Sp*

Tabla 37

Porcentaje de remoción de solidos totales con Chlorella Sp.

Día	Solidos suspendidos totales					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1	22.35	31.76	44.12	48.82	55.88	69.41
2	40.00	44.12	52.35	57.65	52.35	45.29
3	54.12	57.41	65.29	73.53	71.41	63.06
4	60.44	68.58	81.06	76.89	42.14	69.76
5	57.05	59.33	68.69	75.19	59.70	53.37

En la tabla 37 se muestra el porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos totales con microalga *Chlorella Sp.* siendo la dosis del 15% el mejor tratamiento llegando al 81.06% de remoción.

Tabla 38

Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno con Chlorella Sp.

Día	Demanda bioquímica de oxígeno					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1	0.51	9.96	28.13	34.40	33.04	15.67
2	20.79	44.78	72.56	74.37	45.08	33.75
3	31.00	33.53	44.78	62.64	55.60	55.33
4	56.47	71.47	74.41	77.71	72.82	64.67
5	40.07	44.29	57.71	61.78	55.04	52.13

En la tabla 38 se aprecia el porcentaje de remoción de los diferentes tratamientos de la demanda bioquímica de oxígeno obteniendo un 77.71% de remoción. Camacho et al. (2015) obtuvo un 68.4% de remoción de DBO.

Tabla 39

Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno con Chlorella Sp.

Día	Demanda química de oxígeno					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1	3.23	15.23	33.33	43.22	41.05	22.81
2	17.65	30.98	51.67	60.00	54.90	47.06
3	31.55	36.07	48.01	64.91	63.26	56.86
4	70.79	78.70	80.09	80.78	75.88	72.83
5	58.25	66.00	66.06	74.68	66.19	63.93

En la tabla 39 se observa los resultados del porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno en donde se obtuvo el mejor tratamiento con una dosis del 20% al 4to día de 3 análisis que corresponde al 11avo día de tratamiento obteniendo una remoción del 80.78%. Hammouda et al. (1995) en su tratamiento con *Chlorella Sp.* reportó una remoción del 91.7%, sin embargo, Li et al. (2011) En el experimento *Chlorella* se registró un valor de DQO del 90,3%, y se concluyó que las microalgas utilizan rápidamente diversos compuestos orgánicos como fuente de carbono, además del CO₂.

Tabla 40

Porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes con Chlorella Sp.

Día	Coliformes termotolerantes					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
1	97.82	99.99	100.00	100.00	100.00	99.96
2	99.79	99.98	100.00	100.00	100.00	100.00
3	99.98	99.99	99.99	100.00	100.00	99.99
4	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
5	99.98	99.99	99.99	100.00	100.00	99.99

La remoción de los coliformes termotolerantes con aplicación de la microalga *Chlorella Sp*, se dio con la mínima dosis, obteniendo un 100% de remoción. Ulloa & Ramírez (2019) obtuvo un 99.99% de remoción de coliformes termotolerantes.

4.1.6 Comparación de los resultados obtenidos después del tratamiento con la normatividad vigente

Tabla 41

Resultados obtenidos del tratamiento con la microalga Scenedesmus Sp. frente a la normativa vigente.

Parámetro	Unidad	Porcentaje	Resultado	LMP.S. 003-2010 MINAM
Temperatura	°C	20%	17.1	<35
pH		20%	9.83	6.5 8.5
Sólidos suspendidos totales	mg/L	20%	23.15	150
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	15%	85.4	200
Demanda química de oxígeno	mg/L	20%	181	100
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	5%	110	10000

El tratamiento realizado con la microalga *Scenedesmus Sp*. presento resultados favorables frente a la normatividad vigente como los sólidos suspendidos totales, la demanda bioquímica de oxígeno y los coliformes termotolerantes, sin embargo, la demanda química no llego al límite según los valores admitidos sin embargo el porcentaje de remoción fue de 82.25%

Tabla 42

Resultados obtenidos del tratamiento con la microalga Chlorella Sp. frente a la normativa vigente.

Parámetro	Unidad	Porcentaje	Resultado	LMP D.S. 003-2010 MINAM
Temperatura	°C	20%	18.2	<35
pH		20%	9.51	6.5 – 8.5
Sólidos suspendidos totales	mg/L	15%	32.19	150
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	20%	100.3	200
Demanda química de oxígeno	mg/L	20%	196.05	100
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	5%	150	10000

De los resultados obtenidos durante el tratamiento de la microalga *Chlorella Sp* se puede observar que los valores de materia suspendida total, consumo bioquímico de oxígeno y bacterias coliformes termotolerantes se encuentran por debajo de los límites permisibles, pero el consumo químico de oxígeno supera el 80.78% de la remoción y no se ha alcanzado el límite máximo permitido.

4.2 Discusión

La presente investigación inicialmente se realizó una caracterización inicial obteniendo resultados de: Temperatura de 13.8 °C, pH 7.18, SST de 170mg/L, DQO de 1020 mg/L, DBO 450 mg/L, coliformes termotolerantes 1.1×10^7 NMP/100mL mientras que de (Cabana Alanoca et al., 2022) reportaron valores de la demanda química de oxígeno de 1028.7 mg/L y la demanda bioquímica de oxígeno 560 mg/L. (L. A. Muñoz, 2015) reporto valores de solidos de 150mg/L de aguas residuales municipales. Por otro lado (Mendoza, 2016) en cuanto a coliformes termotolerantes obtuvo un valor de 13×10^4 NMP/100mL de efluentes municipales. A raíz de estos resultados obtenidos se lleva a cabo el tratamiento de las aguas residuales domesticas con 2 especies de microalgas *Scenedesmus Sp.* y *Chlorella Sp.*

Las condiciones ambientales se adecuaron con fuente de intensidad lumínica con focos fluorescentes de 40 watts, oxigenadores conectadas a mangueras para inyectar de aire, de tal manera se mantuvo a una temperatura de 17°C a 21°C y a un pH de 7 a 9, sientto estos

parámetros los más importantes para el crecimiento celular. Por otro lado (J. Abalde et al., 1995). En casi todas sus especies crecen en temperaturas que fluctúan entre 16 y 24 °C (Orduz, 2016) y por encima de estas temperaturas el crecimiento disminuye, a veces bruscamente, hasta llegar a cero si continua el aumento de la temperatura.

