

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA



Evaluación de la remoción de Coliformes totales y fecales por la microalga
Arthrospira platensis (Nordstedt) presentes en las aguas del río
Huasahuasi-Tarma

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORA

Rocío del Pilar Pizarro Huaynate

ASESOR

Roger Manuel Mestas Valero

Tarma, Perú

2022

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos del autor

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos del asesor

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (obligatorio)	

Datos del Jurado

Datos del presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos del segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos del tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma (Normal ISO 639-3)	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

*Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesoro).



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 027 - 2023/UCSS/FIA/DI

Siendo las 10:00 a.m. del día 28 de febrero de 2023 a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------|
| 1. Segundo Octavio Zegarra Aliaga | presidente |
| 2. Mario Antonio Anaya Raymundo | primer miembro |
| 3. Armando Chiclla Salazar | segundo miembro |
| 4. Roger Manuel Mestas Valero | asesor |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada **Evaluación de la remoción de Coliformes totales y fecales por la microalga *Arthrospira platensis* (Nordstedt) presentes en las aguas del río Huasahuasi-Tarma**, que presenta la bachiller en Ciencias Ambientales, **Rocío del Pilar Pizarro Huaynate**, cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el Jurado acuerda:

APROBAR

DESAPROBAR


La tesis, con el calificativo de **BUENA** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare **EXPEDITA** para conferirle el **TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL**.

Lima, 28 de febrero de 2023.


Segundo Octavio Zegarra Aliaga
PRESIDENTE


Mario Antonio Anaya Raymundo
1° MIEMBRO


Armando Chiclla Salazar
2° MIEMBRO


Roger Manuel Mestas Valeros
ASESOR

Anexo 2

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE **TESIS** / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO

Ciudad, Tarma 27 de Octubre de 2023

Señor(a),
Wilfredo Mendoza Caballero
Jefe del Departamento de Investigación
Facultad de Ingeniería Agraria

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis** / informe académico/ trabajo de investigación/ trabajo de suficiencia profesional, bajo mi asesoría, con título: Evaluación de la remoción de Coliformes totales y fecales por la microalga *Arthrospira platensis* (Nordstedt) presentes en las aguas del río Huasahuasi-Tarma, presentado por Rocío del Pilar Pizarro Huaynate con código de estudiante 2011101049 y DNI 72523143 para optar el título profesional/grado académico de Ingeniería Ambiental ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 0 %** (poner el valor del porcentaje).* Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



Firma del Asesor (a)
DNI N°: 23852285
ORCID: 0000-0002-5097-9988
Facultad de Ingeniería Agraria - UCSS

* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

DEDICATORIA

A mis padres Washington y Elida que con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido culminar una etapa más en mi vida. Quienes me inculcaron el ejemplo de perseverancia y valentía, de no temer de las adversidades porque Dios está conmigo.

A mi hermana por su cariño y comprensión. A toda mi familia que me tuvo presente en sus oraciones y por todos sus consejos que me ayudaron en todo este proceso de formación profesional.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos que de forma incondicional me apoyaron en mis días difíciles y me ayudaron a levantarme con más ganas. Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades que lideran la Universidad Católica Sedes Sapientiae por confiar en mí y abrirme las puertas y permitirme estudiar en su casa de estudios.

Finalmente agradecer a todos mis maestros quienes estuvieron presentes en toda mi formación académica universitaria y con sus enseñanzas me ayudaron a terminar la etapa universitaria con bien.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE APÉNDICES	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Bases teóricas especializadas	9
1.2.1 Contaminación del agua	9
1.2.2 <i>Arthrospira platensis</i>	13
1.2.3 Río Huasahuasi	18
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	20
2.1. Diseño de investigación	20
2.1.1 Lugar y Fecha	20
2.1.2 Descripción del experimento.....	21
2.1.3 Tratamientos.....	24
2.1.4 Unidades experimentales.....	25
2.1.5 Identificación de variables y su mensuración.....	25
2.1.6 Diseño estadístico del experimento.....	26
2.1.7 Análisis estadístico de datos.....	27
2.2. Materiales	27
2.2.1. Material biológico.....	27
CAPÍTULO III: RESULTADOS	29
3.1. Estudio de los parámetros de crecimiento de la biomasa de la microalga <i>A. platensis</i>	29
3.2. Características fisicoquímicas y microbiológicas iniciales presentes en las aguas del río Huasahuasi	30

3.3. Análisis de la variación de los parámetros físico-químico y microbiológico de las muestras de agua del río Huasahuasi tratadas con <i>A. platensis</i>	31
3.4. Evaluación del efecto de la biomasa de <i>A. platensis</i> en la remoción de coliformes fecales y totales	43
3.5. Influencia de los periodos de evaluación de los tratamientos en la remoción de coliformes fecales	46
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES	47
4.1. Parámetros físico-químico y microbiológico de las muestras de agua del río Huasahuasi tratadas con la <i>A. platensis</i>	47
4.2. Efecto de la biomasa de <i>Arthrospira platensis</i> en la remoción de coliformes fecales y totales	48
4.3. Influencia de los periodos de exposición de los tratamientos en la remoción de coliformes fecales y totales	50
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	52
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	54
REFERENCIAS	55
TERMINOLOGÍA	62
APÉNDICES	64

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Tratamiento de la muestra del río Huasahuasi con la aplicación biomasa de A. platensis</i>	25
Tabla 2. <i>Variables en estudio y metodologías empleadas para su análisis</i>	26
Tabla 3. <i>Valores de la cinética de crecimiento de A. platensis</i>	30
Tabla 4. <i>Valores promedio de los parámetros físico-químicos y microbiológicos de las muestras de agua del río Huasahuasi</i>	31
Tabla 5. <i>Valores obtenidos de la conductividad eléctrica de las muestras de agua del río Huasahuasi tratados con A. platensis</i>	32
Tabla 6. <i>Valores obtenidos del fósforo total de las aguas del río Huasahuasi después de los tratamientos con A. platensis</i>	34
Tabla 7. <i>Valores obtenidos del nitrógeno total de las aguas del río Huasahuasi después de los tratamientos con A. platensis</i>	36
Tabla 8. <i>Valores obtenidos de pH de las aguas del río Huasahuasi después de los tratamientos con A. platensis</i>	38
Tabla 9. <i>Valores obtenidos de SST de las aguas del río Huasahuasi después de los tratamientos con A. platensis</i>	40
Tabla 10. <i>Valores obtenidos de OD de las aguas del río Huasahuasi después de los tratamientos con A. platensis</i>	42
Tabla 11. <i>Valores de la remoción de coliformes fecales y totales por efecto de la biomasa A. platensis</i>	44
Tabla 12. <i>Crecimiento escalar de la microalga A. platensis, mediante lecturas diarias de concentración de clorofila “a”</i>	64
Tabla 13. <i>ANOVA de la conductividad y los tratamientos</i>	65

Tabla 14. <i>Prueba HSD de Tukey de la conductividad y los tratamientos</i>	66
Tabla 15. <i>ANOVA del fósforo total y los tratamientos</i>	67
Tabla 16. <i>Prueba HSD de Tukey del fósforo total y los tratamientos</i>	68
Tabla 17. <i>ANOVA del nitrógeno total y los tratamientos</i>	69
Tabla 18. <i>Prueba HSD de Tukey del nitrógeno total y los tratamientos</i>	70
Tabla 19. <i>ANOVA del ph y los tratamientos</i>	71
Tabla 20. <i>Prueba HSD de Tukey del pH y los tratamientos</i>	72
Tabla 21. <i>ANOVA de SST y los tratamientos</i>	73
Tabla 22. <i>Prueba HSD de Tukey de SST y los tratamientos</i>	74
Tabla 23. <i>ANOVA de OD y los tratamientos</i>	75
Tabla 24. <i>Prueba HSD de Tukey del OD y los tratamientos</i>	76
Tabla 25. <i>ANOVA del porcentaje de remoción de los coliformes fecales y los tratamientos</i>	77
Tabla 26. <i>Prueba HSD de Tukey del porcentaje de remoción de coliformes fecales y los tratamientos</i>	78
Tabla 27. <i>ANOVA del porcentaje de remoción de los coliformes totales y los tratamientos</i>	79
Tabla 28. <i>Prueba HSD de Tukey del porcentaje de remoción de coliformes totales y los tratamientos</i>	80
Tabla 29. <i>ANOVA de los periodos de exposición a A, platensis</i>	81

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Microfotografía de barrido de <i>E. coli</i> .	12
<i>Figura 2.</i> Ubicación de la zona de muestreo(P1) en el río Huasahuasi, Tarma.	21
<i>Figura 3.</i> Curva de crecimiento de <i>A. platensis</i> .	29
<i>Figura 4.</i> Resultados de la conductividad eléctrica de la muestra de agua del río Huasahuasi tratadas con <i>A. platensis</i>	33
<i>Figura 5.</i> Resultados del fósforo total de la muestra de agua del río Huasahuasi tratadas con <i>A. platensis</i>	35
<i>Figura 6.</i> Resultados del nitrógeno total de la muestra de agua del río Huasahuasi tratadas con <i>A. platensis</i>	37
<i>Figura 7.</i> Resultados del pH de la muestra de agua del río Huasahuasi tratadas con <i>A. platensis</i>	39
<i>Figura 8.</i> Resultados de los SST de la muestra de agua del río Huasahuasi tratadas con <i>A. platensis</i> .	41
<i>Figura 9.</i> Resultados de los valores de OD de la muestra de agua del río Huasahuasi tratadas con <i>A. platensis</i>	43
<i>Figura 10.</i> Remoción de los coliformes fecales por <i>A. platensis</i>	45
<i>Figura 11.</i> Remoción de los coliformes totales por <i>A. platensis</i>	45
<i>Figura 12.</i> Remoción de los coliformes totales por <i>A. platensis</i>	46

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1: Crecimiento escalar de microalga <i>A. platensis</i>	64
Apéndice 2: Análisis de la varianza de la conductividad eléctrica y los tratamientos	65
Apéndice 3: Prueba de Tukey de la conductividad eléctrica y los tratamientos	66
Apéndice 4: Análisis de la varianza del fósforo total y los tratamientos	67
Apéndice 5: Prueba de Tukey del fósforo total y los tratamientos	68
Apéndice 6: Análisis de la varianza del nitrógeno total y los tratamientos	69
Apéndice 7: Prueba de Tukey del nitrógeno total y los tratamientos	70
Apéndice 8: Análisis de la varianza del pH y los tratamientos	71
Apéndice 9: Prueba de Tukey del pH y los tratamientos	72
Apéndice 10: Análisis de la varianza de SST y los tratamientos	73
Apéndice 11: Prueba de Tukey de SST y los tratamientos	74
Apéndice 12: Análisis de la varianza de oxígeno disuelto y los tratamientos	75
Apéndice 13: Prueba de Tukey de oxígeno disuelto y los tratamientos	76
Apéndice 14: Análisis de la varianza del porcentaje de remoción de coliformes fecales y los tratamientos	77
Apéndice 15: Prueba de Tukey del porcentaje de remoción de coliformes fecales y los tratamientos	78
Apéndice 16: Análisis de la varianza del porcentaje de remoción de coliformes totales y los tratamientos	79
Apéndice 17: Prueba de Tukey del porcentaje de remoción de coliformes totales y los tratamientos	80
Apéndice 18: Análisis de la varianza de los periodos de exposición (2 y 10 días)	81
Apéndice 19: Reporte de análisis de DBO de muestra de agua de río Huasahuasi	82
Apéndice 20: Reporte de análisis de coliformes de muestra de agua de río Huasahuasi	83
Apéndice 21: Dossier fotográfico	84

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia de la microalga *Arthrospira platensis* (Nordstedt) en la remoción de coliformes totales y fecales presentes en las aguas del río Huasahuasi-Tarma. Para ello, se realizó el estudio de los parámetros de crecimiento de *A. platensis*, obteniendo la biomasa para el desarrollo experimental. Además, se determinaron los parámetros físico-químicos (conductividad eléctrica, fósforo total, nitrógeno total, pH, sólidos suspendidos totales y oxígeno disuelto); así como, los parámetros microbiológicos (coliformes fecales y totales) de la muestra de agua del río antes y después del tratamiento con biomasa viva de *A. platensis*. Fueron considerados seis tratamientos que contenían 500 mL de agua del río Huasahuasi, al cual se le adicionaron diferentes concentraciones de biomasa algal (1,0; 2,0; y 4,0 g/L). Las evaluaciones se realizaron en dos periodos (2 y 10 días). Los resultados demostraron la eficacia de *A. platensis* en la reducción de las concentraciones de los principales parámetros generadores de contaminación del río Huasahuasi, logrando el cumplimiento del 87,5 % de los parámetros con respecto al ECA para aguas superficiales después del tratamiento con la microalga *A. platensis* para la conductividad eléctrica, DBO₅, fósforo total, nitrógeno total, SST, OD y coliformes fecales. Así mismo, evidenció un efecto positivo en la eliminación de las coliformes fecales con el aumento de la biomasa algal, logrando registrar una remoción máxima de 99,8 % en T6. Recomendándose que la investigación sea aplicada a campo con la finalidad de recuperar las aguas contaminadas del río Huasahuasi por el bajo costo de la tecnología usada.

Palabras clave: río Huasahuasi, *Arthrospira platensis*, remoción, coliformes fecales y totales.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the influence of the microalgae *Arthrospira platensis* (Nordstedt) in the removal of total and fecal coliforms present in the waters of the Huasahuasi-Tarma river. For this, the study of the growth parameters of *A. platensis* was carried out, obtaining the biomass for the experimental development. In addition, the physical-chemical parameters (electrical conductivity, total phosphorus, total nitrogen, pH, total suspended solids and dissolved oxygen) were determined; as well as the microbiological parameters (faecal and total coliforms) of the river water sample before and after treatment with live biomass of *A. platensis*. Six treatments were considered that contained 500 mL of water from the Huasahuasi river, to which different concentrations of algal biomass were added (1,0; 2,0; and 4,0 g/L). The evaluations were carried out in two periods (2 and 10 days). The results demonstrate the efficacy of *A. platensis* in reducing the concentrations of the main pollution-generating parameters of the Huasahuasi river, achieving 87,5 % compliance with the parameters with respect to the ECA for surface waters after treatment with the microalgae. *A. platensis* for electrical conductivity, BOD₅, total phosphorus, total nitrogen, TSS, DO, and fecal coliforms. In himself, he evidenced a positive effect on the elimination of fecal coliforms with the increase in algal biomass, managing to register a maximum removal of 99,8 % in T6. Recommending that the research be applied to the field in order to recover the polluted waters of the Huasahuasi river due to the low cost of the technology used.

Key words: Huashuasi river, *Arthrospira platensis*, removal, fecal and total coliforms

INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso vital y es fundamental para satisfacer la necesidad de una todos los organismos vivos, siendo necesaria preservar su calidad de diversas amenazas contaminantes. La contaminación de las aguas es generada por muchas actividades, destacándose las agrícolas y ganaderas; así como, los vertidos de aguas residuales domésticos y urbanos, que conllevan una fuente de contaminación fecal de las fuentes de aguas superficiales y representan un incremento en el riesgo de enfermedades (Bautista, 2003).

El distrito de Huasahuasi se encuentra ubicada a 2751 msnm y cuenta con una población de más de 10 000 habitantes, estas personas que se ubican en áreas urbanas y rurales no cuentan con un sistema de tratamiento y surtimiento de agua de calidad. Uno de las preocupaciones que tiene el poblador local y las autoridades es la gran variedad de microorganismos patógenos que pueden contener estas aguas residuales y los efectos sobre la salud humana. El río Huasahuasi es el principal río que cruza el territorio huasahuasino y se conecta finalmente en río Tarma y en él discurren efluentes con aguas residuales domésticas. Según el Autoridad Nacional del Agua [ANA] (2011), las causas que afectan directamente a la calidad de los cuerpos naturales de agua en el río Tarma son los efluentes de aguas residuales municipales y domésticas sin previo tratamiento.

Frente a los riesgos que acarrea la presencia de enterobacterias en los cuerpos de agua y el impacto que origina en la salud humana, es pertinente realizar la evaluación de la remoción de coliformes totales y fecales presentes en las aguas del río Huasahuasi.

Se han generado diversas tecnologías de tratamiento que solucionen la contaminación y produzcan la reutilización de las aguas, siendo los tratamientos de tipo biológicos los que han sido más eficientes sobre otros sistemas; además, son amigables con la naturaleza. Además, existen microorganismos como las microalgas que, por la actividad fotosintética,

son capaces de tolerar contaminantes de las aguas residuales reduciéndolos y sin generar subproductos tóxicos (Hernández-Pérez y Labbé, 2014).

El uso de microalgas para el tratamiento de aguas residuales domésticas es de antigua data, siendo los géneros microalgales.: *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Nannochloris* y *Arthrospira* los más estudiados en esta actividad biorremediadora (Hernández-Pérez y Labbé, 2014). La microalga *Arthrospira platensis* es una opción en el tratamiento biológico de las aguas residuales pues tiene la facilidad de bioadsorber y biotransformar nutrientes; además, demuestra que las variaciones de pH favorecen la eliminación de enterobacterias en aguas (Rodríguez y Triana, 2006), es por ello que el objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia de la microalga *Arthrospira platensis* en la remoción de coliformes totales y fecales presentes en las aguas del río Huasahuasi-Tarma, buscando aportar conocimientos como una alternativa potencial para las prácticas de tratamiento de cuerpos de aguas en diversas localidades del Perú.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto de la microalga *Arthrospira platensis* (Nordstedt) en la remoción de coliformes totales y fecales presentes en las aguas del río Huasahuasi-Tarma

Objetivos específicos

- Realizar el estudio de los parámetros de crecimiento de la microalga *Arthrospira platensis*.
- Determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas presenta las aguas del río Huasahuasi antes y después de los tratamientos con *Arthrospira platensis* (Nordstedt).
- Estudiar el efecto que tiene la biomasa de *Arthrospira platensis* (Nordstedt) en la remoción de coliformes totales y fecales presentes en las aguas del río Huasahuasi.
- Evaluar el efecto de los periodos de evaluación de los tratamientos en la remoción de coliformes totales y fecales presentes en las aguas del río Huasahuasi.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Internacionales

Delanka-Pedige *et al.* (2019) realizaron una investigación cuyo objetivo fue comparar la capacidad de reducción de patógenos de *Galdieria sulphuraria* con la de un sistema tradicional de tratamiento de aguas residuales existente que podría eliminar al mismo tiempo nutrientes y patógenos. Las muestras algales fueron recolectadas de un sistema de tratamiento de agua de la localidad de Las Cruces, Nuevo México-EE.UU. El sistema de algas a escala piloto empleó *G. sulfuraria*, un extremófilo que florece a un pH de 4,0 y soporta temperaturas de hasta 50 °C. La cuantificación de las colonias de coliformes fue por la técnica de filtración de membrana, mientras que la cuantificación de bacterias putativas fue realizada por la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR). Los resultados mostraron una reducción de $2,3 \times 10^7$ UFC/100 mL a 3,3 unidades logarítmicas. Los resultados del análisis de PCR confirmaron la eliminación del 98 % de las bacterias totales en las muestras tratadas con las microalgas. Los autores concluyeron que el sistema de tratamiento de aguas residuales utilizando el alga extremófila *Galdieria sulfuraria*, puede superar a la comunidad bacteriana y reducir los niveles bacterianos en el efluente.

