

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

## FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL Y AMBIENTAL



Eficiencia de la *Chlorella* sp. en la remoción de arsénico (As) en una matriz de agua destilada

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL

#### AUTOR

Alexander Fernández Vásquez

#### ASESOR


M. Sc. Chávez Collantes, Azucena

#### COASESOR

Ing. Castillo Rojas Eisner Will

CHOTA – PERÚ Marzo, 2022

  
M. Sc. Azucena Chávez Collantes  
CIP N° 203685  
Docente UNACH

  
Ing. Eisner Will Castillo Rojas  
CIP N° 214420

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

### ACTA N. ° 001-2022/EPIFA - FCA/UNACH

Siendo las **19:00** horas, del día 01 de agosto de **2022**, en video conferencia del aplicativo Meet Google, los miembros del Jurado de Tesis titulada: “**Eficiencia de la *Chlorella* sp. en la remoción de arsénico (As) en una matriz de agua residual doméstica**”, integrado por:

- |   |            |
|---|------------|
| 1. <b>Dr. Guillermo Alejandro Chávez Santa Cruz</b> | Presidente |
| 2. <b>Dr. Pedro Javier Mansilla Córdova</b>         | Secretario |
| 3. <b>M.Sc. Ismael Suárez Medina</b>                | Vocal      |

Sustentado por el **Bach. Alexander Fernández Vásquez**, con la finalidad de obtener el Título Profesional en Ingeniería Forestal y Ambiental.

Terminada la sustentación, con las preguntas formuladas por los integrantes del Jurado y las respuestas otorgadas por el graduando, luego de deliberar, acuerda **aprobar** la tesis, calificándola con la nota de: **16 (dieciséis)**, se eleva la presente acta al Coordinador de la Facultad de Ciencias Agrarias, a fin de que se le declare EXPEDITO para conferirle el título profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental.

Asimismo, se acordó que el nombre del trabajo de investigación sería: “**Eficiencia de la *Chlorella* sp. en la remoción de arsénico (As) en una matriz de agua destilada**”, debido que no se realizó en agua residual doméstica

Firmado en: Chota, 01 de agosto del 2022.

.....  
**Dr. Guillermo Alejandro Chávez Santa Cruz**  
Presidente

.....  
**Dr. Pedro Javier Mansilla Córdova**  
Secretario

.....  
**M. Sc. Ismael Suárez Medina**  
Vocal

## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional Autónoma de Chota por darme la oportunidad de realizar un pregrado y poder contribuir en mi formación profesional.

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental por la posibilidad de realizar este proyecto de fin de carrera.

A la M. Sc. Azucena Chávez Collantes y al Ing. Eisner Will Castillo Rojas; asesores de la investigación, por apoyarme en el desarrollo de la investigación con ustedes y por todo el apoyo, consejos, paciencia en la redacción, presentación de la tesis y su amistad incondicional para que la investigación fuese posible.

Al jurado evaluador de la investigación; por sus sugerencias y apoyo en las mejoras sustanciales.

A mi familia, amigos y todos aquellos que en algún momento me preguntaron ¿Cómo van esas algas? Por apoyarme, aconsejarme y entender que en algún momento tenían importancia estos organismos fotosintéticos en el origen, presente y futuro de la vida.

## **Dedicatoria**

Agradezco a Dios y a su madre por guiarme hacia los senderos del saber enseñándome a encarar con denuedo las vicisitudes de la vida.

A los seres a quienes me dieron la vida, la educación, hábitos y valores, a mis hermanos por aconsejarme y apoyarme.

A mis docentes y amigos por contribuir en nuestra formación profesional.