En cuanto a las remociones con la microalga *Scenedesmus Sp.* los SST obtuvo un 86.38%, la DBO 81.02%, la DQO 82.25% y los coliformes el 100% de remoción, por otro lado, la *Chlorella Sp.* presento una remoción de SST de 81.06%, la DBO 77.71%, la DQO 80.78% y los coliformes termotolerantes el 100%. Mientas que Li et al.(2011) registro valores de DQO de 90.3% en su experimento con *Chlorella Sp.*, concluyendo que las microalgas utilizan rápidamente diferentes compuestos orgánicos R. Muñoz & Guieysse (2006), demostraron que la eliminación de *E. coli* de cultivos de microalgas se atribuyó a cambios en las propiedades del medio resultantes de las actividades metabólicas y fotosintéticas de las microalgas. Toha et al. (1991), indicaron que el pH es uno de los principales factores para la eliminación de bacterias coliformes, y las microalgas son una alternativa prometedor para lograr estas condiciones y tratar aguas residuales con altas cargas bacterianas. Por su parte, Marois-Fiset et al. (2013), Se encontró que *E. coli* estaba limitada a un pH de 9,0 a temperatura ambiente, pH a cuyo pH era posible reducir la concentración residual en el efluente residual de $4,6 \times 10^5$ NMP/100 ml a $1,2 \times 10^2$ NMP/100 ml 30 dentro de minutos en lo que respecta, Wahyuni (2015), Se determinó que un pH de 7,5 a 8,5 afecta la mortalidad de *E. coli* en agua de mar. Por lo tanto, cambiar el valor del pH se puede utilizar como método para eliminar las bacterias coliformes de las aguas residuales domésticas. Por otro lado Ponte (2019) indica que los procesos de tratamiento biológico logran la oxidación de materiales orgánicos en aguas residuales por actividad microbiana para reducir algunos parámetros físico-químicos tales como pH, DBO y DQO. Mientras que Muñoz (2015) en su investigación fue posible remover entre el 94 y el 85 % de materia orgánica y nutrientes respectivamente de aguas residuales municipales, 75 y 95 % de purines de cerdo y 55 y 70 % de digestato anaerobio con sistemas alga-bacteria.

CONCLUSIONES

- El tratamiento realizado con 2 especies de microalgas *Scenedesmus Sp.* y *Chlorella Sp.* son eficientes para la depuración de los contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas.
- Las características iniciales de las aguas residuales antes del tratamiento se presentó una temperatura de 13.8°C, el pH de 7.18, los sólidos totales en suspensión 170mg/L, la demanda química de oxígeno 1020 mg/L, la demanda bioquímica de oxígeno 450 mg/L y los coliformes termotolerantes de $1.1 * 10^7$ NMP/100mL
- Las microalgas se adecuaron con fuente de intensidad lumínica con focos fluorescentes de 40 watts, oxigenadores conectadas a mangueras para inyectar de aire, de tal manera se mantuvo a una temperatura de 17°C a 21°C y a un pH de 7 a 9, siendo estos parámetros los más importantes para el crecimiento celular.
- Los resultados obtenidos después del tratamiento se dieron a una dosis del 20% de *Scenedesmus* para los SST 23.15 mg/L, la DQO 181 mg/L, los coliformes llego hasta <3, la DBO con una dosis del 15% fue del 85.4 mg/L. en cuanto a la otra especie de microalga *Chlorella Sp.* los SST 45 mg/L, DBO 100.3 mg/L, DQO 196.05 mg/L y los coliformes llego hasta <3 estas concentraciones se obtuvieron a una dosis del 20% de microalga *Chlorella Sp.*, estos resultados se obtuvieron al 4to día de análisis que corresponde al 11avo día de tratamiento. En cuanto a las remociones con la microalga *Scenedesmus Sp.* los SST obtuvo un 86.38%, la DBO 81.02%, la DQO 82.25% y los coliformes el 100% de remoción, por otro lado, la *Chlorella Sp.* presento una remoción de SST de 81.06%, la DBO 77.71%, la DQO 80.78% y los coliformes termotolerantes el 100%.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un tratamiento de metales pesados con las mismas especies de microalgas para conocer el comportamiento frente a estos contaminantes.
- Se recomienda realizar tratamiento de aguas residuales industriales como aguas de camal o aguas de industrias lácteas.
- Se recomienda realizar este tratamiento a condiciones ambientales para corroborar los resultados realizando cultivos masivos al aire libre
- A partir de los resultados obtenidos se recomienda hacer el uso de estas especies de microalgas como tratamiento complementario en las aguas residuales domésticas.

BIBLIOGRAFIA

- Abalde, J., Cid, A., Fidalgo, J. P., Torres, E., & Herrero, C. (1995). *Microalgas: Cultivo y aplicaciones* (Universidad de Coruña).
- 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., & Universidade da Coruña. España. (1995). *Microalgas: Cultivo y aplicaciones* (2.^a ed.). Universidade 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>
- Abdelfattah, A., Ali, S. S., Ramadan, H., El-Aswar, E. I., Eltawab, R., Ho, S.-H., Elsamahy, T., Li, S., El-Sheekh, M. M., Schagerl, M., Kornaros, M., & Sun, J. (2022). Microalgae-based wastewater treatment: Mechanisms, challenges, recent advances, and future prospects. *Environmental Science and Ecotechnology*, 100205.
<https://doi.org/10.1016/j.ese.2022.100205>
- Acevedo, M. S. (2011). *Fases de crecimiento de un cultivo microalgal*. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/figure/Figura-17-Fases-de-crecimiento-de-un-cultivo-microalgal_fig12_236944112
- Acuña, B. G., Palacios, B. Q., & Baltazar, S. (2021). *Efecto de la descarga de las aguas residuales domésticas de la ciudad de los baños del inca sobre el agua del río Chonta, 2021*. [Tesis de pregrado]. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo.
- Acuña, U. G., & Palacios, S. B. Q. (2021). *Efecto de la descarga de las aguas residuales domésticas de la ciudad de los Baños del Inca sobre el agua del río Chonta, 2021*. [Tesis de pregrado]. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo.
- Ajayan, K. V., & Selvaraju, M. (2013). Heavy Metal Induced Antioxidant Defense System of Green Microalgae and its Effective Role in Phycoremediation of Tannery Effluent.