Hussein *et al.* (2018) realizaron un estudio que tuvo como objetivo investigar el efecto de los compuestos bioactivos crudos extraídos de *Chlorella vulgaris* contra algunos efectos negativos de bacterias patógenas gram positivas. Para realizar esta investigación tomaron muestras de agua contaminada recolectada del riachuelo Al-Yahodiyah en la ciudad de Hillah, Irak, de donde fue aislada la microalga. Para determinar la actividad antibacteriana fue usado el método de difusión en placas de agar, las cuales fueron incubadas durante 24 h a 37 °C. Cada tratamiento fue replicado tres veces. La actividad fue evaluada a

concentraciones de 10 y 100 mg/mL. Los resultados mostraron que las bacterias *Enterobacter*, *Proteus* y *Escherichia coli* eran resistentes a los compuestos activos crudos extraídos de *Chlorella vulgaris* a bajas concentraciones (10 mg/mL) y sensibles a concentraciones altas (100 mg/mL). Además, la bacteria *Klebsiella* resistente a todos los compuestos activos presentes en *Chlorella vulgaris* en bajas y altas concentraciones. Los resultados también revelaron que *Enterobacter* era más sensible a los compuestos activos crudos en comparación con *Proteus* y *Escherichia coli*. Los autores concluyeron que los compuestos bioactivos crudos extraídos de *Chlorella vulgaris* demuestran una acción antibacteriana exitosa contra bacterias gram negativas patógenas y grampositivas, siendo *Klebsiella* la más resistente a todos los compuestos bioactivos extraídos de *Chlorella vulgaris*.

Ortiz-Villota *et al.* (2018) realizaron una investigación cuyo objetivo fue evaluar la actividad remediadora con el alga *Spirulina máxima*, *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris* buscando reducir los nutrientes como son los nitratos, nitritos y fosfatos. El estudio realizado presentó un diseño experimental de tipo factorial, en donde fueron evaluadas tres cepas algales a las que se les adaptó por una semana. Los factores estudiados correspondieron al tiempo de exposición (días) y concentración de la cepa (v/v). Las muestras de agua fueron tomadas de la laguna de Ubaque, Colombia y analizadas en el laboratorio de la Universidad Libre de Bogotá. La evaluación de los efectos de la biorremediación fue realizada utilizando el programa Design-Expert. Para lograr resultados más fiables en el crecimiento del alga, este fue adaptado a condiciones de la laguna, las cuales fueron aplicadas en los fotobiorreactores abiertos de 10 litros, siendo la concentración inicial de cada microalga de $0,5 \times 10^6$ cél/mL. Los resultados demostraron que el uso de microalgas en la remoción de los nutrientes, nitrato, nitrito y fosfatos de la laguna de Ubaque fue alta y que la microalga más eficiente fue *Chlorella vulgaris*, la que mostró una alta tolerancia y fácil adaptación a las condiciones de la laguna, recomendándose, la construcción de un sistema de cultivo abierto, en la que el alga esté expuesta a condiciones de la laguna.

Zhou *et al.* (2017) realizaron una investigación cuyo objetivo fue investigar el desempeño de los índices de efluentes y rendimiento de biomasa de *Spirulina platensis* en el tratamiento

de aguas residuales salinas con diferentes proporciones. La investigación fue ejecutada en los ambientes de la Universidad de Shandong, China. Las aguas residuales fueron preparadas mezclando agua negra sintética originada en agua de mar y agua gris originada en agua dulce junto con proporciones de mezcla 1:0, 7:3, 5:5 y 3:7. La microalga fue extraída originalmente de un lago salado y su crecimiento fue monitoreado a través de un espectrofotómetro UV-Vis. Los resultados mostraron reducciones del nitrógeno total en un 79,96 % y de fósforo total en un 93,35 %, además, la reducción de la demanda química de oxígeno fue en un 90,02 %. Con la evaluación de la absorción de nutrientes, la composición de la biomasa y la agregación de microalgas, se desarrolló un modelo de recuperación de nutrientes y metabolismo de *Spirulina platensis* en el tratamiento de aguas residuales salinas. Los autores proporcionan una estrategia prometedora para el tratamiento de aguas residuales salinas con un valioso rendimiento de biomasa.

Sivakalai y Ramanathan (2013) ejecutaron una investigación cuyo objetivo fue eliminar contaminantes de los efluentes de la industria del teñido utilizando *Spirulina platensis*. La investigación fue realizada en la universidad de Annamalai en la India. Las muestras de aguas residuales recolectadas fueron diluidas 10 veces con agua destilada para hacer la caracterización fisicoquímica. Posteriormente, fue tomada 100 mL de cada muestra diluida en un matraz cónico de 250 mL al que se le adicionó 1 mL de medio Zarrouk y la microalga *Spirulina platensis* (1g/500 mL) la cual fue incubada en cámara estéril con CO₂ a 35 °C durante 30 días. Los cambios de los parámetros fueron evaluados en diferentes periodos utilizando métodos analíticos estándar. La *Spirulina platensis* fue identificada utilizando un microscopio compuesto. Antes del tratamiento, la DQO del efluente variaba de 1040 a 8010 mg/L y los sólidos totales de 1129 a 9700 mg/L. Después del tratamiento usando *Spirulina platensis*, la DQO fue reducida a 101-600 mg/L y los sólidos suspendidos a 152-830 mg / L, respectivamente. Los autores concluyeron que la microalga *Spirulina platensis* demostró ser eficaz en el tratamiento de aguas residuales de la industria textil.

Ansa *et al.* (2012) realizaron un estudio cuyo principal objetivo fue evaluar el efecto de las concentraciones de biomasa del alga *Chlorella* sp. en la eliminación de coliformes fecales en condiciones de laboratorio. En la investigación usaron muestras de agua extraída de la planta de tratamiento de aguas residuales de Hoek van Holland, Países Bajos. Las algas

usadas fueron cultivadas en laboratorio mediante la inoculación de una solución nutritiva y a condiciones de temperaturas de 20 a 25 °C. Los promedios de las concentraciones iniciales y finales de algas en los matraces después de 7 días de incubación fueron los siguientes: 0; 1,2; 1,7; 6,7 y 17,5 mg/L de clorofila-a. A los diferentes tratamientos durante el período de incubación fueron comparados estadísticamente usando la prueba t de muestra independiente del paquete estadístico SPSS 12,0. Los resultados mostraron que los valores de pH y OD en luz y en la oscuridad fueron similares. Además, fue contrastado estos parámetros con las tasas de crecimiento de *Chlorella* a través de la t de Student, logrando un establecer una interacción directa ($p < 0,001$). Además, a altas densidades de algas ($\geq 13,9$ mg/L) en luz, fueron observadas tasas de descomposición significativamente más altas en las aguas. Las tasas de desintegración de los coliformes fueron más bajas en la fase 2. Los autores concluyeron que la tasa de descomposición de los coliformes fecales se incrementaron con el aumento de la concentración de la clorofila influenciada por la luz, hasta una cierta concentración, después de lo cual las tasas de descomposición de coliformes fecales disminuyeron, mientras que, en la oscuridad, las algas produjeron una sustancia que inactivó a los coliformes fecales, recomendando realizar más investigaciones para determinar el tipo de sustancia producida.

Nacionales

Chambi (2021) realizó una investigación cuyo objetivo fue evaluar la influencia de la microalga *Chlorella vulgaris* del río Torococha de la ciudad de Juliaca en la remoción de las bacterias coliformes. Para el estudio fue presentado un diseño de tipo experimental, con un enfoque cuantitativo y un alcance explicativo. Para realizar la investigación fueron usados monocultivos algales de *Chlorella vulgaris* adaptados en fotobiorreactores a condiciones de temperatura y fotoperiodo de 18 °C y 12:12 h respectivamente. Las aguas usadas en este estudio procedieron de la PTAR de Juliaca, las cuales se les inocularon las microalgas hasta llegar a un valor del 99,99 % de remoción siendo analizadas a las 0,24,48,72,84,92 y 100 horas. La cuantificación de los coliformes fecales fue realizada por la técnica de tubos múltiples. Fue aplicado la correlación de Pearson entre la biomasa de microalgas y la concentración de coliformes fecales. Los resultados de la evaluación inicial de los efluentes de la PTAR mostraron altos valores de coliformes fecales superiores a la normativa vigente. Posteriormente, estos valores fueron reducidos de 5×10^7 a 1,8 NMP/100 mL lo que representó una reducción del 99,99 %. El autor concluyó que la acción de la microalga y

factores físicos como la iluminación, permitieron la eliminación de los coliformes termotolerantes y que el aumento de la biomasa algal refleja una relación inversa ($r = -0,23$) con la concentración de coliformes fecales en los efluentes tratados.

Gianoli (2018) realizó una investigación cuyo objetivo fue realizar la caracterización microbiológica y los parámetros físicoquímicos del agua en diversos puntos de la Bahía de Sechura. Para ello fue necesario realizar un análisis microbiológico del agua, en donde fue aplicado el método de determinación cuantitativa del Número Más Probable (NMP), identificando las concentraciones de las bacterias coliformes totales y fecales. Las muestras de agua fueron recolectadas cada quince días durante doce meses. Los datos obtenidos fueron analizados por medio de la prueba estadística de la regresión y cociente de correlación de Pearson. Los resultados mostraron que las aguas de la bahía presentaron niveles no aptos según el Decreto supremo N° 0011- 2017 (MINAM, 2017). De los puntos evaluados en la bahía, la estación Puerto Rico, según el análisis estadístico, fue el único lugar donde fue sobrepasado los límites establecidos según la normativa para la presencia de coliformes totales y fecales con las condiciones de pH, temperatura y salinidad; así mismo, estos parámetros se relacionaron significativamente ($p < 0,05$) con el crecimiento de coliformes totales y fecales, mientras la zona de las Delicias presentó una menor carga bacteriana. El autor concluyó que las aguas de la bahía representan un grave riesgo de contacto tanto para la salud del poblador como para el medio ambiente.

Quispe (2017) efectuó un estudio cuyo objetivo consistió en evaluar la calidad bacteriológica y físico-química del agua de seis espejos de agua del distrito de Santa Rosa-Melgar, Puno. Para el desarrollo del estudio fue recolectada muestras de los cuerpos de agua que correspondieron a manantiales y fueron Yuraq Unu, Cóndor Wachana, Unu Pata, Qayqu, Chiartita, Ch'akipata. Para la determinación de la calidad bacteriológica fue aplicada la metodología del número más probable y para el procesamiento de los datos físicoquímicos de las muestras de agua fue utilizado el diseño completamente al azar. Los resultados obtenidos del análisis bacteriológico mostraron que las coliformes totales fueron encontrados en mayor concentración en Qayqu con 330 NMP/100 mL, mientras que Yuraq Unu con 43,33 NMP/100 mL fue la que presentó menor concentración. Por otro lado, para coliformes fecales la concentración más alta fue en Qayqu con 30,00 NMP/100 mL, mientras

que Yuraq Unu con 3 NMP/100 mL fue la que presentó menor concentración. Estos resultados establecieron que las aguas de estos ecosistemas no son aptas para consumo. El autor concluyó que existe una alta contaminación bacteriana en las lagunas analizadas y que parte del problema del agua es generada por las organizaciones por hacer un mal manejo del agua y conservación de manantiales.

Paredes y Quinto (2016) realizaron una investigación cuyo objetivo fue evaluar la característica fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo del distrito de Palca. Este estudio fue desarrollado en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, La Merced, Junín. Para realizar esta investigación fueron tomadas muestras de agua de cuatro zonas: La Bocatoma, reservorio, una vivienda en Huaruyoc y otra en la zona de Palca durante dos meses. Para realizar los análisis microbiológicos y fisicoquímicos fueron llevadas las muestras a las instalaciones del laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Las pruebas microbiológicas realizadas consistieron en el recuento de heterótrofos, la enumeración de coliformes totales y fecales; además, fue realizado el recuento de larvas, huevos de helmintos y quistes de protozoos patógenos. Como resultados determinaron la presencia microbiana en niveles superiores a los máximos permisibles por el reglamento de calidad de agua de consumo humano del Ministerio de Salud, mientras que los parámetros de turbiedad, sólidos totales, dureza total, alcalinidad y pH se encontraron dentro de los límites establecidos. Los autores concluyeron que el agua de consumo de la localidad de Palca en el aspecto microbiológico no cumple con los límites máximos exigidos en el reglamento de calidad de agua.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Contaminación del agua

A nivel mundial el recurso hídrico está siendo afectado por las actividades humanas generando un deterioro en su disponibilidad tanto cantidad como calidad. La contaminación hídrica implica entonces una alteración perjudicial en la calidad de este recurso por inducir condiciones en el agua que de modo directo o indirecto se altera su funcionalidad ecológica (Abarca y Mora, 2007).

Existen las fuentes no puntuales de contaminación, consideradas como las fuentes de mayor dificultad de controlar y que generan un mayor impacto; entre ellas tenemos a las parcelas que permiten fluir el agua llevando una gran cantidad de nutrientes, fertilizantes y otros agroquímicos que se aplican en las diversas actividades de índole agropecuario y forestal. Otras fuentes lo presentan grupos de organismos patogénicos como son los hongos bacterias y virus principalmente, que producen alta mortandad y se refleja como un retraso en la población afectada (Doria *et al.*, 2008; Lorenzo *et al.*, 2018).

Las fuentes puntuales también se desplazan por la superficie terrestre o también pueden penetrar en el suelo por filtración llegando a las aguas subterráneas y difundirse por diversos lugares para finalmente llegar a cuerpos de agua mayores como los lagos, ríos y océanos en forma de sedimento y cargas químicas. Los efectos reconocidos de estos contaminantes pueden ser de poco impacto hasta grandes afecciones denominadas catástrofes ecológicas en desmedro de muchos organismos incluyendo a el hombre (Romero, 2006). El correcto análisis bacteriológico del agua es de mucha utilidad en la prevención de enfermedades como consecuencia de la contaminación del agua. Esta evaluación consiste en la búsqueda directa e indirecta de organismos patogénicos como son la *Salmonella* y la bacteria *E. coli*.

Fuentes de contaminación

- Fuentes naturales

El agua puede contener una gran cantidad de componentes de origen natural que van a proceder de los terrenos que atraviesa esta; la composición del agua superficial y el agua subterránea depende de factores geológicos, topográficos, meteorológicos, hidrológicos y biológicos. Además, varían con las diferencias estacionales del clima del lugar, condiciones, volúmenes de esorrentía y niveles de agua. El agua en el ambiente natural puede contener sólidos disueltos y no disueltos. Las sales disueltas y los minerales son componentes necesarios para una buena calidad de agua, ya que ayudan a mantener la salud y vitalidad de los organismos que dependen de este servicio ecosistémico (Khatri y Tyagi, 2015).

- Nutrientes vegetales inorgánicos

Dentro de los principales nutrientes tenemos a los nitratos y fosfatos que son sustancias solubles dentro de los cuerpos de agua que los vegetales requieren para su progreso, su aumento excesivo induce al desarrollo de otros organismos como las algas, provocando la eutrofización de las aguas. Las aguas eutrofizadas tienen la particularidad de presentar escasa cantidad de oxígeno haciéndose imposible la vida de organismos aerobios principalmente (Doria *et al.*, 2008).

- Microorganismos patógenos

Corresponde a los diferentes tipos organismos que tiene la capacidad de generar enfermedades y transmitirla, dentro de este grupo se incluye a las bacterias, virus, protozoos y otros, que en condiciones óptimas tienden a aumentar su población (Campos, 2003).