Índice de contenidos .....	5
RESUMEN .....	9
ABSTRACT .....	10
CAPÍTULO I .....	11
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO II.....	14
MARCO TEÓRICO .....	14
2.1. Antecedentes .....	14
2.2. Bases teóricas .....	16
2.2.1. Metales pesados .....	16
2.2.2. Arsénico y efectos en el medio ambiente .....	16
2.2.3. Arsénico .....	16
2.2.4. Microalgas .....	17
2.2.5. <i>Chlorella</i> sp.....	17
2.2.6. Parametros influyentes en el cultivo.....	18
2.2.7. Pigmentos de microalgas .....	19
2.2.8. Remoción de contaminantes con microalgas .....	19
2.2.9. Métodos tradicionales .....	20
2.2.10. Métodos biológicos .....	20
2.2.11. Remoción de metales pesados con <i>Chlorella</i> sp. ....	20
2.2.12. Bioacumulación .....	20
2.2.13. Bioadsorción .....	21
2.3.1. Tipos de biomasa para la bioadsorción.....	23
2.3.2. Concentración del metal en la <i>Chlorella</i> sp.....	23
2.3.3. Interacción de los microorganismos y los metales pesados .....	23
2.3.3.1. Interacción extracelular.....	23
2.3.3.2. Interacción con la superficie celular.....	23
2.3.3.3. Interacción intracelular .....	23
2.3.4. Remediación de la contaminación de aguas.....	24
2.4. Marco conceptual .....	24
2.4.1. Contaminación.....	24
2.4.2. DBO <sub>5</sub> .....	24
2.4.3. DQO.....	24

2.4.4. pH.....	25
2.4.5. Conductividad Eléctrica .....	25
2.4.6. Temperatura .....	25
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>26</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>26</b>
3.1. Ubicación.....	26
3.2. Población y muestra .....	26
3.2.1. Población .....	26
3.2.2. Muestra .....	26
3.3. Equipos, materiales e insumos .....	26
3.4. Metodología de la investigación .....	27
3.4.4. Aplicación del contaminante arsénico (As) al inóculo de <i>Chlorella</i> sp.....	28
3.4.5. La recolección de las muestras y envío a laboratorio .....	29
3.4.6. Técnicas de recolección de datos.....	29
3.4.7. Medición de arsénico.....	29
3.5. Análisis estadístico.....	30
3.5.1. Modelo estadístico .....	30
3.5.2. Diseño experimental .....	30
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>31</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>31</b>
4.1. Resultados por periodo de aplicación.....	31
4.3. Cálculo de remoción de arsénico.....	33
4.4. Monitoreo de parámetros influyentes .....	38
4.4.1. pH.....	38
4.4.2. Conductividad eléctrica .....	39
4.4.3. Temperatura .....	41
4.4.4. Luz .....	42
4.5. DBO <sub>5</sub> .....	42
4.6. DQO.....	42
4.2. Análisis univariado de varianza.....	43
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>48</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>48</b>
5.1. Conclusiones .....	48
5.2. Recomendaciones .....	48
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>50</b>

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>50</b>
<b>CAPÍTULO VII.....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>58</b>
<b>7.1. Registro fotográfico de la investigación .....</b>	<b>58</b>

#### Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Parámetros de DBO5 y DQO en aguas residuales .....	27
<b>Tabla 2.</b> Parámetros de DBO5 y DQO en aguas residuales .....	27
<b>Tabla 3.</b> Equipos, materiales e insumos.....	29
<b>Tabla 4.</b> Medio de cultivo de microalgas F/2 guillard .....	31
<b>Tabla 5.</b> Técnicas de recolección de datos.....	33
<b>Tabla 6.</b> Tratamientos en estudio .....	34
<b>Tabla 7.</b> Resultados obtenidos a los 3 días .....	35
<b>Tabla 8.</b> Resultados obtenidos a los 7 días .....	35
<b>Tabla 9.</b> Resultados obtenidos a los 12 días .....	35
<b>Tabla 10.</b> Valores pH .....	42
<b>Tabla 11.</b> Valores conductividad eléctrica.....	43
<b>Tabla 12.</b> Valores de temperatura .....	44
<b>Tabla 13.</b> Frecuencias .....	46
<b>Tabla 14.</b> UNIANOVA .....	47
<b>Tabla 15.</b> Porcentaje de remoción de arsénico .....	47
<b>Tabla 16.</b> Prueba F para heterocedasticidad a,b,c .....	48
<b>Tabla 17.</b> Pruebas de efectos inter-sujetos .....	48
<b>Tabla 18.</b> Pruebas post hoc, días de tratamiento .....	49

#### Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Morfología de <i>Chlorella</i> sp. ....	18
<b>Figura 2.</b> Microalgas en un fotobiorreactor tubular y su desplazamiento de la zona exterior a la interior .....	19
<b>Figura 3.</b> Bioacumulación de minerales tóxicos en la <i>Chlorella</i> sp.....	21
<b>Figura 4.</b> Mecanismos de bioadsorción de minerales tóxicos por microalgas de <i>Chlorella</i> sp. ....	22
<b>Figura 5.</b> Diseño del sistema de tratamiento .....	31
<b>Figura 6.</b> Medidas marginales estimadas de porcentaje de remoción de arsénico.....	46
<b>Figura 7.</b> Medidas marginales estimadas de porcentaje de remoción de arsénico.....	47

## Índice fotográfico

<b>Fotografía 1.</b> Instalación del sistema experimental.....	58
<b>Fotografía 2.</b> Identificación en microscopio de la microalga <i>Chlorella</i> sp.....	58
<b>Fotografía 3.</b> Aislamiento de microalgas con diluciones sucesivas.....	59
<b>Fotografía 5.</b> Fotoperiodo de las microalgas.....	60
<b>Fotografía 6.</b> Aplicación de Arsénico .....	60
<b>Fotografía 7.</b> Monitoreo de parámetros de pH, conductividad eléctrica y temperatura.....	61
<b>Fotografía 8.</b> Toma de muestras de agua y envío al laboratorio .....	61



## RESUMEN

La eliminación de metales pesados en el agua por microorganismos, es un proceso que utiliza biomasa viva o muerta; es por ello, que representa una alternativa económicamente viable basada en el uso de microalgas para la degradación o absorción de metales pesados de manera natural. La investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la microalga *Chlorella* sp., en la remoción de arsénico en una matriz de agua residual doméstica; considerando los parámetros de pH, conductividad eléctrica DBO<sub>5</sub>, DQO, temperatura y oxígeno disuelto en cada unidad experimental del sistema de tratamiento con *Chlorella* sp., a fin de relacionar su influencia en la remoción de arsénico. El diseño fue completamente al azar, que consistió en la instalación de tres sistemas de tratamientos; con tres repeticiones y un testigo para cada tratamiento; donde los cultivos de *Chlorella* sp., fueron expuestos a tres concentraciones de arsénico 0,4 mgL<sup>-1</sup>; 1 mgL<sup>-1</sup> y 2 mgL<sup>-1</sup> en tres, siete y doce días de evaluación para los ensayos de remoción. Presentando una remoción moderada significativa de 63%. Además, se monitoreo los parámetros de pH que fluctuó entre valores de 5,16 el valor mínimo y 6,53 el máximo considerado un pH ligeramente ácido, la conductividad eléctrica varió ligeramente entre valores de 317,72  $\mu\text{S cm}^{-1}$  y un máximo de 396,33  $\mu\text{S cm}^{-1}$  y la temperatura osciló mínimamente entre valores de 14,91 °C y un máximo de 16,08°C, por lo que bajo estas condiciones podemos decir que la microalga *Chlorella* sp., fue eficiente para eliminar el arsénico y es un buen bioadsorbente de metaloides por contener microvellosidades en su superficie constituidas de proteínas, carbohidratos, lípidos y almidones que son afines a los metales pesados como el arsénico y otros contaminantes disueltos presentes en el agua.

Palabras claves: *Chlorella* sp., arsénico, pH, temperatura, remoción, arsénico.