- Pakistan Journal of Biological Sciences*, 15(22), 1056-1062.
<https://doi.org/10.3923/pjbs.2012.1056.1062>
- Ajayan, K. V., Selvaraju, M., Unnikannan, P., & Sruthi, P. (2015). Phycoremediation of Tannery Wastewater Using Microalgae *Scenedesmus* Species. *International Journal of Phytoremediation*, 17(10), 907-916. <https://doi.org/10.1080/15226514.2014.989313>
- Ajonina, C., Buzie, C., Rubiandini, R. H., & Otterpohl, R. (2015). Microbial Pathogens in Wastewater Treatment Plants (WWTP) in Hamburg. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 78(6), 381-387.
<https://doi.org/10.1080/15287394.2014.989626>
- Amaral, M. del M. M. (2016). *Tratamiento de aguas residuales con microalgas en reactores abiertos* [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad de Almería].
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=111493>
- APHA, A. G. (2005). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales AHPA - AWWA - WPCF* (17.^a ed.). Dias de Santos.
- Arévalo, J. C. C., & Malo, B. O. M. (2017). *Evaluación del uso de la microalga Chlorella Vulgaris en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la ptar el Salitre a nivel laboratorio* [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América].
<https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6035>
- Cabana Alanoca, R., Larico-Mamani, C.-J., Callasaca-Pacheco, R.-A., Fernandez-Mamani, D.-L., Cahua-Alvarez, J. L., & Choquecota, J. Q. (2022). Variación de la calidad del agua del río Coata según el Ica-Perú por fuentes contaminantes. *Cátedra Villarreal*, 10(1), 16-25. <https://doi.org/10.24039/cv20221011189>
- Cabrera, E. Me. (2023). Curso: Introducción a las Microalgas. *Cognita Conecta*.
<https://cognitaconecta.com/curso/intromicroalgas/>
- Cabrera, M. A. C., & Tenemaza, M. F. P. (2014). *Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Civil* [Tesis de pregrado]. Universidad de Cuenca.
- Camacho, J. C., Ferrer, I., & Uggetti, E. (2015). *Cosechado de microalgas cultivadas en lagunas de alta carga para el tratamiento de aguas residuales: Efecto del almidón sobre la*

- floculación y la producción de biogás* [Tesis de maestría]. Universidad Politécnica de Cataluña.
- 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>
- Chojnacka, K., & Rocha, F. J. M.-. (2004). *Kinetic and stoichiometric relationships of the energy and carbon metabolism in the culture of microalgae.*
- Contreras-Flores, C., Peña-Castro, J. M., & Flores-Cotera, L. B. (2003). *Avances en el diseño conceptual de fotobiorreactores para el cultivo de microalgas.* 28.
- de-Bashan, L. E., & Bashan, Y. (2010). Immobilized microalgae for removing pollutants: Review of practical aspects. *Bioresource Technology*, 101(6), 1611-1627. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.043>
- Díaz, V., Leyva-Díaz, J. C., Almécija, M. C., Poyatos, J. M., del Mar Muñío, M., & Martín-Pascual, J. (2022). Microalgae bioreactor for nutrient removal and resource recovery from wastewater in the paradigm of circular economy. *Bioresource Technology*, 363, 127968. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127968>
- 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 maestría]. Universidad Nacional de Piura.
- Escorihuela, A., Núñez, M., Rosales Loaiza, N., Mora, R., & Morales, E. (2007). Microalgas presentes em uma laguna para pulimento de efluentes de una planta de tratamiento de águas residuales urbanas. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia*, ISSN 1690-9763, Vol. 24, N°. 1, 2007, pags. 225-230, 24.
- García, K. L. Q., Zúñiga, D. P. R., Duque, M. E. G., & Rojas, J. A. A. (2021). Evaluación de la remoción de nitrógeno y materia orgánica a través de humedales artificiales de flujo subsuperficial, acoplados a reactores de lecho fijo con microalgas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. *Ingeniería y Región*, 25, 82-94.

- Hammouda, O., Gaber, A., & Abdelraouf, N. (1995). Microalgae and Wastewater Treatment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 31(3), 205-210. <https://doi.org/10.1006/eesa.1995.1064>
- Huacho, L. M. L. (2020). *Efecto del vertimiento de aguas residuales domiciliarias en la calidad del agua en el río Sicra Lircay – Huancavelica 2018* [Tesis de pregrado]. Universidad Continental.
- Kadir, W. N. A., Lam, M. K., Uemura, Y., Lim, J. W., & Lee, K. T. (2018). Harvesting and pre-treatment of microalgae cultivated in wastewater for biodiesel production: A review. *Energy Conversion and Management*, 171, 1416-1429. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.074>
- Lavoie, A., & Noüe, J. de la. (1985). Hyperconcentrated cultures of *Scenedesmus obliquus*: A new approach for wastewater biological tertiary treatment? *Water Research*, 19(11), 1437-1442. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(85\)90311-2](https://doi.org/10.1016/0043-1354(85)90311-2)
- 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.
- Li, Y., Chen, Y. F., Chen, P., Min, M., Zhou, W., Martinez, B., Zhu, J., & Ruan, R. (2011). Characterization of a microalga *Chlorella* sp. Well adapted to highly concentrated municipal wastewater for nutrient removal and biodiesel production. *Bioresource Technology*, 102(8), 5138-5144. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.01.091>
- 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.*
- Malo, B., Cartagena, J., & Sandoval, J. A. (2018). *Evaluación del uso de la microalga chlorella vulgaris en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la salitre a nivel laboratorio.*