Dentro de los principales organismos patogénicos tenemos:

a) Bacterias coliformes indicadores de la calidad del agua

Se les asigna el nombre de coliformes al grupo de organismos bacteriano que son considerados indicadores de contaminación del agua. Pelczar (1990) y Buckley *et al.* (2015), recomienda realizar monitoreo constante de este indicador bacteriano en la forma de coliforme total y coliforme termotolerante, toda vez que la calidad microbiológica del agua para consumo reviste de una alta importancia.

b) Bacterias coliformes totales

Las características principales de este grupo bacteriano son la forma de bacilos que presentan reacción Gram negativo, y la mayoría son anaerobias facultativas, lo que quiere decir que pueden desarrollarse en presencia o no de oxígeno. Suelen descomponer azúcares como la lactosa y presentar subproductos metabólicos como ácidos y liberar gas en 24 a 48 horas. La mayoría de estas bacterias comprenden a la familia Enterobacteriaceae (Allaert y Escolá, 2002).

c) Coliformes fecales

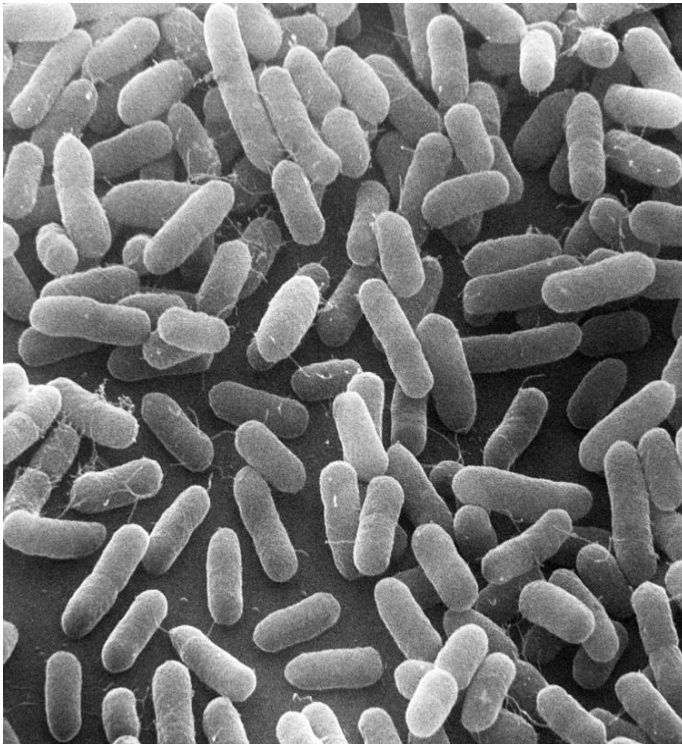
Este grupo bacteria presentan mucha similitud con los coliformes totales en lo que se refiere a la morfología, ser aerobios y anaerobio y fermentar lactosa. Una de las características que sobresalen de los coliformes fecales es lograr producir ácido y gas a temperaturas de 44,5 °C en condiciones de laboratorio, así como ser Gram (-), no esporulados y presentar como máximo representante a la especie *Escherichia coli* (Ramos, 2011).

d) *Escherichia coli*

En la Figura 1 se observa que este organismo presenta una forma abastionada, cuya extensión es de aproximadamente 1,5 a 4,0 μm , el cuerpo presenta flagelos que hace sea muy móvil, siendo esta característica muy típica de las enterobacterias y la realizan por tener esta estructura de locomoción que caracterizan a este grupo enterobacteriano. Es una bacteria que habita regularmente en el enterón, siendo usada desde hace mucho tiempo por los especialistas como un buen indicador de contacto con materia fecal (Ramos, 2011).

Figura 1

Microfotografía de barrido de E. coli



Nota: Imagen tomada de Phillips (2014)

- Agua con coliformes fecales

La contaminación por coliformes fecales en cuerpos de agua es un problema recurrente en países del tercer mundo y en vías de desarrollo e importante causa de enfermedades diarreicas. Esto debido a que en zonas rurales se tiene los problemas de disponibilidad de agua como su falta de potabilización, las cuales proviene de manantiales, ríos, arroyos y entre otros tipos de fuentes de aguas superficiales que se encuentran expuestas a contaminantes principalmente al contacto con fuentes orgánicas e inorgánicas (Sánchez-Pérez *et al.*, 2000).

Para el Perú, se ha demostrado que en zonas rurales niños menores a 5 años consumen agua sin tratamiento alguno y con una alta presencia de coliformes fecales, reconociéndose que la contaminación de este recurso se da desde zonas altas como los glaciares hasta zonas bajas. La mala calidad del agua es un factor clave de riesgo para enfermedades diarreicas, las enterobacterias son frecuentes causantes de diarreas en niños, a veces no se generan síntomas, pero esto convierte a la persona en un portador de bacterias patógenas y generado mayores problemas a futuro (Loyola, 2018).

1.2.2. *Arthrospira platensis*

Se encuentra en el grupo de las cianobacterias, denominadas algas verde azules, las cuales pueden ser cultivadas en sistemas abiertos y cerrados. La *Arthrospira* (*A. máxima* y *A. platensis*) anteriormente llamada *Spirulina*, es mayormente cultivada en fotobiorreactores y la producción de su biomasa está condicionada a diversos factores como la temperatura, pH, tasa de aireación, concentración de CO₂, fuentes de carbono, fosfato y nitrógeno. Esta microalga presenta un atractivo comercial por su alto contenido de aminoácidos y ácidos grasos esenciales, ya que permiten ser usadas como suplemento alimenticio; tiene como principales usos en la biorremediación, aditivos farmacéuticos y alimentos procesados (Romero *et al.*, 2017).

Las microalgas son altamente usadas en el campo de la biorremediación como también en otros ámbitos. Estos microorganismos han demostrado ser muy eficiente para la reducción de contaminantes en aguas residuales tales como la DBO y la DQO, además, brindan

oxígeno a las bacterias que ayudan en la biotransformación, teniendo un máximo de remoción de 91,4 a 91,7 % respectivamente en estudios realizados con diferentes microalgas. También, ayuda a disminuir los niveles de compuestos nitrogenados y fosforados, esto debido a que estos nutrientes son muy importantes en la generación de biomasa algal, incorporándose por mecanismos de absorción directa; asimismo, se ha demostrado que cultivos hiperconcentrados de algas son altamente efectivos al acelerar la remoción de estos elementos. En las aguas contaminadas con coliformes fecales, las microalgas lo reducen hasta un 99 % y esto debido a que el medio que permite el desarrollo de las microalgas impide un crecimiento a los microorganismos patógenos. Además, el cambio de pH es uno de los factores que favorece la eliminación de estos patógenos, mejorando su efectividad si se mantiene por largos periodos de exposición (Hernández-Pérez y Labbé, 2014). A continuación, se describen los factores que influyen en el desarrollo de la microalga:

a. Respuesta a los factores ambientales

El efecto de la luz

Sin duda, la luz es el factor más importante que afecta a los organismos fotosintéticos. Debido a la naturaleza procariota de la *Spirulina*, la luz no afecta la diferenciación o procesos de desarrollo. Sin embargo, la *Spirulina*, como muchas otras algas cultivadas fotoautotróficamente, depende de la luz como principal fuente de energía (Fernández *et al.*, 2019).

Efecto sobre el crecimiento

La mayoría de los estudios de laboratorio sobre la respuesta de la *A. platensis* a la luz se realizaron en condiciones de crecimiento fotoautótrofo, utilizando un medio mineral y bicarbonato como la única fuente de carbono. El primer estudio detallado sobre la respuesta de *Spirulina máxima* a la luz fue hecho por Zarrouk en 1966. En ella se llegó a la conclusión que el crecimiento de *S. maxima* está saturado a niveles de 25-30 lux. Además, que los fotones de luz son la principal fuente de energía para el crecimiento de las células. Dado que los fotones de luz pueden ser absorbidos por las células de microalgas como nutrientes, las propiedades de la fuente de luz, como la longitud de onda y la intensidad son definitivamente críticas para el crecimiento de microalgas fotoautótrofas (Fernández *et al.*, 2019).

Efecto sobre la fotosíntesis

La forma más común de estudiar la respuesta fotosintética de los cultivos de algas a la luz es a través de la medición de las curvas de fotosíntesis (P) versus irradiancia (I). Los puntos de saturación y compensación son los parámetros más importantes. En la oscuridad, la tasa de evolución de oxígeno o fijación de carbono será negativa debido a la respiración. A medida que aumenta la irradiancia, un punto es alcanzada cuando la tasa de fotosíntesis está equilibrada por la respiración, a esto se le llama punto de compensación. A medida que aumenta aún más la irradiación, la tasa de fotosíntesis aumenta linealmente. Finalmente, la curva se nivela, a medida que la fotosíntesis se satura, alcanzando un máximo, P_{max} . La pendiente inicial, α , es un indicador útil del rendimiento cuántico, es decir, eficiencia fotosintética (Vonshak, 1997).

Efecto de la temperatura

Si bien la luz se considera el factor ambiental más importante para organismos fotosintéticos, la temperatura es sin duda el factor más fundamental para todos los organismos vivos. La temperatura afecta todas las actividades metabólicas y también la disponibilidad de nutrientes y absorción, así como otras propiedades físicas del medio acuoso de las células (Vonshak, 1997).

Efecto de la temperatura sobre el crecimiento

La *Spirulina* se aisló originalmente de cuerpos de agua temporales con un nivel relativamente alto de temperatura. La temperatura óptima habitual para el cultivo de laboratorio de *Spirulina* es en el rango de 35–38 °C. Sin embargo, cabe señalar que este rango de temperatura es arbitrario. Muchas cepas de *Spirulina* diferirán en su temperatura para un crecimiento óptima, así como su sensibilidad a rangos extremos. Muchas cepas de *Spirulina* se mantienen y prueban sus respuestas fisiológicas (Vonshak, 1997).

Efecto de la temperatura sobre la fotosíntesis y la respiración

La productividad neta de un cultivo de algas está directamente relacionada con la tasa bruta de fijación de CO₂ (fotosíntesis) y frecuencia respiratoria. La fotosíntesis y la respiración

dependen de la temperatura, pero solo la fijación de CO₂ y la evolución de O₂ dependen tanto de la luz como de la temperatura. Un estudio detallado sobre la respuesta de una cepa de *Spirulina* marcada M-2 fue realizada por Torzillo y Vonshak (1994), donde se determinó que la temperatura óptima para la fotosíntesis fue de 35 °C. El efecto de la temperatura fue medido a través de la tasa de respiración oscura de la *Spirulina*, obteniendo una relación exponencial dependiente de la temperatura.

Respuesta a la salinidad

Las cianobacterias habitan en ambientes que varían drásticamente en sus niveles de salinidad. En los últimos 15 años se han publicado numerosos estudios sobre la respuesta de las cianobacterias a diferentes ambientes salinos, tales como: el papel específico de los compuestos orgánicos como osmorregulantes, modificación en la fotosíntesis, la actividad respiratoria y variaciones en el patrón de síntesis de proteínas. Además, se han aislado diferentes especies de *Spirulina* a partir de una variedad de soluciones salinas (Hagemann *et al.*, 1991).

Efecto de la salinidad sobre el crecimiento

La exposición de cultivos de *Spirulina* a altas concentraciones de cloruro de sodio (NaCl) da como resultado un cese del crecimiento. Después de un período de retraso, se establece un nuevo estado estable de crecimiento de la microalga. Algunos estudios muestran los cambios en las concentraciones de biomasa de tres cultivos de *Spirulina* expuestos a 0,5 y 0,75 M de NaCl. En donde no solo se inhibe el crecimiento durante 24 h después de la exposición a la alta concentración de NaCl, sino se refleja en su nueva tasa de crecimiento exponencial de estado estacionario una disminución en la tasa de crecimiento debido a la sal, demostrado en otras cianobacterias, como *Anacystis* y *Nostoc* (Vonshak y Richmond, 1981).

b. Microalgas para tratamiento de aguas residuales

La historia del uso comercial de cultivos de algas abarca un poco más de los 70 años en aplicaciones en el tratamiento de aguas contaminadas con diferentes especies de microalgas y en especial las del género *Chlorella* y *Dunaliella*. Actualmente se desarrolla un interés

significativo en algunas naciones del mundo avanzado como Australia, EE. UU., Tailandia, Taiwán y México (Renaud *et al.*, 1994). Estos se deben a la comprensión de los biólogos de estas naciones, así como en la ingeniería de cultivos de algas a gran escala, sistemas de cultivo y métodos de recolección de algas, los cuales son importante para el diseño y operación de cultivos de algas de alta tasa para producir productos de alto valor, como productos farmacéuticos y productos genéticamente modificados, estos incluyen antibacterianos, antivirales, antitumorales / anticancerígenos, antihistamínicos y muchos otros medicamentos biológicos (Haroun *et al.*, 1995).

El biotratamiento con microalgas es de especial atención por la capacidad que presenta estos organismos en realizar fotosíntesis, que transforma la energía luminosa en biomasa algal útiles e incorporan nutrientes como nitrógeno y fósforo causantes de la eutrofización de los cuerpos de agua. Esta fascinante idea fue lanzada hace cincuenta y cinco años en los Estados Unidos por Oswald y Gotaas (1957) desde entonces ha sido probado intensamente en muchos países.

Los géneros microalgales más abundantes y con presencia en estanques de estabilización han sido examinados y estudiados, cuyo orden de abundancia son: *Chlorella*, *Ankistrodesmus*, *Scenedesmus*, *Euglena*, *Chlamydomonas*, *Oscillatoria*, *Micractinium* y *Golenkinia*. Un estudio de taxones de algas en sistemas de seis lagunas en Asia Central fue completado por Erganshev y Tajiev (1986). El análisis de datos a largo plazo reveló que la clorofita era dominante tanto en variedad como en cantidad, seguidos de Cyanophyta, Bascillariophyta y Euglenophyta.

Más de 1000 taxones de algas han sido reportados una o más veces como tolerantes a la contaminación, que incluyen 240 géneros, 725 especies y 125 variedades y formas. Los géneros más tolerantes incluyen ocho algas verdes, cinco verdes azulados, seis flagelados y seis diatomeas. En los sistemas de tratamiento de aguas residuales las microalgas han demostrado adaptaciones a espacios reducidos y esto gracias a que responde a condiciones de hiperconcentración, esta capacidad ha sido aprovechada para realizar los tratamientos

bajo estas condiciones. Esto demostró ser muy eficiente para eliminar N y P en períodos de tiempo muy cortos, menores de una hora (Lavoie y De la Nou'e, 1985).

c. Eliminación de bacterias coliformes

A fines de la década del 60 se observaron qué condiciones ambientales que favorecían el desarrollo de las algas mermaban el crecimiento de las bacterias coliformes. Dentro de este grupo de patógenos se incluyen a enterobacterias como *Salmonella* y *Shigella*. Las bacterias proporcionan el componente más grande de la comunidad microbiana en todos los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales y su cantidad está en el rango de 10^6 bacterias/mL de agua. La evidencia experimental indica que las bacterias patógenas generalmente tienen tiempos de supervivencia más cortos en el medio ambiente que coliformes, mientras que los virus tienden a sobrevivir más tiempo (Horan, 1990).

La eficiencia de la desinfección de los cuerpos de agua se puede determinar por el grado de eliminación de estas enterobacterias, en especial de los organismos coliformes. A su vez, la estabilización de aguas residuales en estanques de alta tasa está bien conocido por ser generalmente más efectivo que el sistema convencional de tratamiento de aguas residuales. Los informes publicados en la literatura revelaron que se logra una eliminación considerable de las formas de coliformes en los estanques de estabilización (Colak y Kaya, 1988).

1.2.3. Río Huasahuasi

El río Huasahuasi se ubica en el departamento de Junín, pertenece a la subcuenca con el mismo nombre, la cual pertenece a la cuenca del Perene; este río tiene un caudal de 1821 m³/s y nace de 10 lagunas ubicados en las zonas altas de esta subcuenca, de los cuales resalta la laguna de Huachucocha, ubicada a una altitud de 4285 m s.n.m. El río Huasahuasi cruza el pueblo con el mismo nombre en dirección de oeste a este hasta llegar al lugar de Carpapata para unirse con el río Tarma y posteriormente, con el río Chanchamayo. El uso del agua del río es mayormente para riego debido a que se concentran grandes zonas agrícolas en el distrito y a su vez para una parte de la demanda de agua es para consumo humano. Se han ejecutado diferentes obras a lo largo del tiempo en el río, una de ellas es la obra de

encausamiento y defensa ribereña para evitar problemas de erosión lo cual afectaba las áreas de cultivo; otro proyecto es la central hidroeléctrica Huasahuasi I (Guadalupe, 2019).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de investigación

La presente investigación presentó un enfoque cuantitativo en la que se recolectaron datos a partir de la caracterización inicial de las aguas del río Huasahuasi y después de los tratamientos sometidos a la acción de la microalga *Arthrospira platensis*. Así mismo, este estudio tiene un diseño de tipo experimental y un alcance de tipo explicativo en donde se buscó evaluar y explicar los efectos de la microalga sobre la remoción de la carga microbiana, tal como lo menciona Carrasco (2019).

2.1.1. Lugar y fecha

La ejecución de la investigación comenzó en el mes de agosto del 2020 y finalizó en el mes de diciembre del 2020.

Las muestras de agua que se utilizaron en la presente investigación fueron tomadas en la desembocadura final del río Huasahuasi con el río Tarma pertenecientes al distrito de Huasahuasi, Tarma, Perú. Este lugar se encuentra georreferenciado con las coordenadas UTM: WGS84 43707,8 E, 1613176,1 N y se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Ubicación de la zona de muestreo (P1) en el río Huasahuasi, Tarma



Nota: Google Maps, (2020).

2.1.2. Descripción del experimento

- **Obtención de la cepa de *A. platensis***

La microalga *A. platensis*, fue adquirida de un cultivo de microalgas del Laboratorio de Microbiología y Biotecnología de la Universidad Católica Sedes Sapientiae- Lima.

- **Obtención de la biomasa de *A. platensis***

La cepa de la microalga fue cultivada en el laboratorio hasta lograr un cultivo intermedio, los cuales se realizaron en biodigestores de 10 L de capacidad, los cuales se mantuvieron

cerrados y con temperaturas de 25 a 30 °C. La preparación de las soluciones nutritivas se realizó según lo propuesto por Romero *et al.* (2011), utilizándose el medio nutritivo de Zarrouk por ser el más apropiado para el crecimiento de cianobacterias (Zarrouk, 1966).

- **Evaluación del crecimiento y obtención de los parámetros cinéticos de *A. platensis***

La estimación del crecimiento poblacional de la *A. platensis* se realizó mediante la concentración de clorofila-a, la cual fue medida diariamente. Esta evaluación permitió ver la cinética de crecimiento de la microalga. Estos valores obtenidos sirvieron para elaborar la curva de crecimiento, además, se obtuvieron los parámetros referidos a la cinética de crecimiento como la tasa máxima de crecimiento intrínseco, el tiempo de duplicidad y capacidad de carga según lo propuesto por Sánchez (2014). Para ello se emplearon las siguientes fórmulas:

Para obtener la **tasa de crecimiento continuo** se usaron las siguientes ecuaciones:

$$N_t = N_0 e^{\mu t}$$

Donde:

N_t : población final

N_0 : población inicial

e : constante neperiana

μ : tasa de crecimiento exponencial

Td: tiempo de duplicidad

Tiempo de duplicidad (td):

$$T_d = \frac{\ln(2)}{\mu}$$

Donde:

μ : tasa de crecimiento exponencial

Capacidad de carga (k):

$$Nt = \frac{K}{1 - \left(1 - \frac{K}{N_0}\right)e^{-\mu t}}$$

Donde:

Nt: es la población en el tiempo t

μ max: tasa máxima de crecimiento

k: la capacidad de carga del cultivo

- **Toma de muestras de aguas del río Huasahuasi, Tarma**

Las muestras de agua fueron recolectadas del efluente del río Huasahuasi en la estación P1 (Figura 2) siguiendo lo establecido en el Protocolo Nacional de Monitoreo de la calidad de cuerpos Naturales de aguas superficiales (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2011). Fueron usados frascos de vidrio previamente esterilizados, las cuales fueron sumergidas aprox. de 20 a 30 cm de profundidad y trasladados a 4 °C en un *cooler* refrigerado al laboratorio Environtest para su posterior análisis.