- Mantzavinos, D., & Kalogerakis, N. (2005). Treatment of olive mill effluents Part I. Organic matter degradation by chemical and biological processes—An overview. *Environment International*, 31(2), 289-295. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.10.005>
- Marois-Fiset, J.-T., Carabin, A., Lavoie, A., & Dorea, C. C. (2013). Effects of temperature and pH on reduction of bacteria in a point-of-use drinking water treatment product for emergency relief. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(6), 2107-2109. <https://doi.org/10.1128/AEM.03696-12>
- Mendoza, J. A. M. (2016). *Efecto del cultivo de la microalga Scenedesmus acutus en la remoción de nutrientes y carga bacteriana a diferentes diluciones de aguas residuales municipales del distrito de Chimbote – Ancash* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Santa.
- Mérida, L. G. R. (2020). *Agrobiología: Una visión general y sus aplicaciones*. <https://doi.org/10.4322/mp.2020.001>
- 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.
- Muñoz, R., & Guieysse, B. (2006). Algal–bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: A review. *Water Research*, 40(15), 2799-2815. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.06.011>

- 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>
- 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.
- 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 na.
- Pardo, S., Suárez, H., & Soriano, E. (2006). Tratamiento de efluentes: Una vía para la acuicultura responsable. *Revista MVZ Córdoba*, 11(Supl), 20-29.
<https://doi.org/10.21897/rmvz.1041>
- Passos, F., & Ferrer, I. (2014). Microalgae Conversion to Biogas: Thermal Pretreatment Contribution on Net Energy Production. *Environmental Science & Technology*, 48(12), 7171-7178. <https://doi.org/10.1021/es500982v>
- Pearson, H. W., Mara, D. D., & Bartone, C. R. (1987). Guidelines for the minimum evaluation of the performance of full-scale waste stabilization pond systems. *Water Research*, 21(9), 1067-1075. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(87\)90028-5](https://doi.org/10.1016/0043-1354(87)90028-5)
- 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>
- Perez, Z. (2009). *Aguas residuales: Clasificación, características y composición*.
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6087/5/CAPITULO%202.pdf>
- Ponte, W. M. L. (2019). *Evaluación de dos especies de microalgas para determinar la eficiencia de remoción 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>
- Pooja, K., Priyanka, V., Rao, B. C. S., & Raghavender, V. (2022). Cost-effective treatment of sewage wastewater using microalgae Chlorella vulgaris and its application as bio-fertilizer. *Energy Nexus*, 7, 100122. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100122>
- Ramírez, C. A. S. (2011). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico* (1a ed). Ediciones de la U.
- 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>
- Rodríguez-Miranda, J. P., Gómez, E., Garavito, L., & López, F. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Tecnología y ciencias del agua*, 1(1), 59-68.
- Rojas, R. (2002). *Sistemas de tratamiento de aguas residuales*.
- Rosales, A. G., Rodríguez, C. D., Ballen-Segura, M., Rosales, A. G., Rodríguez, C. D., & Ballen-Segura, M. (2018). Remoción de contaminantes y crecimiento del alga Scenedesmus sp. En aguas residuales de curtiembres, comparación entre células libres e inmovilizadas. *Ingeniería y Ciencia*, 14(28), 11-34. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.14.28.1>
- Salto, 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>
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., Lucio, M. del P. B., & Valencia, S. M. (2016). *Metodología de la Investigación* (Sexta). <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista- Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

- Sevilla, J. M. F. (2014). *Microalgas—Definición y características*.
<https://w3.ual.es/~jfernand/ProcMicro70801207/tema-1---generalidades/1-1-microalgas.html>
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). *Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura*. 26, 347-359.
- Sisman-Aydin, G. (2022). Comparative study on phycoremediation performance of three native microalgae for primary-treated municipal wastewater. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102932. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102932>
- Sonune, A., & Ghate, R. (2004). Developments in wastewater treatment methods. *Desalination*, 167, 55-63. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.06.113>
- Spietz, R. L., Williams, C. M., Rocap, G., & Horner-Devine, M. C. (2015). A Dissolved Oxygen Threshold for Shifts in Bacterial Community Structure in a Seasonally Hypoxic Estuary. *PLOS ONE*, 10(8), e0135731. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135731>
- Toha, J., Soto, M. A., & Contreras, S. (1991). Removal of faecal coliform in high pH ponds using rapid growth alga biomass. *International Journal of Environmental Health Research*, 1(4), 236-239. <https://doi.org/10.1080/09603129109356724>
- Ulloa, V. H. C., & Ramirez, D. A. R. (2019). *Tasa de remoción de coliformes totales y fecales de aguas residuales domésticas por Scenedesmus acutus, en condiciones de laboratorio* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional del Santa.
- 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.
- Wahyuni, E. A. (2015). The Influence of pH Characteristics on the Occurance of Coliform Bacteria in Madura Strait. *Procedia Environmental Sciences*, 23, 130-135. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.020>
- 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>
- Wang, Y., Ho, S.-H., Cheng, C.-L., Guo, W.-Q., Nagarajan, D., Ren, N.-Q., Lee, D.-J., & Chang, J.-S. (2016a). Perspectives on the feasibility of using microalgae for industrial wastewater treatment. *Bioresource Technology*, 222, 485-497. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.106>
- Wang, Y., Ho, S.-H., Cheng, C.-L., Guo, W.-Q., Nagarajan, D., Ren, N.-Q., Lee, D.-J., & Chang, J.-S. (2016b). Perspectives on the feasibility of using microalgae for industrial wastewater treatment. *Bioresource Technology*, 222, 485-497. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.106>
- Whitton, R., Ometto, F., Pidou, M., Jarvis, P., Villa, R., & Jefferson, B. (2015). Microalgae for municipal wastewater nutrient remediation: Mechanisms, reactors and outlook for tertiary treatment. *Environmental Technology Reviews*, 4(1), 133-148. <https://doi.org/10.1080/21622515.2015.1105308>
- Yan, C., Zhang, L., Luo, X., & Zheng, Z. (2013). Effects of various LED light wavelengths and intensities on the performance of purifying synthetic domestic sewage by microalgae at different influent C/N ratios. *Ecological Engineering*, 51, 24-32. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.051>
- 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. Constancia de la obtención de las especies de microalga *Scenedesmus sp.* y *Chlorella sp.*