- **Caracterización fisicoquímica de las muestras de agua del río Huasahuasi**

Se realizó la caracterización fisicoquímica del agua del río Huasahuasi en donde se midió los parámetros propuestos por Quispe (2017). Los parámetros *in situ* fueron conformados por el pH, conductividad eléctrica, temperatura y oxígeno disuelto; mientras los parámetros que se evaluaron en el laboratorio estuvieron conformados por el análisis de la DBO, sólidos suspendidos totales, nitrógeno y fósforo total.

- **Caracterización microbiológica antes y después de los tratamientos**

Para la caracterización microbiológica de las muestras se utilizó la técnica de número más probable (NMP), esta técnica está basada en lo establecido por la Organización Internacional de Normalización (ISO) 1991 y está detallada por Gianoli (2018). Esta técnica consiste en hacer una prueba de laboratorio negativa o no detectable para coliformes. Posteriormente, se realizó una prueba de seguimiento para la detección de enterobacterias como son las coliformes. La prueba presuntiva de NMP está referida a la siembra de la muestra

contaminada (agua) en diluciones seriadas (1/1; 1/10; y 1/100) usando medios líquidos con nutrientes como el Caldo de Triptona Lauril Sulfato (CTLS), cada tubo fue sembrado e incubado a temperatura de $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas. Fueron considerados positivos aquellos tubos que reflejaron una gran turbidez y generación de gases después de las 48 horas, tal como lo refiere Quispe (2017). Así mismo, la prueba confirmativa para coliformes fecales fue realizado en cada tubo con la respuesta química respectiva. Posteriormente, fueron pasados a resiembra las muestras en un medio de cultivo EC e incubado a $34,5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas. Fueron considerados positivos aquellos tubos que presentaron cambios visibles en el brillo del líquidos y la respectiva formación de gas pasado las 48 horas.

- **Evaluación de la capacidad de remoción de coliformes totales y fecales en las muestras de agua tratadas**

Los cálculos de remoción de coliformes totales y fecales fueron realizados a los 2 y 10 días de exposición con la microalga *A. platensis*. A todos los cálculos de remoción se les realizaron tres mediciones siguiendo la metodología propuesta por Chung *et al.* (1996).

Para la obtención del porcentaje de remoción de coliformes totales y fecales se aplicó la siguiente ecuación:

$$\% Q = \frac{Ci - Ct}{Ci} \times 100$$

Donde:

Q% = Porcentaje de remoción

Ci= Concentración inicial (mg/L)

Ct = Concentración en un tiempo (mg/L)

2.1.3. Tratamientos

Los tratamientos que se realizaron se encuentran detallados en la Tabla 1:

Tabla 1

Tratamiento de la muestra de agua del río Huasahuasi con la aplicación biomasa de A. platensis

Tratamiento	Descripción
T1	1,0 g/L de <i>A.platensis</i> + 500 mL AH (2 días de exposición)
T2	1,0 g/L de <i>A.platensis</i> + 500 mL AH (2 días de exposición)
T3	2,0 g/L de <i>A.platensis</i> + 500 mL AH (2 días de exposición)
T4	2,0 g/L de <i>A.platensis</i> + 500 mL AH (10 días de exposición)
T5	4,0 g/L de <i>A.platensis</i> + 500 mL AH (10 días de exposición)
T6	4,0 g/L de <i>A.platensis</i> + 500 mL AH (10 días de exposición)
Control	500 mL AH (10 días de exposición)

Nota: AH (Agua superficial del río Huasahuasi)

2.1.4. Unidades experimentales

La presente investigación estuvo conformada por un total de 21 unidades experimentales, con su respectivo control. Las unidades experimentales estuvieron conformadas por un fotobiorreactor de vidrio de boro-silicato con una capacidad de 600 mL que contenían la muestra de agua del río Huasahuasi (500 mL) y poblaciones de *A. platensis* y que fueron evaluadas a los 2 y 10 días.

2.1.5. Identificación de variables y su mensuración

Las variables y su mensuración se hallan detalladas en la Tabla 2:

Tabla 2*Variables en estudio y metodologías empleadas para su análisis*

Variables	Unidades	Mensuración
Independientes		
Biomasa algal	mg.L ⁻¹	Espectrofotometría
Periodos (2 y 10)	días	Días calendario
Dependiente		
Coliformes totales y fecales	Coliformes/mL	NMP
DBO	mg.L ⁻¹	Winkler modificado
Nitrógeno total	mg.L ⁻¹	Fotometría
Fósforo total	mg.L ⁻¹	Fotometría
Sólidos suspendidos totales	mg.L ⁻¹	Gravimetría
Conductividad	mS/cm	Conductimetría

Nota: elaboración propia.**2.1.6. Diseño estadístico del experimento**

La investigación presentó un diseño completamente aleatorio (DCA) de efectos fijos con seis tratamientos y se describe a continuación:

X0▼ E ▼ X1

Donde:

X0: Situación Actual: Grado de contaminación del río Huasahuasi antes de la biorremediación con *A. platensis*.

E: Estímulo: Biorremediación con *A. platensis*.

X1: Resultado: Recolección de datos después de la biorremediación con *A. platensis*.

2.1.7. Análisis estadístico de datos

Los valores obtenidos de los diferentes tratamientos fueron evaluados usando es análisis de la varianza (ANOVA) realizados con el programa SPSS v. 26 y contrastados con la prueba de comparaciones de medias por pares de Tukey ($p < 0,05$). Además, los gráficos fueron hechos con el programa Microsoft Excel.

2.2. Materiales

2.2.1. Material biológico

- Cepas de la microalga *Arthrospira plantensis*
- Muestras de agua del rio Huasahuasi conteniendo enterobacterias

2.2.2. Medios de cultivo

- Caldo Triptona Lauril Sulfato
- Caldo lactosado con Bilis
- Caldo Verde Brillante

2.2.3. Reactivos

- Kit para NT WWT® usado para determinar NT por fotometría
- Kit para PT WTW® usado para determinar PT por fotometría
- Kit Winkler para determinar O₂
- Agua desionizada (2 galones)

2.2.4. Equipos

- Balanza analítica
- Incubadora (37 °C)
- Microscopio binocular
- Multiparámetro LT WA 2017 SD
- Aireadores

- Lámparas LED
- Cámara de aislamiento Kyntel®

2.2.5. Otros

- Tubos de ensayo
- Tubos de Durham
- Vasos Beacker (100 mL)
- Probetas (1L)

CAPÍTULO III: RESULTADOS

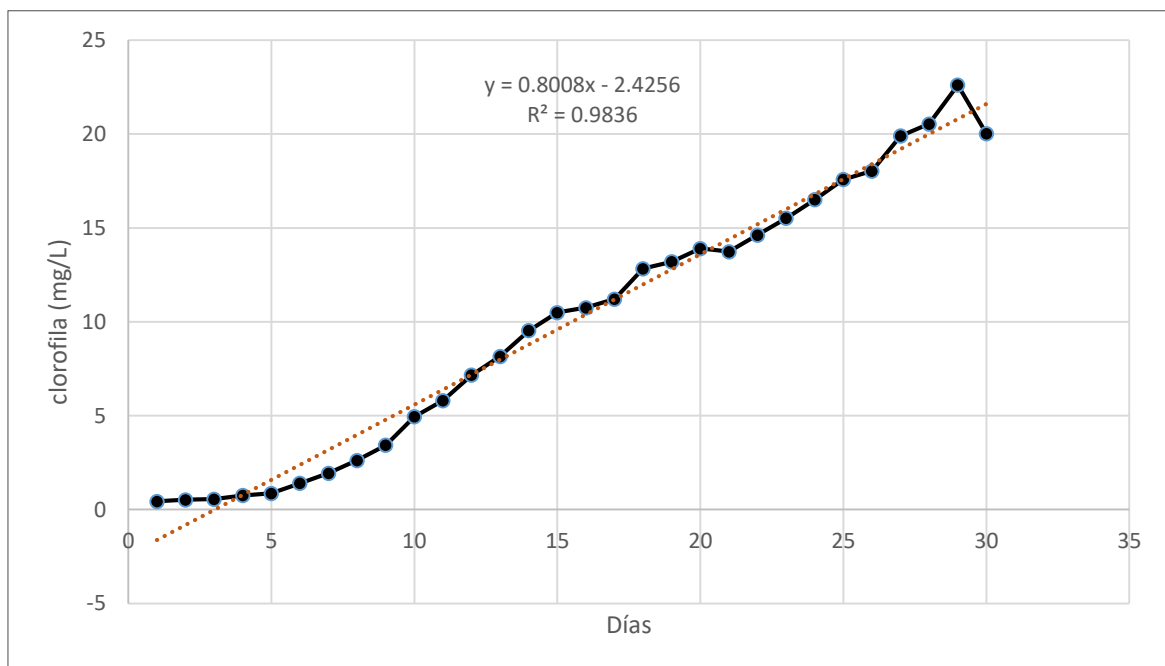
3.1. Estudio de los parámetros de crecimiento de la biomasa de la microalga *A. platensis*

La Figura 3 muestra la curva de crecimiento de la microalga *A. platensis* realizado en base a los valores de absorbancia de la clorofila-a que se registraron hasta el día 30 (ver Apéndice 1). La línea de tendencia de los datos muestra una correlación lineal con un valor de $R^2=0,98$.

Los resultados de la cinética de crecimiento de *A. platensis* a condiciones de laboratorio están plasmados en la Tabla 3. La tasa de crecimiento intrínseco (μ) fue de $0,13 \text{ d}^{-1}$, mientras la capacidad de carga (K) fue de $34,55 \text{ mg/L}$ y el tiempo de duplicidad fue de $5,33$ días.

Figura 3

Curva de crecimiento de A. platensis



Nota: Elaboración propia

Tabla 3*Valores de la cinética de crecimiento de A. platensis a pH 8,2*

	Valores
Tasa de crecimiento (μ)	0,13 d ⁻¹
Tiempo de duplicidad (Td)	5,33 d
Capacidad de carga (K)	34,55 mg/L

Nota: Elaboración propia

3.2. Características fisicoquímicas y microbiológicas iniciales presentes en las aguas del río Huasahuasi

La Tabla 4 muestra los resultados del análisis físico-químico y microbiológico inicial de las aguas del río Huasahuasi. Los resultados muestran que tres de los nueve parámetros (33,33 %) no cumplen con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua (Decreto Supremo N°004-2017-Ministerio del Ambiente [MINAM, 2017]). Mientras que los parámetros que sí cumplieron con la norma fueron la conductividad eléctrica con $0,5 \pm 0,02$ mS/cm, la DBO con valor $< 2,0$ mg/L, el pH con $7,68 \pm 1,1$ y el oxígeno disuelto con $8,6 \pm 0,9$. Los parámetros que fueron superiores a la norma fueron el fósforo total (600 %), sólidos suspendidos totales (184 %) y coliformes fecales (300 %).

No se pudo realizar comparaciones con el parámetro nitrógeno total debido a que no aplica a la categoría 4 (E2: ríos de la costa y sierra), pero si aplica para la subcategoría E1 con 0,315 mg/L. Además, el parámetro microbiológico coliformes totales no está contemplado en esta norma.

Tabla 4

Valores promedio de los parámetros físico-químicos y microbiológicos de las muestras de agua del río Huasahuasi

Parámetros	Unidades		ECA para agua (2017) ¹	Cumplimiento de ECA para agua
Conductividad	mS/cm	0,5±0,02	1,0	Si
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	< 2,0	10	Si
Fósforo total	mg/L	0,30±0,01	0,05	No
Nitrógeno total	mg/L	3,56±0,22	NA
Potencial de Hidrógeno		7,68±1,1	6,5 a 9,0	Si
Sólidos Suspendidos totales	mg/L	184±9,12	<100	No
Oxígeno disuelto	mg/L	8,6±0,9	≥5	Sí
Coliformes totales	NMP/100 mL	1,4 x 10 ⁴	NA
Coliformes fecales	NMP/100 mL	0,60 x10 ⁴	2000	No

¹ Decreto supremo 004-2017, Categoría 4: conservación del ambiente acuático, E2: ríos
NA: No aplica.

3.3. Análisis de la variación los parámetros físico-químico y microbiológico de las muestras de agua del río Huasahuasi tratadas con la *A. platensis*

3.3.1. Variación de la conductividad eléctrica

Los valores de la conductividad eléctrica se mostraron decrecientes en los tratamientos T1, T2, T3 y T4. El T5 fue el que mostró valor máximo con 0,66±0,15 mS/cm y el mínimo fue T4 con 0,08±0,02 mS/cm (Tabla 5). En la Figura 4 se puede apreciar que todos los tratamientos cumplen con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017).

El resultado del análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos y la conductividad eléctrica (ver Apéndice 2). El análisis *post hoc* de comparaciones múltiples (prueba de Tukey) mostró que los tratamientos T3, T4 y T5 registraron diferencias significativas al 5 %, mientras que T1 y T2 no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) (ver Apéndice 3).

Tabla 5

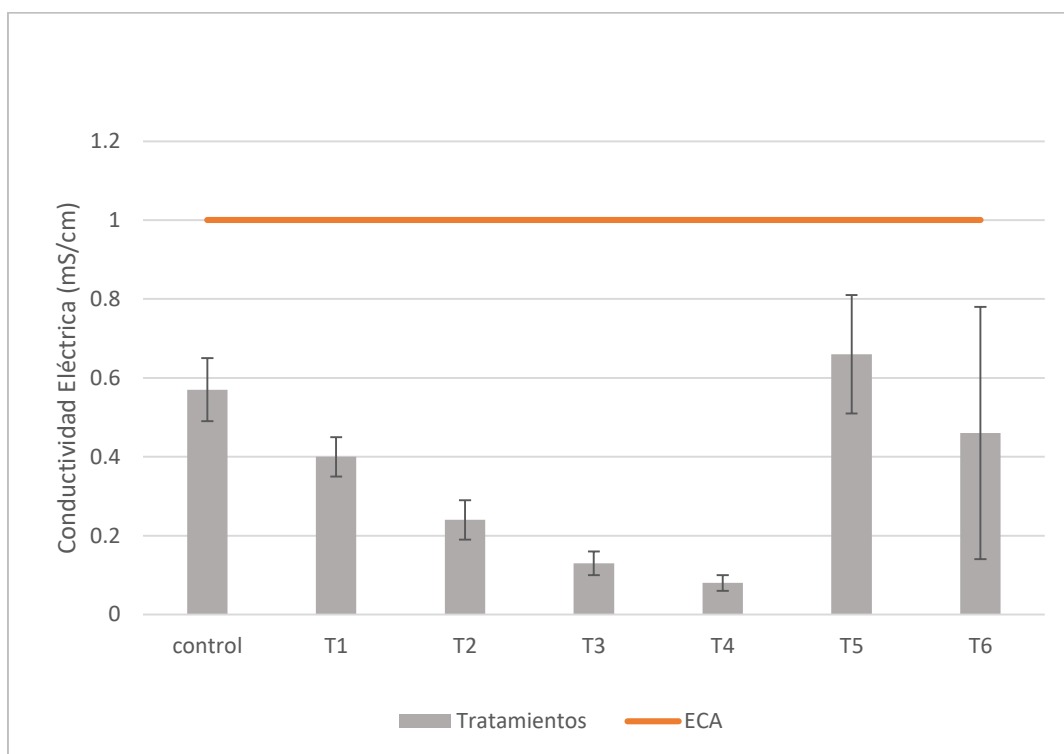
Valores obtenidos de la conductividad eléctrica (mS/cm) de las muestras de agua del río Huasahuasi tratadas con A. platensis

Tratamientos	CE	Cumplimiento de ECA
control	0,56 0,5	SI
promedio	0,66 0,57±0,08	
T1	0,46 0,35	SI
promedio	0,4 0,40±0,05	
T2	0,22 0,21	SI
promedio	0,30 0,24±0,05	
T3	0,1 0,16	SI
promedio	0,15 0,13±0,03	
T4	0,10 0,09	SI
promedio	0,06 0,08±0,02	
T5	0,80 0,7	SI
promedio	0,5 0,66±0,15	
T6	0,1 0,7	SI
promedio	0,6 0,46±0,32	

Nota: Elaboración propia.

Figura 4

Resultados de la conductividad eléctrica de la muestra de agua del río Huasahuasi tratadas con *A. platensis*



Nota: Elaboración propia.

3.3.2. Variación de fósforo total

La Figura 5 muestra los valores de fósforo total decrecientes en todos los tratamientos a medida que se incrementaba la biomasa de *A. platensis*. El T1 fue el que mostró valor máximo con $0,17 \pm 0,06$ mg/L y el mínimo fue T6 con $0,013 \pm 0,005$ mg/L (Tabla 6). Los T4, T5 y T6 cumplen con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017).

El resultado del ANOVA realizado a los tratamientos y los valores del fósforo total (ver Apéndice 4) mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$). El análisis *post hoc* de comparaciones múltiples (prueba de Tukey) mostró que los tratamientos T4, T5 y T6 registraron diferencias significativas al 5 % con respecto a los otros tratamientos (ver Apéndice 5).