 **PERÚ** Ministerio de la Producción

 **IMARPE**
INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”
“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”
“Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú”

CONSTANCIA

El laboratorio Continental de Puno del Instituto del Mar del Perú cuenta con el Área de Acuicultura y Cultivos Auxiliares, a solicitud se hace la entrega de cepas de microalgas *Scenedesmus sp.* y *Chlorella sp.* a la Ingeniera Karen Kelly Quispe Quispe, con el objetivo de realizar su proyecto de investigación titulada “ Evaluación de la capacidad depuradora con microalgas, para el tratamiento de aguas residuales domesticas a escala de laboratorio del distrito de Juliaca” para obtener el grado académico de Magister Scientiae en Ingeniería Química mención en seguridad industrial y ambiental.

Se expide la presente constancia a solicitud de la interesada.

Puno, marzo del 2022

Nombre de la cepa: *Scenedesmus sp.*, *Chlorella sp.*
Temperatura de mantenimiento: 17 – 22°C
Cantidad *Scenedesmus sp.*: 500 ml
Cantidad *Chlorella sp.*: 500 ml


INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ
M.Sc. Ing. Glicerio R. Amara Chambi
LABORATORIO CONTINENTAL DE PUNO
AREA DE ACUICULTURA
CIP. 83512


INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ
BLGO. CESAR GAMARRA PERALTA
COORDINADOR DEL LABORATORIO
CONTINENTAL DE PUNO

Anexo 2. Resultados de laboratorio



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



RESULTADOS DE ANALISIS EN CALIDAD DE AGUA

INFORME DE ENSAYO N° 075-2022

I. DATOS DEL SERVICIO

1.1. PROYECTO EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEPURADORA CON MICROALGAS *Scenedesmus sp.* Y *Chlorella sp.* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS A ESCALA DE LABORATORIO DEL DISTRITO DE JULIACA

1.2. SOLICITANTE Karen Kelly Quispe Quispe

1.3. PROCEDENCIA Departamento Puno
Provincia San Román
Distrito Juliaca

II. DATOS DE ENSAYO

2.1. Producto	Agua residual Domestica	
2.2. Fecha de muestreo	03/03/2022	
2.3. Periodo de ensayo	03-09/03/2022	
2.4. Muestreado por	Karen Kelly Quispe Quispe	
2.5. Ubicación/coordenadas	E: 380234	N: 8287073
2.6. Código	M - INICIAL	

III. RESULTADOS

N°	PARAMETRO	UNIDAD	METODO	M - INICIAL
1	Temperatura	°C	SM - 2550 B método de laboratorio de campo	13.8
2	pH	-	SM 4500 - H	7.18
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	SM 2540 D sólidos totales en suspensión secados a 103 – 105°C	170
4	Demanda química de oxígeno	mg/l	SM 5220 C Reflujo cerrado, método titulométrico	1020
5	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	SM 5210 B Prueba de DBO de 5 días	450
6	Coliformes termoloterales	NMP/100ml	SM 9221 B Técnicas estandarizadas de fermentación	1.1 * 10 ⁷

IV. OBSERVACIONES

(*) Las muestras se analizaron tal como se recibió

Juliaca, 18 de abril del 2022

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
Ing. Javier A. Gólorquez Gandarillas
C.I.M. 126366
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FICP



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



RESULTADOS DE ANALISIS EN CALIDAD DE AGUA

INFORME DE ENSAYO N° 076-2022

I. DATOS DEL SERVICIO

1.1. PROYECTO EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEPURADORA CON MICROALGAS *Scenedesmus sp.* Y *Chlorella sp.* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS A ESCALA DE LABORATORIO DEL DISTRITO DE JULIACA

1.2. SOLICITANTE Karen Kelly Quispe Quispe

II. DATOS DE ENSAYO

2.1. Fecha de muestreo 18/03/2022

2.2. Periodo de ensayo 18-23/03/2022

III. RESULTADOS

N°	PARAMETRO	UNIDAD	5% (S)	10% (S)	15% (S)
1	Temperatura	°C	18.7	19.4	19.8
2	pH	-	8.69	8.37	8.78
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	114.00	86.00	84.00
4	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	405	393.2	284.1
5	Demanda química de oxígeno	mg/l	960	800	640
6	Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	1.5×10^5	2.4×10^3	240

N°	PARAMETRO	UNIDAD	20% (S)	25% (S)	30% (S)
1	Temperatura	°C	19.6	19.2	19.4
2	pH	-	9.79	9.59	9.97
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	82.00	78.00	72.00
4	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	258.5	265.3	345.2
5	Demanda química de oxígeno	mg/l	548.30	556.17	750.00
6	Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	90	110	4300

IV. OBSERVACIONES

(*) Las muestras se analizaron tal como se recibió

Juliaca, 18 de abril del 2022

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
Ing. Javier A. Rodríguez Gandarillas
C.I.F. 126368
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FICP



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



RESULTADOS DE ANALISIS EN CALIDAD DE AGUA

INFORME DE ENSAYO N° 077-2022

I. DATOS DEL SERVICIO

1.1. PROYECTO EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEPURADORA CON MICROALGAS *Scenedesmus sp.* Y *Chlorella sp.* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS A ESCALA DE LABORATORIO DEL DISTRITO DE JULIACA