Tabla 6

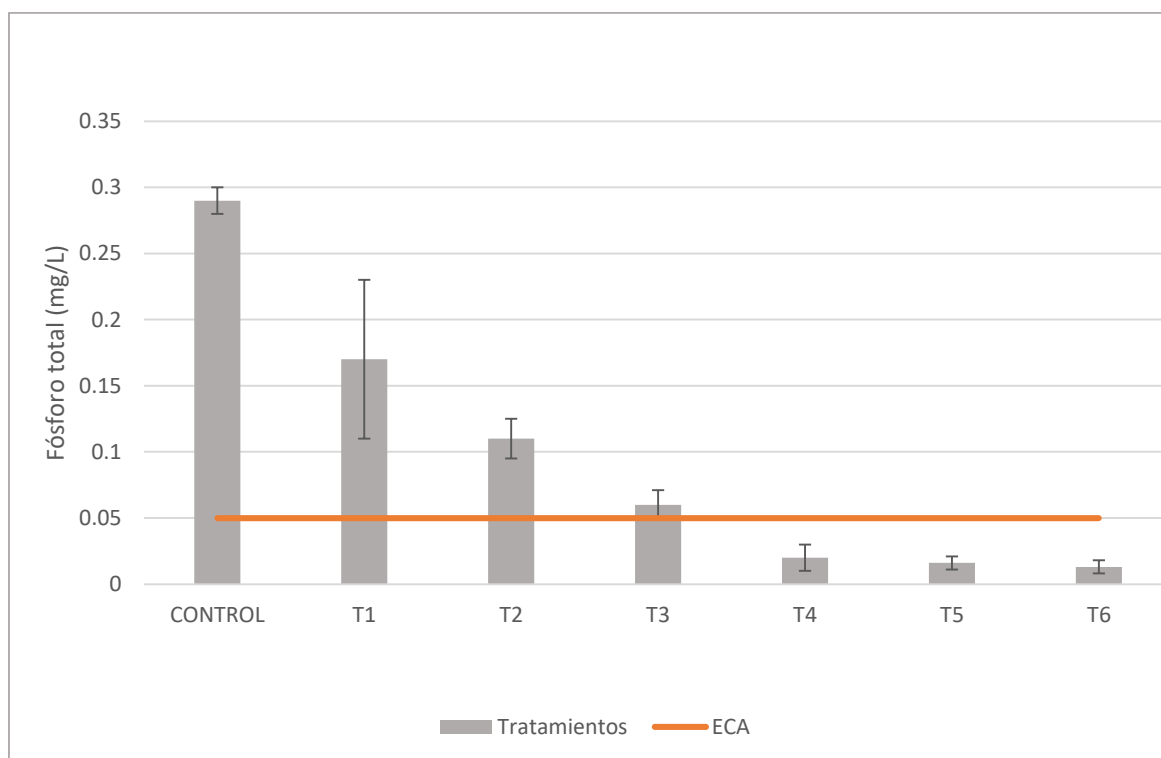
Valores obtenidos del fósforo total de las aguas del río Huasahuasi después de los tratamientos con *A. platensis*

Tratamientos		Cumplimiento de ECA
control	0,30	SI
	0,31	
	0,29	
promedio	0,29±0,01	
T1	0,10	SI
	0,22	
	0,19	
promedio	0,17±0,06	
T2	0,13	SI
	0,11	
	0,10	
promedio	0,11±0,015	
T3	0,05	SI
	0,07	
	0,05	
promedio	0,06±0,011	
T4	0,03	SI
	0,02	
	0,01	
promedio	0,02±0,01	
T5	0,01	SI
	0,02	
	0,02	
promedio	0,016±0,005	
T6	0,01	SI
	0,01	
	0,02	
promedio	0,013±0,005	

Nota: Elaboración propia.

Figura 5

Resultados del fósforo total de la muestra de agua del río Huasahuasi tratadas con *A. platensis*



Nota: Elaboración propia.

3.3.3. Variación del nitrógeno total

En la Figura 6 se muestra los valores de nitrógeno total decrecientes en todos los tratamientos a medida que se incrementaba la biomasa de *A. platensis*. El T1 fue el que mostró valor máximo con $2,16 \pm 0,2$ mg/L y el mínimo fue T6 con $0,10 \pm 0,015$ mg/L (Tabla 7). Los resultados de los tratamientos no aplican a los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017).

El resultado del ANOVA entre los tratamientos y los valores del nitrógeno total (ver Apéndice 6) muestra diferencias significativas ($p < 0,05$). El análisis *post hoc* de comparaciones múltiples (prueba de rango múltiple de Tukey) a un nivel de significancia del 5 %, mostraron que a medida que se incrementa la biomasa de *A. platensis* disminuye la cantidad de nitrógeno en las aguas tratadas (ver Apéndice 7).

Tabla 7

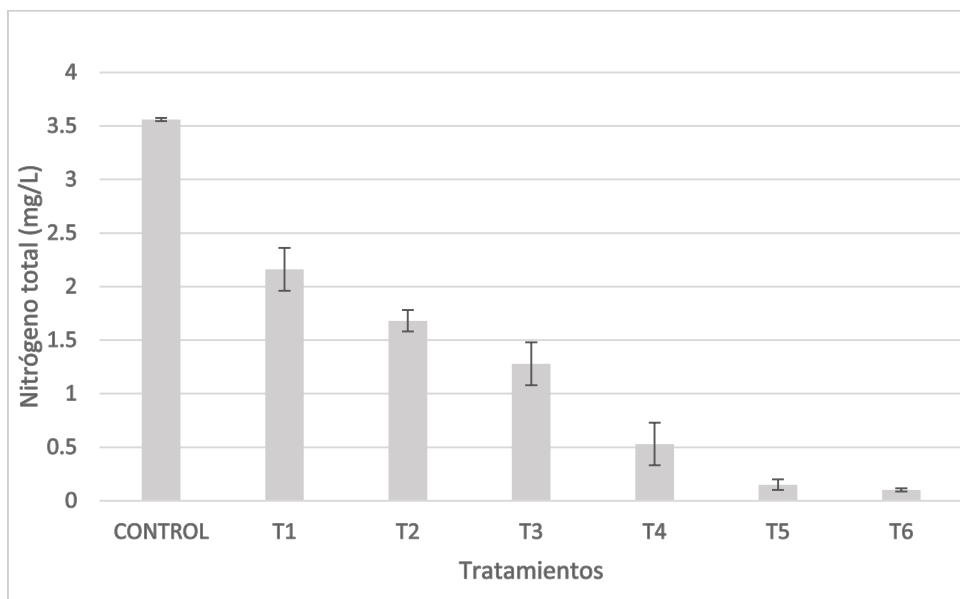
Valores obtenidos del nitrógeno total de las aguas del río Huasahuasi después de los tratamientos con *A. platensis*

Tratamientos		Cumplimiento de ECA
	3,56	
control	3,55	NA
	3,58	
promedio	3,56±0,015	
	2,1	
T1	2,4	NA
	2,0	
promedio	2,16±0,2	
	1,8	
T2	1,6	NA
	1,7	
promedio	1,68±0,1	
	1,5	
T3	1,2	NA
	1,1	
promedio	1,28±0,2	
	0,60	
T4	0,30	NA
	0,70	
promedio	0,53±0,20	
	0,20	
T5	0,10	NA
	0,15	
promedio	0,15±0,05	
	0,10	
T6	0,12	NA
	0,09	
promedio	0,10±0,015	

Nota: Elaboración propia. NA: No aplica

Figura 6

Resultados del nitrógeno total de la muestra de agua del río Huasahuasi tratadas con *A. platensis*



Nota: Elaboración propia.

3.3.4. Variación del pH

La Figura 7 muestra los valores de pH crecientes en todos los tratamientos a medida que se incrementaba la biomasa de *A. platensis*. El T6 fue el que mostró valor máximo con $8,66 \pm 0,15$ y el mínimo fue T1 con $7,76 \pm 0,057$ (Tabla 8). Los resultados de los tratamientos si cumplen con la norma (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017) tal como se aprecia en la Figura 7.

El resultado del ANOVA entre los tratamientos y el pH (ver Apéndice 8) mostró diferencias significativas ($p < 0,05$). El análisis *post hoc* de comparaciones múltiples (prueba de rango múltiple de Tukey) a un nivel de significancia del 5 %, mostraron que a medida que se incrementa la biomasa de *A. platensis* aumenta el pH en las aguas tratadas (ver Apéndice 9).

Tabla 8

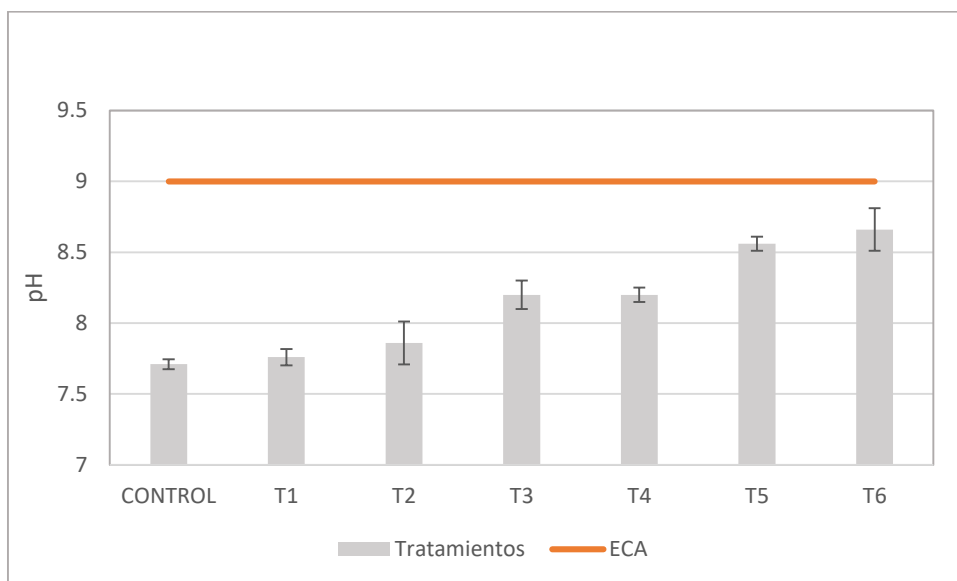
Valores obtenidos de pH de las aguas del río Huasahuasi después de los tratamientos con *A. platensis*

Tratamientos		Cumplimiento de ECA
control	7,68	Si
	7,70	
	7,75	
promedio	7,71±0,036	
T1	7,70	Si
	7,80	
	7,70	
promedio	7,76±0,057	
T2	7,70	Si
	7,90	
	8,0	
promedio	7,86±0,152	
T3	8,1	Sí
	8,3	
	8,0	
promedio	8,2±0,10	
T4	8,2	Si
	8,0	
	8,4	
promedio	8,2±0,05	
T5	8,6	Si
	8,5	
	8,6	
promedio	8,56±0,05	
T6	8,80	NA
	8,70	
	8,50	
promedio	8,66±0,15	

Nota: Elaboración propia.

Figura 7

Resultados del pH de la muestra de agua del río Huasahuasi tratadas con *A. platensis*



Nota: Elaboración propia.

3.3.5. Variación de los sólidos suspendidos totales (SST)

Los valores de los sólidos suspendidos totales se mostraron decrecientes en todos los tratamientos a medida que se incrementaba la biomasa de *A. platensis*. El T1 fue el que mostró valor máximo con $166 \pm 4,0$ y el mínimo fue T6 con $89,0 \pm 1,0$ (Tabla 9). Los resultados de T5 y T6 si cumplen con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017), tal como se aprecia en la Figura 8.

El resultado del ANOVA entre los tratamientos y los SST (ver Apéndice 10) mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$). El análisis *post hoc* de comparaciones múltiples (prueba de rango múltiple de Tukey) a un nivel de significancia del 5 %, mostraron que a medida que se incrementa la biomasa de *A. platensis* disminuye SST en las aguas tratadas (Ver Apéndice 11).

Tabla 9

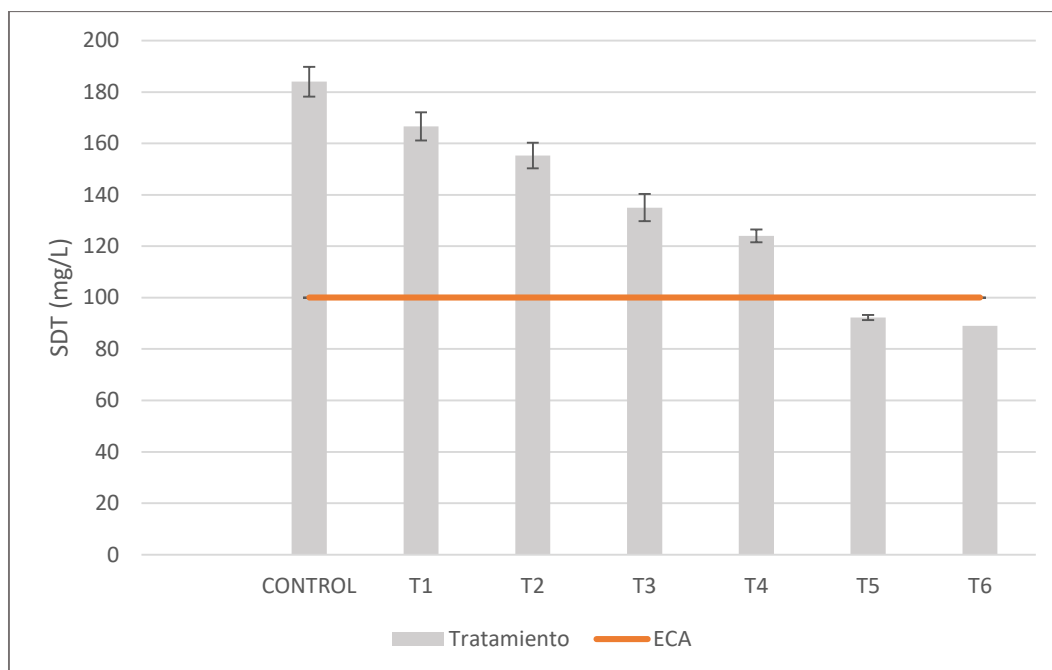
Valores obtenidos de SST de las aguas del río Huasahuasi después de los tratamientos con *A. platensis*

Tratamientos		Cumplimiento de ECA
	184	
control	180	NO
	188	
promedio	184,0±4,0	
	170	
T1	160	NO
	160	
promedio	166,6±5,77	
	150	
T2	161	NO
	155	
promedio	155,3±5,50	
	130	
T3	135	NO
	140	
promedio	135,0±5,0	
	120	
T4	130	NO
	122	
promedio	124,0±5,29	
	90	
T5	95	SI
	92	
promedio	92,3±2,51	
	88	
T6	90	SI
	89	
promedio	89,0±1,0	

Nota: Elaboración propia.

Figura 8

Resultados de los SST de la muestra de agua del río Huasahuasi tratadas con *A. platensis*



Nota: Elaboración propia

3.3.6. Variación del oxígeno disuelto (OD)

Los valores del oxígeno disuelto (OD) se mostraron crecientes en todos los tratamientos a medida que se incrementaba la biomasa de *A. platensis*, excepto el control que mostró un decrecimiento en sus valores. El T5 fue el que mostró valor máximo con $8,9 \pm 0,32$ y el mínimo fue T1 con $8,60 \pm 0,17$ (Tabla 10). Los resultados si cumplen con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017), tal como se observa en la Figura 9.

El resultado del análisis de varianza (ANOVA) mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos y los valores de OD (ver Apéndice 12). El análisis *post hoc* de comparaciones múltiples de los tratamientos sólo encontró diferencias significativas al control (ver Apéndice 13).

Tabla 10

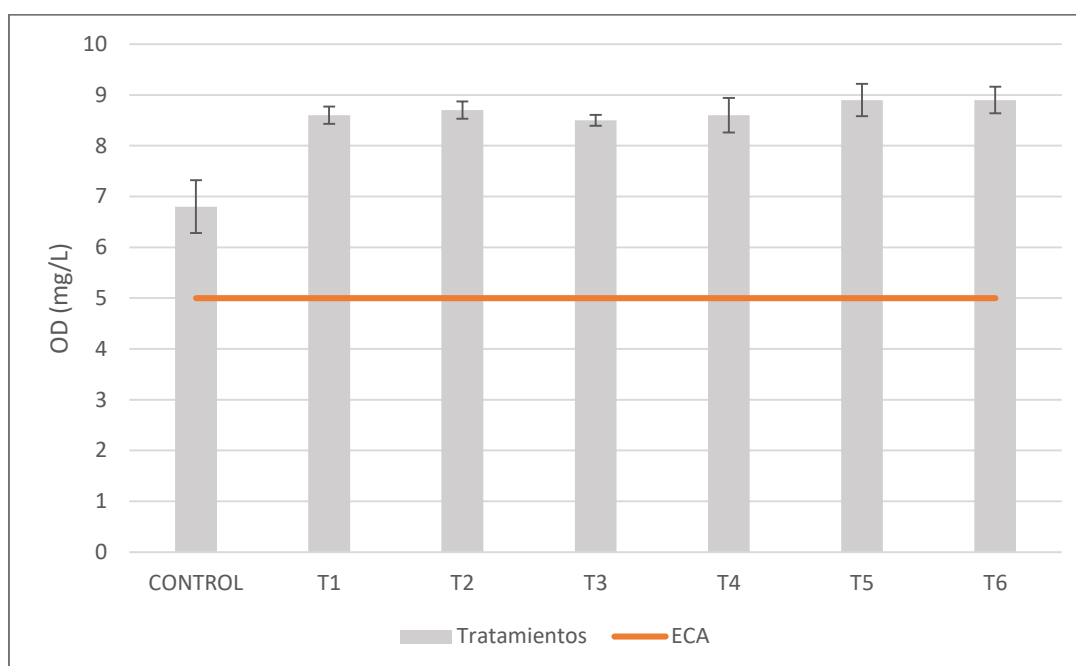
Valores obtenidos de OD de las aguas del río Huasahuasi después de los tratamientos con *A. platensis*

Tratamientos		Cumplimiento de ECA
control	7,2	SI
	7,0	
	6,2	
promedio	6,8±0,52	
T1	8,4	SI
	8,7	
	8,7	
promedio	8,6±0,17	
T2	8,5	SI
	8,8	
	8,8	
promedio	8,7±0,17	
T3	8,6	SI
	8,6	
	8,4	
promedio	8,5±0,11	
T4	8,2	SI
	8,8	
	8,8	
promedio	8,6±0,34	
T5	8,5	SI
	9,0	
	9,1	
promedio	8,9±0,32	
T6	9,0	SI
	9,1	
	8,6	
promedio	8,0±0,26	

Nota: Elaboración propia.

Figura 9

Resultados de los valores de OD de la muestra de agua del río Huasahuasi tratadas con *A. platensis*



Nota: Elaboración propia.