1.2. SOLICITANTE Karen Kelly Quispe Quispe

II. DATOS DE ENSAYO

2.1. Fecha de muestreo 20/03/2022
2.2. Periodo de ensayo 20-25/03/2022

III. RESULTADOS

N°	PARAMETRO	UNIDAD	5% (S)	10% (S)	15% (S)
1	Temperatura	°C	20.3	20.3	19.9
2	pH	-	9.19	8.55	9.68
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	98	87	72
4	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	351.7	286.81	142.02
5	Demanda química de oxígeno	mg/l	800	640	380
6	Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	1.1×10^4	1500	230

N°	PARAMETRO	UNIDAD	20% (S)	25% (S)	30% (S)
1	Temperatura	°C	19.2	19.7	19.2
2	pH	-	9.49	9.94	9.81
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	64	70	83
4	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	127.8	250.99	258.19
5	Demanda química de oxígeno	mg/l	320	402	483
6	Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	40	90	110

IV. OBSERVACIONES

(*) Las muestras se analizaron tal como se recibió

Juliaca, 18 de abril del 2022

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
Ing. Javier A. Polorquez Gandarillas
C.I.V. 126348
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FICP



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



RESULTADOS DE ANALISIS EN CALIDAD DE AGUA

INFORME DE ENSAYO N° 078-2022

I. DATOS DEL SERVICIO

1.1. PROYECTO EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEPURADORA CON MICROALGAS *Scenedesmus sp.* Y *Chlorella sp.* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS A ESCALA DE LABORATORIO DEL DISTRITO DE JULIACA

1.2. SOLICITANTE Karen Kelly Quispe Quispe

II. DATOS DE ENSAYO

2.1. Fecha de muestreo 22/03/2022
2.2. Periodo de ensayo 22 - 27/03/2022

III. RESULTADOS

N°	PARAMETRO	UNIDAD	5% (S)	10% (S)	15% (S)
1	Temperatura	°C	18.5	18.9	18.5
2	pH	-	8.98	9.68	9.76
3	Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	70.48	61.96	58.47
4	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	297.8	278.5	245.1
5	Demanda química de oxígeno	mg/l	638.28	570.48	447.48
6	Coliformes termoloterales	NMP/100ml	2400	1100	150

N°	PARAMETRO	UNIDAD	20% (S)	25% (S)	30% (S)
1	Temperatura	°C	19.1	19.1	19.7
2	pH	-	9.98	9.65	9.87
3	Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	47.48	49.32	52.00
4	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	129.3	142.5	167.8
5	Demanda química de oxígeno	mg/l	288.47	261.96	317.25
6	Coliformes termoloterales	NMP/100ml	23	43	46

IV. OBSERVACIONES

(*) Las muestras se analizaron tal como se recibió

Juliaca, 18 de abril del 2022

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
Ing. Javier A. Górriz Garza
C.I.U. 126308
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FICP



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



RESULTADOS DE ANALISIS EN CALIDAD DE AGUA

INFORME DE ENSAYO N° 079-2022

I. DATOS DEL SERVICIO

1.1. PROYECTO EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEPURADORA CON MICROALGAS *Scenedesmus sp.* Y *Chlorella sp.* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS A ESCALA DE LABORATORIO DEL DISTRITO DE JULIACA

1.2. SOLICITANTE Karen Kelly Quispe Quispe

II. DATOS DE ENSAYO

2.1. Fecha de muestreo 24/03/2022

2.2. Periodo de ensayo 24 - 29/03/2022

III. RESULTADOS

N°	PARAMETRO	UNIDAD	5% (S)	10% (S)	15% (S)
1	Temperatura	°C	16.5	16.9	17.2
2	pH	-	8.94	9.97	9.84
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	58.42	47.21	28.31
4	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	162.4	121.8	85.4
5	Demanda química de oxígeno	mg/l	233.51	215	193.7
6	Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	110	75	40

N°	PARAMETRO	UNIDAD	20% (S)	25% (S)	30% (S)
1	Temperatura	°C	17.1	16.9	17.1
2	pH	-	9.83	9.86	9.82
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	23.15	35.21	61.37
4	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	95.3	111.2	118.8
5	Demanda química de oxígeno	mg/l	181	206	215
6	Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	< 3	< 3	4

IV. OBSERVACIONES

(*) Las muestras se analizaron tal como se recibió

Juliaca, 18 de abril del 2022

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
Ing. Javier A. Polorouse Gandarillas
C.I.N. 1263668
Jefe Laboratorio Calidad Ambiental - FICP



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



RESULTADOS DE ANALISIS EN CALIDAD DE AGUA

INFORME DE ENSAYO N° 080-2022

I. DATOS DEL SERVICIO

1.1. PROYECTO EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEPURADORA CON MICROALGAS *Scenedesmus sp.* Y *Chlorella sp.* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS A ESCALA DE LABORATORIO DEL DISTRITO DE JULIACA

1.2. SOLICITANTE Karen Kelly Quispe Quispe

II. DATOS DE ENSAYO

2.1. Fecha de muestreo 26/03/2022
2.2. Periodo de ensayo 26 - 31/03/2022

III. RESULTADOS

N°	PARAMETRO	UNIDAD	5% (S)	10% (S)	15% (S)
1	Temperatura	°C	16	17.8	18.1
2	pH	-	8.93	9.1	9.53
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	67.14	62.28	45.23
4	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	249.2	222.8	179
5	Demanda química de oxígeno	mg/l	478.18	449.2	328.35
6	Coliformes termoloteriales	NMP/100ml	1100	900	430

N°	PARAMETRO	UNIDAD	20% (S)	25% (S)	30% (S)
1	Temperatura	°C	18.6	18.7	18.9
2	pH	-	9.67	9.77	9.66
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	38.21	59.32	69.32
4	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	156.3	193.5	200
5	Demanda química de oxígeno	mg/l	286.7	397.17	406.3
6	Coliformes termoloteriales	NMP/100ml	150	240	400

IV. OBSERVACIONES

(*) Las muestras se analizaron tal como se recibió

Juliaca, 18 de abril del 2022

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
Ing. Javier A. Bolorquez Gandarillas
C.I.M. 126368
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FICP