3.4. Evaluación del efecto de la biomasa de *Arthrospira platensis* (Nordstedt) en la remoción de coliformes fecales y totales

Los valores del porcentaje de remoción de coliformes fecales y totales fueron crecientes a medida que aumentó la concentración de la biomasa de la microalga *A. platensis*. El porcentaje de remoción de coliformes fecales mostró un valor máximo para T6 con 99,80 % y el mínimo para T1 con 35 % (Tabla 11), mientras que el porcentaje máximo de remoción de coliformes totales fue para T6 con 98,02, y el mínimo fue para T1 con 44,71 %.

El ANOVA no mostró diferencias significativas entre los tratamientos y el porcentaje de remoción de coliformes fecales (ver Apéndice 14) y coliformes totales (ver Apéndice 16). El análisis *post hoc* de comparaciones múltiples (prueba de rango múltiple de Tukey) a un nivel de significancia del 5 %, mostraron que a medida que se incrementa la biomasa de *A. platensis* no aumenta significativamente ($p > 0,05$) el porcentaje de remoción de coliformes fecales (ver Apéndice 15) y totales (ver Apéndice 17) en las aguas tratadas. La Figura 10

muestra los resultados de remoción de coliformes fecales de T3, T4, T5 y T6 que cumplen con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua (<2000 NMP/100ml), mientras que T1 y T2 no cumplen con estos estándares (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017). La Figura 11 muestra los porcentajes de remoción de los coliformes totales.

Tabla 11

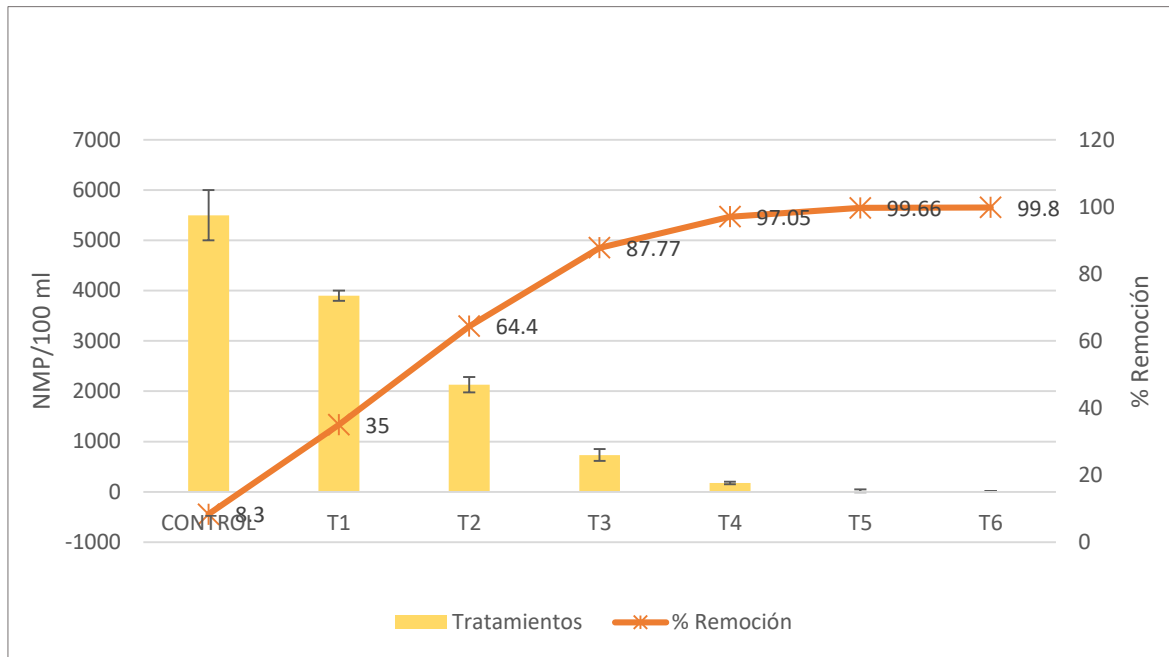
Valores de la remoción de coliformes fecales y totales por efecto de la biomasa A. platensis

Tratamientos	Coliformes fecales	Coliformes totales
control	6000	16200
	5500	15000
	5000	14500
Promedio	5500±500	15233±873
% remoción	8,33	-8,8
T1	4000	7400
	3800	8020
	3900	7800
Promedio	3900±100	7740±314,3
% remoción	35,0	44,71
T2	2000	7000
	2300	8000
	2100	6050
Promedio	2133±152,7	7016±973
% remoción	64,45	49,88
T3	800	2800
	600	3000
	800	3100
Promedio	733,3±115,4	2966±152
% remoción	87,77	78,88
T4	150	2500
	200	1500
	180	2600
Promedio	176,60±25,16	2200±608,2
% remoción	97,05	84,28
T5	0,0	400
	10,0	320
	40,0	500
Promedio	20±26,4	406,6±90,18
% remoción	99,66	97,1
T6	10	200
	10	280
	15	350
Promedio	11,66±2,8	276±75,05
% remoción	99,80	98,02

Nota: Elaboración propia.

Figura 10

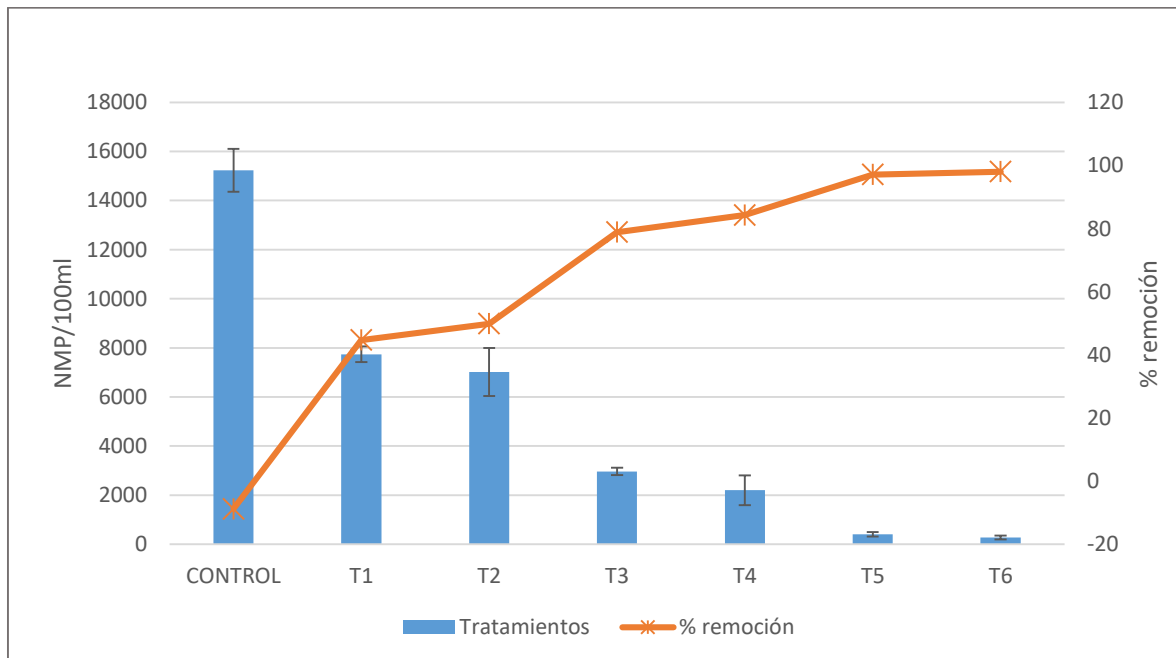
Remoción de los coliformes fecales por A. platensis



Nota: Elaboración propia.

Figura 11

Remoción de los coliformes totales por A. platensis



Nota: Elaboración propia.

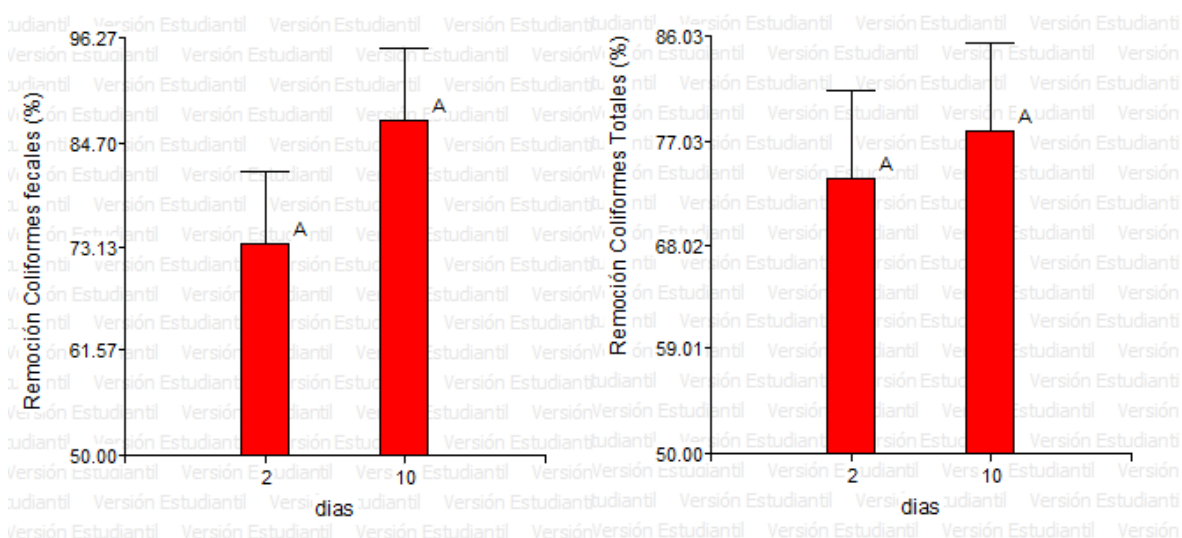
3.5. Efecto de los periodos de evaluación de los tratamientos en la remoción de coliformes fecales y coliformes totales

La Figura 12 muestra los resultados de la remoción de coliformes fecales y totales a los periodos de 2 y 10 días de exposición con la microalga *A. platensis*. Los tratamientos T1 y T2 fueron los que registraron menores porcentajes de remoción de coliformes fecales (35,0 y 64,45 %) y coliformes totales (44,71 y 49,71 %). Seguidamente, T3 y T4 registraron un aumento en el porcentaje de remoción de coliformes fecales (87,77 y 97,05 %) y coliformes totales (78,88 y 84,28 %). Finalmente, T5 y T6 obtuvieron altos porcentajes de remoción para coliformes fecales (99,66 y 99,8 %) y para coliformes totales (97,1 y 98,02 %).

El análisis de la varianza realizado para evaluar el efecto de los días en la remoción de coliformes fecales no fue significativa ($p > 0,05$) (Ver Apéndice 14). La prueba *post hoc* de Tukey no mostró diferencias significativas entre las horas evaluadas (Ver Apéndice 15). El análisis de la varianza realizado para evaluar el efecto de los días en la remoción de coliformes totales no fue significativo ($p > 0,05$) (Ver Apéndice 16). La prueba *post Test* de Tukey no mostró diferencias significativas entre las horas evaluadas (Ver Apéndice 17).

Figura 12

Resultados de la remoción de coliformes fecales y totales a los periodos de 2 y 10 días de exposición con A. platensis



Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

CAPÍTULO IV: DISCUSIONES

4.1. Parámetros de crecimiento de *A. platensis*

Con respecto al medio de cultivo usado, en la presente investigación para la obtención de la biomasa de *A. platensis*, se contó con el medio de cultivo Zarrouk, con el que se obtuvo la tasa de crecimiento exponencial (r) de $0,13 \text{ d}^{-1}$ a temperaturas de 25 a 30 °C, estos valores son similares a los reportados por Hanco y Pastor (2021) quienes mostraron una tasa de crecimiento de $0,117 \text{ d}^{-1}$ para *A. platensis* a 30 °C, utilizando la solución hidropónica de la Molina modificada. De la misma manera Sánchez (2014) reportó la tasa de crecimiento de *A. platensis* de $0,153 \text{ d}^{-1}$ utilizando como medio de cultivo Fast Biol. Por otro lado, Sánchez (2018) obtuvo una tasa de crecimiento para *A. platensis* de $0,21 \text{ d}^{-1}$ en medio de cultivo Zorrouk. Además, en esta investigación se pudo observar color oscuro del cultivo, lo que reflejó su alta densidad y una alta velocidad de crecimiento de la microalga, tal como lo refiere Sánchez (2014).

En este estudio se verificó el crecimiento de la microalga y su valor de pH, obteniendo el valor de 8,2 a 30 días de cultivo. Similar resultado fue obtenido por Sánchez (2014) logrando un crecimiento óptimo de *A. platensis* en pH alcalino de 8,0 a 9,86. De la misma manera Rodríguez y Triana (2006) evaluaron el pH del cultivo de *Spirulina* sp. bajo condiciones de laboratorio en 30 días obteniendo valores superiores a 9,0. Este valor de pH alcalino de los trabajos antes mencionados se sustenta en que la microalga libera grupos hidroxilos(-OH) al medio de cultivo alcalinizándolo, esto como medida de protección de la microalga hacia otros organismos, tal como lo menciona Sánchez (2014). Por lo que se establece que la medida de pH alcalinos en los medios de cultivo en especial de esta microalga, es clave para establecer un correcto desarrollo del organismo.

4.2. Parámetros físico-químico y microbiológico de las muestras de agua del río Huasahuasi tratadas con la *A. platensis*

La variación de la conductividad eléctrica por acción de microalgas ha sido evaluada en aguas residuales. Así, Renuka *et al.* (2014) reportaron disminuciones de la conductividad eléctrica en estaciones mensuales de 1,91 a 1,04 mS/cm, influenciado principalmente por microalgas del grupo de las cianofitas. De similar resultado, en el estudio de Cartagena y Malo (2017) la microalga *Chlorella vulgaris* logró la disminución de la conductividad eléctrica de 0,98 a 0,69 mS/cm en aguas residuales. En la presente investigación la disminución de la conductividad fue de 0,5 a 0,08 mS/cm, logrando una reducción total de 84,0 %, lo que refleja que *A. platensis* es una especie que influye en este parámetro, evidenciándose en los periodos de exposición al mostrar un descenso de la conductividad eléctrica. A su vez, este resultado es corroborado con la prueba de Tukey (Tabla 14), a un nivel de significancia del 5 %, lo que muestra una clara disminución de la conductividad eléctrica conforme se incrementa la biomasa de *A. platensis*. Esta microalga, así como otros microorganismos, consumen sales que se encuentran en los cuerpos de agua, lo que contribuye con el descenso de este parámetro, tal como lo refiere Ochoa (2019).

Sobre el fósforo total (PT), Ortiz-Villota *et al.* (2018) reportaron valores de reducción del fósforo por la microalga *Spirulina platensis* las cuales superan el 84 % en el tratamiento de aguas eutrofizadas. También, Ma *et al.* (2014) obtuvieron menores valores de remoción de PT (69 %) en aguas residuales usando la microalga *Chlorella* en 2 días de exposición. En el presente estudio este parámetro se redujo significativamente ($p < 0,05$) con 0,30 a 0,013 mg/L y con remociones del 95,6 % en periodos de exposición de 10 días. Esta alta disminución del fósforo por parte de *A. platensis* se puede explicar por qué las microalgas tienden a almacenar un exceso de fósforo, necesario para el crecimiento y biosíntesis de biomasa, tal como lo manifiesta Markou y Georgakakis (2011) y Zhu *et al.* (2015).

Relativo al nitrógeno total (NT), Hongyang *et al.* (2011) reportaron altas reducciones de este nutriente en aguas residuales usando como organismo depurador a la microalga *Chlorella* en su forma libre con remoción de 88,8 %. Por otro lado, Ortiz-Villota (2018) obtuvieron altas reducciones de nitratos (87 %) y nitritos (89 %) en cuerpos de agua contaminada

utilizando como organismo remediador a *Spirulina máxima*. Zhou *et al.* (2017) reportaron reducciones máximas del NT en un 92,49 % en el tratamiento de aguas residuales salinas usando a *Spirulina platensis*. En el presente estudio la microalga *A. platensis* redujo el NT de las aguas del río Huasahuasi de 3,56 a 0,10 mg/L. Además, el análisis de la prueba de Tukey a un nivel de significancia del 5 % mostró que a medida que se incrementa la biomasa de *A. platensis* la cantidad de nitrógeno en las aguas tratadas disminuye. Esta alta disminución del NT puede estar relacionada con que a alta biomasa microalgal, más rápido es el consumo del nitrógeno, esto principalmente a través de la asimilación, que al igual que el fósforo son elementos fundamentales para el desarrollo de la microalga, como lo refiere Zhou *et al.* (2017).

Sobre la variación del pH, Jiménez *et al.* (2003) obtuvo resultados que demuestran que *Spirulina* tiende a ejercer un buen desarrollo a pH alcalino, registrando incrementos de 9,0 a 9,8 en la producción de biomasa algal. Similar resultado, pero en el tratamiento de aguas residuales salinas, fue reportado por Zhou *et al.* (2017) quienes obtuvieron el valor máximo de pH a 9,5. En la presente investigación los valores de pH se mostraron crecientes (7,68 a 8,66) en todos los tratamientos a medida que se incrementó la biomasa de *A. platensis*, tal como lo corrobora la prueba de Tukey (Tabla 14), a un nivel de significancia del 5 %. El incremento del pH en los medios favorece a esta microalga cuyo rango óptimo es de 9,5 a 10,5; además, este incremento permite a *Spirulina* adaptarse a condición extrema alcalófica, permitiendo la eliminación de otros microorganismos. Por lo tanto, este parámetro influye significativamente en el desarrollo de *A. platensis* en condición libre como en pruebas experimentales piloto, tal como refiere Jiménez *et al.* (2003).

Con respecto a los sólidos suspendidos totales (SST), Sivakalai y Ramanathan (2013) usaron *Spirulina platensis* en el tratamiento de aguas residuales de la industria textil, logrando altas reducciones de los SST para aguas rojas de 569 a 56 mg/L a pH de 9,2 a 11. Similar resultado se obtuvo en la presente investigación donde *A. platensis* pudo reducir significativamente ($p < 0,05$) los SST presentes en las aguas del río Huasahuasi de 184 a 89,0 mg/L. Los resultados mostrados indican que a mayor concentración de *A. platensis* se genera mayor remoción de SST, lo que lo convierte en una eficiente alga en el tratamiento para efluentes con alta carga de sólidos.