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



RESULTADOS DE ANALISIS EN CALIDAD DE AGUA

INFORME DE ENSAYO N° 081-2022

I. DATOS DEL SERVICIO

1.1. PROYECTO EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEPURADORA CON MICROALGAS *Scenedesmus sp.* Y *Chlorella sp.* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS A ESCALA DE LABORATORIO DEL DISTRITO DE JULIACA

1.2. SOLICITANTE Karen Kelly Quispe Quispe

II. DATOS DE ENSAYO

2.1. Fecha de muestreo 18/03/2022
2.2. Periodo de ensayo 18 - 23/03/2022

III. RESULTADOS

N°	PARAMETRO	UNIDAD	5% (C)	10% (C)	15% (C)
1	Temperatura	°C	20.7	21.8	22.3
2	pH	-	8.89	9.96	9.91
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	132	116	95
4	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	447.7	405.2	323.4
5	Demanda química de oxígeno	mg/l	987.1	864.7	680
6	Coliformes termoloterales	NMP/100ml	2.4×10^5	1.1×10^3	460

N°	PARAMETRO	UNIDAD	20% (C)	25% (C)	30% (C)
1	Temperatura	°C	21	20.6	21.9
2	pH	-	8.87	9.76	9.5
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	87	75	52
4	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	295.2	301.3	379.5
5	Demanda química de oxígeno	mg/l	579.2	601.3	787.3
6	Coliformes termoloterales	NMP/100ml	150	240	4600

IV. OBSERVACIONES

(*) Las muestras se analizaron tal como se recibió

Juliaca, 18 de abril del 2022

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
Ing. Javier A. Górguez Gandarillas
C.I.N. 126368
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FICP



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



RESULTADOS DE ANALISIS EN CALIDAD DE AGUA

INFORME DE ENSAYO N° 082-2022

I. DATOS DEL SERVICIO

1.1. PROYECTO EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEPURADORA CON MICROALGAS *Scenedesmus sp.* Y *Chlorella sp.* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS A ESCALA DE LABORATORIO DEL DISTRITO DE JULIACA

1.2. SOLICITANTE Karen Kelly Quispe Quispe

II. DATOS DE ENSAYO

2.1. Fecha de muestreo 18/03/2022
2.2. Periodo de ensayo 20 - 25/03/2022

III. RESULTADOS

Nº	PARAMETRO	UNIDAD	5% (C)	10% (C)	15% (C)
1	Temperatura	°C	22	21	22.6
2	pH	-	8.44	9.57	8.77
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	102	95	81
4	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	356.46	248.51	123.48
5	Demanda química de oxígeno	mg/l	840	704	493
6	Coliformes termoloteriales	NMP/100ml	2.3×10^4	2400	460

Nº	PARAMETRO	UNIDAD	20% (C)	25% (C)	30% (C)
1	Temperatura	°C	22.5	22.4	20
2	pH	-	9.64	9.93	9.98
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	72	81	93
4	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	115.34	247.16	298.14
5	Demanda química de oxígeno	mg/l	408	460	540
6	Coliformes termoloteriales	NMP/100ml	93	110	150

IV. OBSERVACIONES

(*) Las muestras se analizaron tal como se recibió

Juliaca, 18 de abril del 2022

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
Ing. Javier A. Golorque Gandarillas
C.I. 126968
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FICP



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



RESULTADOS DE ANALISIS EN CALIDAD DE AGUA

INFORME DE ENSAYO N° 083-2022

I. DATOS DEL SERVICIO

1.1. PROYECTO EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEPURADORA CON MICROALGAS *Scenedesmus sp.* Y *Chlorella sp.* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS A ESCALA DE LABORATORIO DEL DISTRITO DE JULIACA

1.2. SOLICITANTE Karen Kelly Quispe Quispe

II. DATOS DE ENSAYO

2.1. Fecha de muestreo 22/03/2022

2.2. Periodo de ensayo 22 - 27/03/2022

III. RESULTADOS

N°	PARAMETRO	UNIDAD	5% (C)	10% (C)	15% (C)
1	Temperatura	°C	21.1	19.5	21
2	pH	-	8.49	8.41	9.75
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	78	72.4	59
4	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	310.5	299.1	248.5
5	Demanda química de oxígeno	mg/l	698.15	652.05	530.33
6	Coliformes termoloterales	NMP/100ml	2400	1500	900

N°	PARAMETRO	UNIDAD	20% (C)	25% (C)	30% (C)
1	Temperatura	°C	21.5	22	20.6
2	pH	-	9.93	9.85	9.74
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	45	48.6	62.8
4	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	168.1	199.8	201
5	Demanda química de oxígeno	mg/l	357.87	374.71	440.02
6	Coliformes termoloterales	NMP/100ml	230	430	900

IV. OBSERVACIONES

(*) Las muestras se analizaron tal como se recibió

Juliaca, 18 de abril del 2022

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
Ing. Javier A. Gotorquez Gandarillas
C.I.V. 124366
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FICP



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



RESULTADOS DE ANALISIS EN CALIDAD DE AGUA

INFORME DE ENSAYO N° 084-2022

I. DATOS DEL SERVICIO

1.1. PROYECTO EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEPURADORA CON MICROALGAS *Scenedesmus sp.* Y *Chlorella sp.* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS A ESCALA DE LABORATORIO DEL DISTRITO DE JULIACA

1.2. SOLICITANTE Karen Kelly Quispe Quispe

II. DATOS DE ENSAYO

2.1. Fecha de muestreo 24/03/2022
2.2. Periodo de ensayo 24 - 29/03/2022

III. RESULTADOS

N°	PARAMETRO	UNIDAD	5% (C)	10% (C)	15% (C)
1	Temperatura	°C	17.8	17.9	17.6
2	pH	-	9.31	9.28	9.65
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	67.25	53.41	32.19
4	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	195.9	128.4	115.15
5	Demanda química de oxígeno	mg/l	297.98	217.22	203.11
6	Coliformes termoloterales	NMP/100ml	150	90	93

N°	PARAMETRO	UNIDAD	20% (C)	25% (C)	30% (C)
1	Temperatura	°C	18.2	18.2	17.5
2	pH	-	9.51	9.76	9.44
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	39.28	98.37	51.41
4	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	100.3	122.3	159
5	Demanda química de oxígeno	mg/l	196.05	246	277.15
6	Coliformes termoloterales	NMP/100ml	< 3	< 3	9

IV. OBSERVACIONES

(*) Las muestras se analizaron tal como se recibió

Juliaca, 18 de abril del 2022

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
Ing. Javier A. Gojorquez Gandarillas
CIV. 126368
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FICP



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



RESULTADOS DE ANALISIS EN CALIDAD DE AGUA

INFORME DE ENSAYO N° 085-2022

I. DATOS DEL SERVICIO

1.1. PROYECTO EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEPURADORA CON MICROALGAS *Scenedesmus sp.* Y *Chlorella sp.* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS A ESCALA DE LABORATORIO DEL DISTRITO DE JULIACA

1.2. SOLICITANTE Karen Kelly Quispe Quispe

II. DATOS DE ENSAYO

2.1. Fecha de muestreo 26/03/2022
2.2. Periodo de ensayo 26 - 31/03/2022

III. RESULTADOS

N°	PARAMETRO	UNIDAD	5% (C)	10% (C)	15% (C)
1	Temperatura	°C	21.8	19.7	19.1
2	pH	-	9.34	9.62	9.6
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	73.01	69.14	53.22
4	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	269.7	250.7	190.3
5	Demanda química de oxígeno	mg/l	425.81	346.83	346.22
6	Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	2400	1500	930

N°	PARAMETRO	UNIDAD	20% (C)	25% (C)	30% (C)
1	Temperatura	°C	21.2	19.4	18.3
2	pH	-	9.55	9.56	9.31
3	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	42.18	68.51	79.27
4	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	172	202.3	215.4
5	Demanda química de oxígeno	mg/l	258.26	344.85	367.88
6	Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	400	430	750

IV. OBSERVACIONES

(*) Las muestras se analizaron tal como se recibió

Juliaca, 18 de abril del 2022

UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
Ing. Javier A. Gotorquez Gandarillas
CI. 126368
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FICP

Anexo 3. Evidencias fotográficas



Figura 22. Toma de muestras iniciales



Figura 23. Laboratorio Continental, area de acuicultura y cultivos auxiliares IMARPE-PUNO



Figura 24. Cepas de microalgas *Chlorella* sp y *Scenedesmus* sp.



Figura 25. Dosificación de aguas residuales con microalgas con aguas residuales

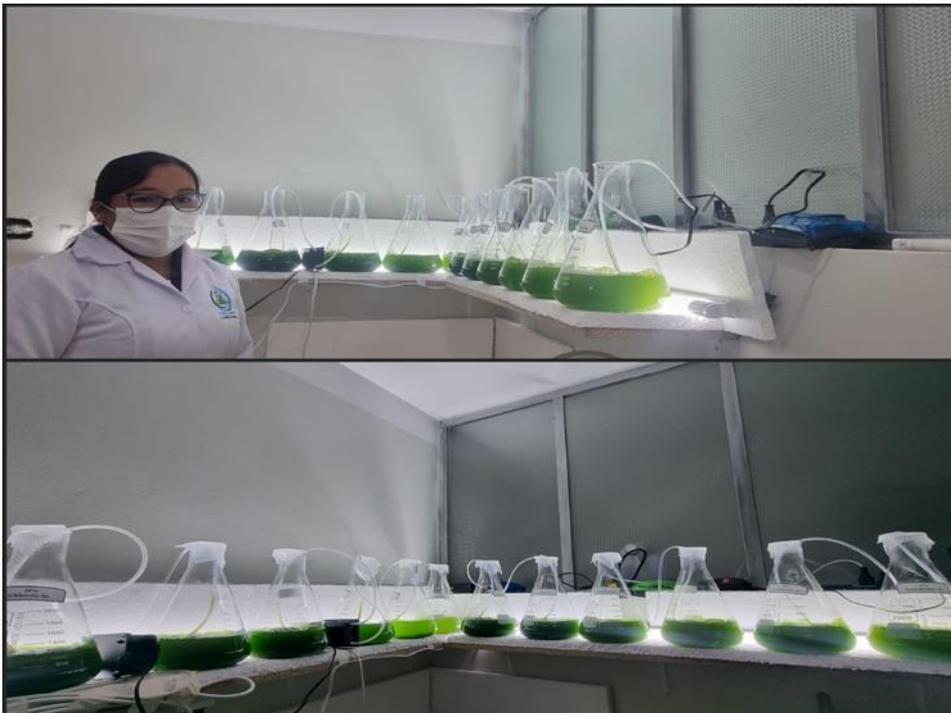


Figura 26. Acondicionamiento de microalgas



Figura 27. Conteo celular en microscopio



Figura 28. Chlorella sp y Scenedesmus sp



Figura 29. Muestras decantadas para el analisis respectivo



Figura 30. Análisis de aguas residuales tratadas

Anexo 4. Puntos porcentuales de la distribución F

$\nu_1 \backslash \nu_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
2	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
3	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
4	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
5	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
6	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
7	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
8	5.52	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
9	5.12	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.55	1.43	1.35	1.25



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Karen Kelly Quispe Quispe,
identificado con DNI 44926129 en mi condición de egresado de:

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

Maestría en Ciencias Ingeniería Química

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

“ EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEPURADORA CON MICROALGAS SCENEDESMUS
SP. Y CHLORELLA SP. PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS
A ESCALA DE LABORATORIO DEL DISTRITO DE JULIACA ”

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 22 de enero del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

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

Por el presente documento, Yo Karen Kelly Quispe Quispe
identificado con DNI 44926129 en mi condición de egresado de:

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

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

“ EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEPURADORA CON MICROALGAS SCENEDESMUS
SP. Y CHLORELLA SP. PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS
A ESCALA DE LABORATORIO DEL DISTRITO DE JULIACA ”

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 22 de enero del 2024


FIRMA (obligatoria)