En cuanto al oxígeno disuelto (OD), Jiménez *et al.* (2003) reportaron incrementos significativos de OD de 10 a 30 mg/L, influenciados principalmente por el incremento de la biomasa algal de *Spirulina*. Por otro lado, Souza *et al.* (2018) reportaron leves reducciones de la concentración de OD de 6,4 a 6,1 en aguas de piscicultura con la microalga *Spirulina platensis* sin afectar el crecimiento de la microalga. En el presente estudio *A. platensis* presentó un ligero incremento de 8,6 a 8,9 mg/L con respecto al control (6,8±0,52). Este aumento del OD podría estar relacionado por la actividad fotosintética que desarrolló la microalga bajo las condiciones de laboratorio (Hernández-Pérez y Labbé, 2014).

4.3. Efecto de la biomasa de *Arthrospira platensis* en la remoción de coliformes fecales y totales

El efecto de las microalgas en la remoción de coliformes ha sido abordado por Ansa *et al.* (2012) quienes estudiaron aguas residuales tratadas durante 10 días y aguas residuales crudas para determinar el efecto de la densidad variable de *Chlorella* sp. ($\geq 13,9$ mg/L) a través de la tasa de descomposición de coliformes fecales, obteniendo una tasa de decaimiento rápido a pH alcalinos en aguas residuales de concentración media en comparación con aguas residuales de baja concentración. En la presente investigación las condiciones de biomasa de *A. platensis* fueron de 1, 2 y 4 g/L, a pH alcalinos (7,6-8,66) y OD (8,6-8,9 mg/L) similares a lo referido por Ansa *et al.* (7,8-8,8 mg/L). Estas condiciones contrastadas con la prueba de Tukey, a un nivel de significancia del 5 %, mostraron que a medida que se incrementa la biomasa de *A. platensis* aumenta significativamente el porcentaje de remoción de coliformes fecales y totales en las aguas tratadas. Esta reducción de las coliformes es debido a que las microalgas como *A. platensis* tienden a elevar el pH y generar un aumento de la concentración de oxígeno, ambos considerados bactericidas para las coliformes fecales, así lo refieren Davies-Colley *et al.* (1999), Awuah *et al.* (2006) y Delanka-Pedige *et al.* (2019). Además, se ha observado que las tasas de desintegración de las coliformes fecales aumentan con una mayor concentración de oxígeno disuelto. Curtis *et al.* (1992) explicaron que las microalgas en presencia de luz generan formas tóxicas de moléculas de oxígeno (peróxidos), que aumentan al incrementarse la concentración de OD. Estas formas tóxicas son dañinas para las bacterias, en especial a su membrana plasmática. Por lo tanto, se observa que a mayor biomasa algal se genera una mayor remoción de coliformes fecales influenciados por pH y OD.

4.4. Efecto de los periodos de exposición de los tratamientos en la remoción de coliformes fecales y totales

En la presente investigación se expuso la actividad de *A. platensis* en la remoción de coliformes fecales y totales, encontrando remociones máximas a los 10 días con 99,8 % y para coliformes fecales y con 98,02 % para coliformes totales. Estos valores de remoción de coliformes fecales fueron superiores a lo reportado por De Souza *et al.* (2022) con 71,7 % realizado la cianobacteria *Spirulina platensis* a 8 días de exposición en aguas residuales domésticas. De la misma manera estos altos valores de remoción de coliformes totales (99,78 %) fueron informados por Gupta *et al.* (2016) en el tratamiento de aguas residuales a periodos menores menores de 16 días realizados por la microalga *Chlorella sorokiniana*. Por lo que se demuestra que diversas microalgas generan influencia negativa sobre las poblaciones de coliformes a diferentes periodos de exposición.

En la presente investigación se lograron remociones a coliformes fecales y totales a 2 y 10 días, que al ser evaluados para determinar el efecto del periodo más óptimo se determinó que no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$). Por lo tanto, los periodos de exposición con *S. platensis* de hasta 10 días van a mostrar remociones similares de coliformes.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. La microalga *A. platensis* logró un crecimiento óptimo, obteniendo una tasa de crecimiento de $0,13 \text{ d}^{-1}$, una capacidad de carga (k) de $34,55 \text{ mg/L}$ y un tiempo de duplicidad de 5,33 días. Este crecimiento fue influenciado por un pH alcalino (8,2) que presento el medio de cultivo Zarrouk y que permitió la obtención de la biomasa algal para el desarrollo de la investigación.
2. Los resultados demuestran la eficacia de *A. platensis* en la reducción de las concentraciones de los principales parámetros generadores de contaminación del río Huasahuasi, logrando el cumplimiento del 87,5 % de los parámetros con respecto al ECA para aguas superficiales después del tratamiento con la microalga para la conductividad eléctrica, DBO_5 , fósforo total, nitrógeno total, SST, OD y coliformes fecales.
3. Se evidencia un efecto positivo en la eliminación de las coliformes fecales con el aumento de la biomasa algal, logrando registrar una remoción máxima de 99,8 % en T6. Esta actividad no presentó interferencias durante el tratamiento realizado a las aguas del río Huasahuasi.
4. El análisis del efecto de los periodos de exposición en la remoción de coliformes fecales y totales demuestra que, *A. platensis* genera influencia negativa sobre las poblaciones de coliformes a diferentes periodos de exposición. Además, los periodos de exposición con *A. platensis* sobre las aguas del río Huasahuasi de hasta 10 días van a mostrar remociones similares de coliformes.

5. En la presente investigación se expuso la actividad de *A. platensis* en la remoción de coliformes en aguas del río Huasahuasi, obteniendo como resultado una alta remoción para coliformes fecales (99,66 y 99,8 %) y para coliformes totales (97,1 y 98,02 %) para y 2 y 10 días, respectivamente.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

1. Realizar nuevos tratamientos con *A. platensis* sobre aguas contaminadas considerando parámetros como la iluminación, fotoperiodo y variaciones de temperatura, lo que permitirá dar un mejor manejo de la microalga en procesos de biorremediación de aguas.
2. Aprovechar la biomasa producida de *A. platensis* para otros fines como la transformación a biocombustible, energía ecológica y amigable con el ambiente.
3. Se recomienda que el estudio realizado bajo condiciones de laboratorio sea aplicado a campo con la finalidad de recuperar las aguas contaminadas del río Huasahuasi, Junín, por aplicar una tecnología de bajo costo y ser amigable con el ambiente.
4. Se recomienda realizar evaluaciones de crecimiento algal en otros medios de cultivo, permitiendo obtener un medio que reúna las características óptimas para la producción de esta microalga logrando establecer un menor costo.

REFERENCIAS

- Abarca, S., y Mora, B. (2007). Contaminación del agua. *Biocenosis*, 20(137-139).
- Allaert, C., y Escolá, M. (2002). Métodos de análisis microbiológicos de los alimentos (Primera ed.). Madrid-España: Díaz de Santos.
- Ansa, E., Lubberding, H.J.y Gijzen HJ. (2012). The effect of algal biomass on the removal of faecal coliform from domestic wastewater. *Appl Water Sci* 2:87–94. <https://doi.org/10.1007/s13201-011-0025-y>
- APHA. (2000). Métodos normalizados para el análisis de agua potable y residual (17ava 1147 ed.). Madrid-España.
- Awuah, E. (2006) Pathogen removal mechanisms in Macrophyte and algal waste stabilization ponds. UNESCO-IHE Institute. CRC Press, Delft, p 160.
- Autoridad Nacional del Agua (2011). Protocolo Nacional de la Calidad en Cuerpos Naturales de Agua Superficial. Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/215>
- Bautista, C. (2003) Aguas. Guía Técnico-Jurídica. Mundi-Prensa. Madrid, España. 25 pp.
- Buckley, D., Bender, D., Stahl, D., Martinko, J. y Madigan. M. (2015). Brock: Biología de los microorganismos. Editorial Pearson, México.
- Campos, I. (2003). Saneamiento Ambiental. Universidad Estatal a Distancia. Costa Rica. 225 pp
- Carrasco, S. (2019). Metodología de la investigación científica. Editorial San Marcos. 476 pp.
- Cartagena, J. C., y Malo, B. O. (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, Universidad de América]. Repositorio UA. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/6035>

- Chambi, J. (2021). *Remoción óptima de coliformes fecales por la microalga Chlorella vulgaris del río Torococha en efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales de las ciudades de Juliaca y Puno*. [Tesis de pregrado, Universidad Andina Nestor Cáceres Velásquez]. Repositorio de tesis de la UANCV. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/5051>
- Chemical-Company y Kemmer, F. (2005). *Manual del agua: su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*. Editorial Mc Grawhill/Interamericana de México.
- Chung, Y.C., Huang, C. y Tseng, C.P. (1996). Biodegradation of hydrogen sulde by a laboratory-scale immobilized *Pseudomonas putida*Ch11 biofilter. *Biotechnology Progress* 12, 773-778. <https://doi.org/10.1021/bp960058a>
- Colak, O. y Kaya, Z., (1988). A study on the possibilities of biological wastewater treatment using algae. *Doga Biyolji Serisi* 12 (1), 18–29.
- Curtis, T., Mara, D. y Silva, S. (1992). The effect of sunlight on faecal coliforms in ponds: implications for research and design. *Water Sci Technol* 26(7/8):1729–1738. <https://doi.org/10.2166/wst.1992.0616>
- Davies-Colley, RJ, Donnison, A., Speed, J., Ross, M. y Nagels, J. (1999) Inactivation of faecal indicator microorganisms in waste stabilisation ponds: interactions of environmental factors with sunlight. *Water Res* 33(5):1220–1230. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00321-2](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00321-2)
- Delanka-Pedige, H., Munasinghe-Arachchige, MK., Srimali, P.; Cornelius, J., Henkanatte-Gedera, S., Tchinda, T., Zhang, Y. y Nirmalakhndan, N. (2019). Pathogen reduction in an algal-based wastewater treatment system employing *Galdieria sulphuraria*. *Algal research* 39, 101423. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101423>
- De Souza, D. S., Valadão, R. C., Nascentes, A. L., Da Silva, L. D. B., y de Mendonça, H. V. (2022). Use of the cyanobacterium *Spirulina platensis* in cattle wastewater bioremediation. *Acta Scientiarum. Technology*, 44, 58806-e58806.
- Doria, C., Daza, A., Delique, H., Lopez, A., y Serna, J. (2008). Caracterización físico química y microbiológico de las aguas de reservorios en los resguardos indígenas localizados en la zona de influencia del complejo carbonifero Cerrejon. Documento de investigación G. L. territorios semiaridos del caribe y fundación Cerrejon para el agua en la Guarija.

- Erganshev, A.E. y Tajiev, S.H. (1986). Seasonal variations of phytoplankton numbers. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 14, 613–625. <http://www.journalijar.com/>
- Fernández, A., Alvítez, E. y Rodríguez, E. (2019). Taxonomía e importancia de "spirulina" *Arthrospira jenneri* (Cyanophyceae: Oscillatoriaceae). *Arnaldoa* 26 (3): 1091-1104 2019. <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26316>
- Gianoli, A. (2018). *Estudio microbiológico y físico químico de la calidad del agua en seis puntos de la bahía de Sechura – Piura*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Cayetano Heredia]. Repositorio institucional UPCH. <https://hdl.handle.net/20.500.12866/1441>
- Guadalupe, E. (2019). *Valoración económica ambiental de la cuenca hídrica del río Tarma ubicado en la provincia de Tarma de la región Junín*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio UNDAC. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1565>
- González, G. (2012). *Microbiología del agua conceptos y aplicaciones*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería Jario Garavito. Colombia.
- Gupta, S. K., Ansari, F. A., Shriwastav, A., Sahoo, N. K., Rawat, I., y Bux, F. (2016). Dual role of *Chlorella sorokiniana* and *Scenedesmus obliquus* for comprehensive wastewater treatment and biomass production for bio-fuels. *Journal of Cleaner Production*, 115, 255–264. doi:10.1016/j.jclepro.2015.12.04
- Hagemann, M., Techel, D. y Rensing, L. (1991) Comparison of salt- and heat-induced alterations of protein synthesis in the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803, *Arch. Microbiol.*, 155, 587. <https://doi.org/10.1007/BF00245354>
- Hanco, R. y Pastor, I. (2021). *Biorremediación de cromo presente en aguas contaminadas del río Chillón – Lima por la microalga Arthrospira platensis (Nordstedt) Gomont*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio institucional UCSS. <https://hdl.handle.net/20.500.14095/1261>
- Haroun, B.M., Sharaf, A.M. y Ibrahee, I. (1995). Evaluation of natural products in some common Egyptian marine algae. *J. Union, Arab. Biol.*, 2(B), 137–153.
- Hernández-Pérez, A y Labbé; J. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de biología marina y Oceanografía* 49 (2). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572014000200001>

- Hongyang, S., Yalei, Z., Chunmin, Z., Xuefei, Z. y Jinpeng, L. (2011). Cultivation of *Chlorella pyrenoidosa* in soybean processing wastewater. *Bioresource Technology* 102: 9884-9890. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.08.016>
- Horan, N.J. (1990). *Biological Wastewater Treatment Systems. Theory and operation*. John Wiley and Sons Ltd. Baffins Lane, Chichester. West Sussex PO 191 UD, England
- Hussein, J., Naji, S. y Al-Khafaji, N. (2018). Antibacterial properties of the *Chlorella vulgaris* isolated from polluted water in Iraq. *J. Pharm. Sci. & Res.*10(10): 2457-2460.
- Jiménez, C., Cossá, R. y Niell, F. (2003). Relationship between physicochemical variables and productivity in open ponds for the production of *Spirulina*: a predictive model of algal yield, *Aquaculture*, 221 (1-4):331-345. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00123-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00123-6)
- Khatri, N. y Tyagi, S. (2015). Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas, *Frontiers in Life Science*, 8:1,23-39, <https://doi.org/10.1080/21553769.2014.933716>
- Lavoie, A. y De la Nouë, J., (1985). Hyperconcentrated cultures of *Scenedesmus obliquus*. A new approach for wastewater biological tertiary treatment. *Water Res.* 19, 1437–1442. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(85\)90311-2](https://doi.org/10.1016/0043-1354(85)90311-2)
- Lorenzo, J. M., Munekata, P. E., Dominguez, R., Pateiro, M., Saraiva, J. A., y Franco, D. (2018). Main Groups of Microorganisms of Relevance for Food Safety and Stability: General Aspects and Overall Description. *Innovative Technologies for Food Preservation*, 53–107. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811031-7.00003-0>
- Loyola, S. (2018). *Contaminación fecal del agua dispuesta para el consumo humano con asociación con la presencia de bacterias patógenas en niños menores de cinco años de tres comunidades rurales*. [Tesis de maestría, Universidad Peruana Cayetano Heredia]. Repositorio UPCH. <https://hdl.handle.net/20.500.12866/3643>
- Ma, X.; Zhou, W.; Fu, Z.; Cheng, Y.; Min, M.; Liu, Y.; Zhang, Y.; Chen, P. y Ruan R. (2014). Effect of wastewater-borne bacteria on algal growth and nutrients removal in wastewater-based algae cultivation system. *Bio. Technol.* 167:8-13. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.087>
- Markou, G. y Georgakakis, D. (2011). Cultivation of filamentous cyanobacteria (blue green algae) in agro-industrial wastes and wastewaters: A review. *Applied Energy* 88(10):3389-3401.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.12.042>;h=repec:eee:appene:v:88:y:2011:i:10:p:3389-3401

Ministerio del Ambiente [MINAM] (2017). Decreto supremo N° 004-2017. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Lima, Perú.

Ochoa, L.A. (2019). *Utilización de Paramecium caudatum en el control de la eutrofización del agua en el distrito de Sapallanga – Junín 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/7131>

Ortiz-Villota, M. T., Romero-Morales, M. A., y Meza-Rodríguez, D. (2018). La biorremediación con microalgas (*Spirulina máxima*, *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris*) como alternativa para tratar la eutrofización de la laguna de Ubaque, Colombia. *Rev. Investig. Desarro. Innov*, 9(1), 163-176. <http://doi:10.19053/20278306.v9.n1.2018.8153>

Oswald, W.J. y Gotaas, H.B., (1957). Photosynthesis in sewage treatment. *Trans. Am. Soc. Civil. Eng.* 122, 73–105

Paredes, R. y Quinto, J. (2016). *Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo humano en el distrito de Palca provincia de Tarma, región Junín*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio institucional UNDAC. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/166>

Pelczar, R. (1990). Microbiología, 4ta. Edición (2da. En España). Editorial Mc Graw–Hill, México, Bogotá, Buenos Aires.

Phillips, D. (2014). *E. coli*. <https://www.microbiologiaitalia.it/batteriologia/escherichia-coli/>

Quispe, D (2017). *Calidad bacteriológica y físico-química del agua de seis manantiales del distrito de santa rosa-melgar universidad nacional del altiplano – Puno*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional UNAP. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5562>

Ramos, R. (2011). *Concentración de mercurio en orina y su relación con las lesiones de la cavidad bucal en la comunidad minera "santa filomena"*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio UNFV. <http://www.cop.org.pe/bib/tesis/RONALDJESUSRAMOSSALAZAR.pdf>

- Renaud, S.M., Parry, D.L., Thinh, L.V., (1994). Microalgae for use in tropical aquaculture. 1. Gross chemical and fatty acid composition of twelve species of microalgae from the Northern Territory, Australia. *J. Appl. Phycol.* 6 (3), 337–345. <https://doi.org/10.1007/BF02181948>
- Renuka, N., Sood, A., Prasanna, R. y Singh, A. (2014). Influence of seasonal variation in water quality on the microalgal diversity of sewage wastewater. *South African Journal of Botany* (90), 137-145. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2013.10.017>
- Rodríguez, A., y Triana, F. (2006). *Evaluación del pH en el cultivo de Spirulina sp. bajo condiciones de laboratorio*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia]. Repositorio Pontificia Universidad Javeriana. <http://hdl.handle.net/10554/8281>
- Romero, J. (2006). *Calidad del agua*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.
- Romero-Maza, L., Guevara, M., Arredondo, B., Gómez, B., Licett, B., y Freitas, L. (2011). Contenido de lípidos, ácidos grasos, exopolisacáridos y minerales de *Arthrospira maxima* cultivada en fotobiorreactores. *Agronomía tropical*, 61(3-4), 231-240.
- Romero, L., Guevara, J. M., Gómez, B., Vega, B. A., Cortez, R., y Licet, B. (2017). Producción de pigmentos procedentes de *Arthrospira maxima* cultivada en fotobiorreactores. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 19(1), 108-114.
- Sánchez, H. (2014). Cultivo de *Spirulina platensis* (Gomont) geitler en fast biol t20 para la obtención de biomasa como fuente alternativa de proteína. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]
- Sánchez, K. (2018). *Evaluación del diseño de un fotobiorreactor con iluminación voltaica para la obtención de biomasa Arthrospira platensis (Nordstedt) Gomont empleando agua residual*. [Tesis de pregrado. Universidad Católica Sedes Sapientiae. Lima, Perú.] Repositorio UCSS. <https://hdl.handle.net/20.500.14095/537>
- Sánchez-Pérez, J., Vargas-Morales, M. y Méndez-Sánchez, J. (2000). Calidad bacteriológica del agua para consumo humano en zonas de alta marginación de Chiapas, *Salud Publica de México*: 42:397-406. <http://dx.doi.org/10.1590/S0036-36342000000500005>
- Severiche, C. y González, H. (2012). Evaluación analítica para la determinación de sulfatos en agua por método turbidimétrico modificado. Editorial USBMED. Colombia

- Sivakalai, N. y Ramanathan (2013). Textile wastewater following purge with *Spirulina platensis*. *J. Biophys*, 23 (1–2): 27–34.
- Souza, S., Souza J., Damasceno, H., Sousa, P. y Lobo, R. (2018). Use of *Spirulina platensis* in treatment of fish farming wastewater. *Revista Ciência Agronômica*, 49(4): 599-606. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20180068>
- Torzillo, G. y Vonshak, A. (1994) Effect of light and temperature on the photosynthetic activity of the cyanobacterium *Spirulina platensis*. *Biomass and Bioenergy*, 6, 399. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(94\)00076-6](https://doi.org/10.1016/0961-9534(94)00076-6)
- Van der Steen, P., Brenner, A. Shabtai, Y. y Oron, G. (2000). Improved faecal coliform decay in integrated duckweed and algal ponds. *Water Sci. Technol.* 42 (10- 11):363-370. <https://doi.org/10.2166/wst.2000.0682>
- Vonshak, A. (1997). *Spirulina: Growth, Physiology and Biochemistry*. Pp. 43-48 In: *Spirulina Platensis* (Arthrospira): Physiology, Cell-Biology, and Biotechnology. Taylor & Francis
- Vonshak, A. y Richmond, A. (1981) Photosynthetic and respiratory activity in *Anacystis nidulans* adapted to osmotic stress, *Plant Physiol.*, 68, 504. <https://doi.org/10.1104/pp.68.2.504>
- Zarrouk, C. (1966). *Contribution to the study of a Cyanophyceae influence of various physical and chemical factors on growth and phototsynthesis Spirulina maxima. Setch. and Gardner, Geithner* [Tesis posgrado, Universidad de Paris].
- Zhu, S., Wang, Y., Xu, J., Shang, S., Wang, Z., Xu, J. y Yuan, Z. (2015). Luxury uptake of phosphorus changes the accumulation of starch and lipid in *Chlorella* sp. under nitrogen depletion, *Bioresource Technology*, 198: 165-171. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.142>
- Zhou, W., Li, Y., Gao, Y. y Zhao, H. (2017). Nutrients removal and recovery from saline wastewater by *Spirulina platensis*, *Bioresource Technology*, 245: 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.160>

TERMINOLOGÍA

Agua natural. Recurso acuático que se encuentra en la naturaleza y es abundante (González, 2012).

Agua natural superficial. Es el cuerpo de agua que se encuentra en la superficie del terreno formando los ríos, lagos, manantiales (González, 2012).

Agua natural subterránea. Es el cuerpo de agua que se encuentra bajo la superficie del terreno y discurre por conductos subterráneos pudiendo ser su afloramiento natural o extracción artificial (González, 2012).

Características bacteriológicas. Son aquellas expresiones que se originan por la presencia de bacterias libres y nocivas a la salud humana (González, 2012).

Cultivo en placas. El vertido en placa y el esparcido en placa son métodos utilizados para realizar la siembra, identificación y conteo de bacterias, en el método de vertido en placa, la muestra de agua que va a ser analizada se somete a diluciones sucesivas (Tello, 2015).

Coliformes fecales. Sub grupo de bacterias que se denominan coliformes y que habitan en el intestino del hombre y animales de sangre caliente y que fermentan la lactosa con formación de gas a las 24 horas a 44,5 °C (APHA, 2000).

Coliformes termotolerantes. Sub grupo de Coliformes que son capaces de fermentar lactosa a 44 - 45 °C. En muestras de agua, predominan los géneros *Escherichia*, (APHA,2000)

Fermentación en tubos múltiples. Esta técnica de fermentación en tubos múltiples tiene como principio de dilución hasta la extinción. Las concentraciones de bacterias coliformes totales suelen expresarse como número más probable por 100 nmp/100 mL, (Tello, 2015).

Sólidos disueltos totales. Parámetro que muestra la medida de la materia en una muestra de agua, más pequeñas de 2 micras y generalmente no pueden ser removidos por un filtro

tradicional. Es básicamente la suma de todos los minerales, metales y sales disueltos en el agua y es un buen indicador de la calidad del agua (Severiche y González, 2012).

Sulfatos. Parámetro químico que se define como aniones que abundan en aguas naturales. Las presencias de este ión pueden tener su origen en el contacto del agua, principalmente si estos presentan yacimientos de sulfatos de calcio, como también por la contaminación generada por las industrias que liberan estos compuestos (Romero, 2006).

APÉNDICES

Apéndice 1

Crecimiento escalar de microalga *A. platensis*

Tabla 12

Crecimiento escalar de la microalga A. platensis, mediante lecturas diarias de concentración de clorofila “a”

Días	Clorofila (mg/L)
1	0,44
2	0,52
3	0,56
4	0,75
5	0,86
6	1,4
7	1,94
8	2,62
9	3,43
10	4,95
11	5,81
12	7,16
13	8,16
14	9,53
15	10,5
16	10,75
17	11,21
18	12,83
19	13,2
20	13,91
21	13,74
22	14,62
23	15,52
24	16,51
25	17,58
26	18,03
27	19,9
28	20,54
29	22,61
30	20,03

Nota: Elaboración propia.

Apéndice 2

Análisis de la varianza de la conductividad eléctrica y los tratamientos

Tabla 13

ANOVA de la conductividad y los tratamientos

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,873	6	0,146	7,261	0,001
Dentro de grupos	0,281	14	0,020		
Total	1,154	20			

Nota: Elaboración propia.

Apéndice 3

Prueba de Tukey de la conductividad eléctrica y los tratamientos

Tabla 14

Prueba HSD de Tukey de la conductividad y los tratamientos

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	3
tratamiento 4	3	0,0833		
tratamiento 3	3	0,1367		
tratamiento 2	3	0,2433	0,2433	
tratamiento 1	3	0,4033	0,4033	0,4033
tratamiento 6	3	0,4667	0,4667	0,4667
control	3		0,5700	0,5700
tratamiento 5	3			0,6667
Sig.		0,060	0,138	0,318

Nota: Elaboración propia. Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

(a) Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,00.

Apéndice 4

Análisis de la varianza del fósforo total y los tratamientos

Tabla 15

ANOVA del fósforo total y los tratamientos

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,195	6	0,033	49,932	0,000
Dentro de grupos	0,009	14	0,001		
Total	0,205	20			

Nota: Elaboración propia.

Apéndice 5

Prueba de Tukey del fósforo total y los tratamientos

Tabla 16

Prueba HSD de Tukey del fósforo total y los tratamientos

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0,05			
		1	2	3	4
tratamiento 6	3	0,0133			
tratamiento 5	3	0,0167			
tratamiento 4	3	0,0200			
tratamiento 3	3	0,0567	0,0567		
tratamiento 2	3		0,1133	0,1133	
tratamiento 1	3			0,1700	
control	3				0,2933
Sig.		0,414	0,164	0,164	1,000

Nota: Elaboración propia.

Apéndice 6

Análisis de la varianza del nitrógeno total y los tratamientos

Tabla 17

ANOVA del nitrógeno total y los tratamientos

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	28,028	6	4,671	230,822	0,000
Dentro de grupos	0,283	14	0,020		
Total	28,312	20			

Nota: Elaboración propia.

Apéndice 7

Prueba de Tukey del nitrógeno total y los tratamientos

Tabla 18

Prueba HSD de Tukey del nitrógeno total y los tratamientos

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0,05					
		1	2	3	4	5	6
tratamiento 6	3	0,1033					
tratamiento 5	3	0,1500	0,1500				
tratamiento 4	3		0,5333				
tratamiento 3	3			1,2800			
tratamiento 2	3				1,6833		
tratamiento 1	3					2,1667	
control	3						3,5633
Sig.		1,000	0,061	1,000	1,000	1,000	1,000

Nota: Elaboración propia.

Apéndice 8

Análisis de la varianza del pH y los tratamientos

Tabla 19

ANOVA del pH y los tratamientos

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2,597	6	0,433	28,955	0,000
Dentro de grupos	0,209	14	0,015		
Total	2,806	20			

Nota: Elaboración propia.

Apéndice 9

Prueba de Tukey del pH y los tratamientos

Tabla 20

Prueba HSD de Tukey del pH y los tratamientos

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	3
control	3	7,7100		
tratamiento 1	3	7,7667		
tratamiento 2	3	7,8667	7,8667	
tratamiento 3	3		8,2000	
tratamiento 4	3		8,2000	
tratamiento 5	3			8,5667
tratamiento 6	3			8,6667
Sig.		0,702	0,057	0,945

Nota: Elaboración propia.

Apéndice 10

Análisis de la varianza de SST y los tratamientos

Tabla 21

ANOVA de SST y los tratamientos

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	23623,238	6	3937,206	196,860	0,000
Dentro de grupos	280,000	14	20,000		
Total	23903,238	20			

Nota: Elaboración propia.

Apéndice 11

Prueba de Tukey de SSTy los tratamientos

Tabla 22

Prueba HSD de Tukey de SST y los tratamientos

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0,05			
		1	2	3	4
tratamiento 6	3	89,0000			
tratamiento 5	3	92,3333			
tratamiento 4	3		124,0000		
tratamiento 3	3		135,0000		
tratamiento 2	3			155,3333	
tratamiento 1	3			166,6667	
control	3				184,0000
Sig.		0,964	0,101	0,086	1,000

Nota: Elaboración propia.

Apéndice 12

Análisis de la varianza de oxígeno disuelto y los tratamientos

Tabla 23

ANOVA de OD y los tratamientos

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	9,630	6	1,605	17,373	0,000
Dentro de grupos	1,293	14	0,092		
Total	10,923	20			

Nota: Elaboración propia.

Apéndice 13

Prueba de Tukey de oxígeno disuelto y los tratamientos

Tabla 24

Prueba HSD de Tukey del OD y los tratamientos

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0,05	
		1	2
control	3	6,8000	
tratamiento 3	3		8,5333
tratamiento 1	3		8,6000
tratamiento 4	3		8,6000
tratamiento 2	3		8,7000
tratamiento 5	3		8,8667
tratamiento 6	3		8,9000
Sig.		1,000	0,753

Nota: Elaboración propia.

Apéndice 14

Análisis de la varianza del porcentaje de remoción de coliformes fecales y los tratamientos

Tabla 25

ANOVA del porcentaje de remoción de los coliformes fecales y los tratamientos

F.V.	SC	gl	CM	F	<i>p</i> -valor
Modelo	840,50	1	840,50	1,47	0,2425
días	840,50	1	840,50	1,0	0,2425
Error	9129,78	16	570,61		
Total	9970,28	17			

Nota: Elaboración propia.

Apéndice 15

Prueba de Tukey del porcentaje de remoción de coliformes fecales y los tratamientos

Tabla 26

Prueba HSD de Tukey del porcentaje de remoción de coliformes fecales y los tratamientos

días	Medias	n	E.E.	
2	73,56	9	7,96	A
10	87,22	9	7,96	A

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Apéndice 16

Análisis de la varianza del porcentaje remoción de coliformes totales y los tratamientos

Tabla 27

ANOVA del % remoción de los coliformes totales y los tratamientos

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	76,06	1	76,06	0,15	0,7057
días	76,06	1	76,06	0,15	0,7057
Error	8232,44	16	514,53		
Total	8308,50	17			

Nota: Elaboración propia.

Apéndice 17

Prueba de Tukey del porcentaje de remoción de coliformes totales y los tratamientos

Tabla 28

Prueba HSD de Tukey del porcentaje de remoción de coliformes totales y los tratamientos

días	Medias	n	E.E.	
2	73,78	9	7,56	A
10	77,89	9	7,56	A

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Apéndice 18

Análisis de la varianza de los periodos de exposición (2 y 10 días)

Tabla 29


Anova de los periodos de exposición a A. platensis

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	213,587	1	213,587	0,174	0,681
Dentro de grupos	23286,942	19	1225,629		
Total	23500,530	20			

Nota: Elaboración propia.


Apéndice 19

Reporte de análisis de DBO de muestra de agua de río Huasahuasi



Environmental Testing Laboratory S.A.C

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-056



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayos
Acreditado
Registro N° LE-056

INFORME DE ENSAYO N° 212244 CON VALOR OFICIAL

Razón Social : ROCIO DEL PILAR PIZARRO HUAYNATE
 Domicilio Legal : Reservado por el cliente
 Solicitado Por : ROCIO DEL PILAR PIZARRO HUAYNATE
 Referencia : Cotización N°1202-21R01
 Proyecto : EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES Y FECALIS POR LA MICROALGA
 Arthrospira platensis (Nordstedt) PRESENTES EN LAS AGUAS DEL RIO HUASAHUASI-TARMA

Procedencia : Reservado por el cliente
 Muestreo Realizado Por : EL CLIENTE
 Cantidad de Muestra : 1
 Producto : Agua natural
 Fecha de Recepción : 27/04/2021
 Fecha de Ensayo : 27/04/2021 al 07/05/2021
 Fecha de Emisión : 12/05/2021

I. Resultados

Código de Laboratorio	212244-01
Código de Cliente	AB-HSI
Fecha de Muestreo	26/04/2021
Hora de Muestreo (h)	11:00
Ubicación Geográfica (WGS 84)	E 0434637 N 8754858
Tipo de Producto	Agua Superficial


Lugar de ensayo (Laboratorio Inorgánico)			
Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultado
Fisicoquímicos			
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2,0	<2,0

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, "10"=Resolución cuantificable, "10" = Límite de Detección de Método, "—" = No Analizado

II. Métodos y Referencias

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
Fisicoquímicos		
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd.Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test

SIGLAS: *SM*: Standard methods for the examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF 23rd. Ed. 2017



Ing. Felipe Campos Y.
Jefe de Laboratorio
C.I.P N° 136871

Apéndice 20

Reporte de análisis de coliformes de muestra de agua de río Huasahuasi



Environmental Testing Laboratory S.A.C

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION SERVICE, INC., - IAS
CON REGISTRO TL - 659



INFORME DE ENSAYO N° 212245 CON VALOR OFICIAL

<p>Razón Social Domicilio Legal Solicitado Por Referencia Proyecto Procedencia Muestreo Realizado Por Cantidad de Muestra Condición de Conservación Producto Fecha de Muestreo Fecha de Recepción Fecha de Inicio de Ensayo Fecha de Término de Ensayo Fecha de Entrega de Resultados Fecha de Emisión</p>	<p>: ROCIO DEL PILAR PIZARRO HUAYNATE : Reservado por el cliente : ROCIO DEL PILAR PIZARRO HUAYNATE : Cotización N°1202-21R01 : EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES Y FECALES POR LA MICROALGA <i>Arthrospira platensis</i> (Nordstedt) PRESENTES EN LAS AGUAS DEL RIO HUASAHUASI-TARMA : Reservado por el cliente : EL CLIENTE : 1 : 5,2 °C : Agua natural : 26/04/2021 : 27/04/2021 : 27/04/2021 : 01/05/2021 : 03/05/2021 : 12/05/2021</p>
---	---

I. Resultados

Código de Laboratorio	212245-01
Código de Cliente	AA-HSI
Fecha de Muestreo	26/04/2021
Hora de Muestreo (h)	16:00
Ubicación Geográfica (WGS 84)	E 0422315 N 8761023
Tipo de Producto	Agua Superficial

Lugar de ensayo (Laboratorio Biológico)			
Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultado
Microbiológicos			
Total Coliform (35 ± 0.5°C)	NMP/100 mL	1,8	7,9E+02

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "⁻" Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, "-", = No Analizado.

II. Métodos y Referencias

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
Microbiológicos		
Total Coliform	SM 9221B, / 9221C, Standard Methods 23rd Edition 2017	Enumeration of Total Coliforms by MPN method Standard Total Coliform Fermentation Technique


SIGLAS: *SM*: Standard methods for the examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF 23rd. Ed. 2017



Blga. Sisly Alvarez M.
Jefe de Laboratorio Biológico
C.B.P. N° 9928

Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto. El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde el ingreso a Laboratorio. El tiempo de custodia del informe de ensayo, tanto en físico como en físico es de 4 años. El tiempo de perecibilidad de la muestra está en función a lo declarado en los métodos normalizados de ensayo y rige desde la toma de muestra. Está prohibida la reproducción parcial o total de este documento, salvo autorización de Envirotest S.A.C. Los resultados se relacionan solamente con la forma de ensayo, bajo las condiciones de las muestras como se recibieron. Para verificar la autenticidad del presente informe de ensayo solicitar información al correo info@envirotest.com

**** FIN DEL INFORME ****

 Decretado por Carabineros

Apéndice 21

Dossier fotográfico



Fotografía 15.1: Unidades experimentales correspondientes a la investigación



Fotografía 15.2: Medición de parámetros fisicoquímicos (pH)



Fotografía 15.2: Obtención de biomasa de A. platensis.



Fotografía 15.3: Punto1 de toma de muestra con coordenadas



Fotografía 15.4: Punto 1 de toma de muestra



Fotografía 15.5: Recojo de muestras del punto 1



Fotografía 15.6 Punto 2 de toma de muestra con coordenadas



Fotografía 15.7: Toma de muestra de aguas del río Huasahuasi



Fotografía 15.8: Traslado de muestra de agua del río Huasahuasi