## ABSTRACT

The removal of heavy metals in water by microorganisms is a process that uses live or dead biomass; For this reason, it represents an economically viable alternative based on the use of microalgae for the degradation or absorption of heavy metals naturally. The objective of the research was to evaluate the efficiency of the microalga *Chlorella* sp., in the removal of arsenic in a matrix of domestic wastewater; considering the parameters of pH, electrical conductivity BOD5, COD, temperature and dissolved oxygen in each experimental unit of the treatment system with *Chlorella* sp., in order to relate their influence on the removal of arsenic. The design was completely randomized, which consisted of the installation of three treatment systems; with three repetitions and a control for each treatment; where *Chlorella* sp. cultures were exposed to three concentrations of arsenic 0.4 mgL<sup>-1</sup>; 1 mgL<sup>-1</sup> and 2 mgL<sup>-1</sup> in three, seven and twelve days of evaluation for the removal tests. Presenting a significant moderate removal of 63%. In addition, the pH parameters were monitored, which fluctuated between values of 5.16 the minimum value and 6.53 the maximum considered a slightly acidic pH, the electrical conductivity varied slightly between values of 317.72  $\mu\text{S cm}^{-1}$  and a maximum of 396.33  $\mu\text{S cm}^{-1}$  and the temperature oscillated minimally between values of 14.91 °C and a maximum of 16.08 °C, so that under these conditions we can say that the microalga *Chlorella* sp., was efficient to eliminate the arsenic and is a good metalloid bioadsorbent because it contains microvilli on its surface made up of proteins, carbohydrates, lipids and starches that are related to heavy metals such as arsenic and other dissolved contaminants present in water.

Keywords: *Chlorella* sp., arsenic, pH, temperature, removal, heavy metals.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

En el mundo, cada día se generan millones de metros cúbicos de aguas contaminadas. De todo ese volumen, la mayor parte no es tratada y ocasiona la alteración de los sistemas acuáticos con compuestos químicos y orgánicos en sus diferentes manifestaciones dependiendo de la actividad antrópica, así el arsénico es uno de los contaminantes que se encuentra en las aguas residuales domésticas por diversas actividades y es un problema para salud y el medio ambiente de importancia mundial que afecta a más de 115 países (Hussain et al., 2021). La contaminación del recurso hídrico por arsénico, es una amenaza mundial ya que, a través de su consumo y el uso para la agricultura puede ingresar al organismo y contaminar los ecosistemas y la salud del hombre (Plaza, 2012).

Méndez & Marchán (2008) el 70% de las aguas residuales en Perú, no cuentan con tratamiento, de las 143 plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) existentes en Perú, solamente el 14% cumplen con la normativa actual. La Autoridad Nacional del Agua - ANA (2013) según datos del 2009, de 786 millones de metros cúbicos (MMC) de aguas residuales domésticas, 511 MMC se encontraban sin tratamiento de las cuales 325 MMC corresponde a Lima y Callao. Y solo el 4,9% es decir 7 PTR funcionaban.

Castro (2016) señala que el uso cotidiano de diversos materiales que contienen metales pesados son la causa de la presencia de arsénico, cadmio, mercurio, plomo, hierro, entre otros, en los recursos hídricos del Perú; para el caso de arsénico, menciona que, su uso poblacional previo tratamiento puede alcanzar un 55% excediendo los estándares de calidad ambiental para agua.

Referente al arsénico, la Organización Mundial de Salud (OMS) el arsénico representa una amenaza para la salud pública (Flanagan et al., 2012), en América Latina 4,5 millones de personas consumen agua con niveles de arsénico iguales o superiores a  $50 \mu\text{g L}^{-1}$  que pone en riesgo su salud (Bucio, 2004).

En América del Sur, la actividad hidrotermal es una causa natural de manifestación del arsénico, por lo que los factores naturales geológicos son la fuente principal de contaminación por arsénico, sin embargo, la contaminación antropogénica contribuye a la contaminación con arsénico (Sifre, 2006). En el Perú la actividad minera generó 11 millones de toneladas de arsénico y 1,6 millones de personas habitan en un área de influencia de 5 Km de radio de las operaciones mineras actuales o pasadas que afectado a cuerpos hídricos (Bucio, 2004). En nuestro país un aproximado de 4 millones de habitantes consume agua con arsénico, afectando el área rural, que en la mayoría de los casos la gente utiliza el agua sin

tratamiento para bebida de animales y consumo humano, desconociendo sus efectos causales. En muestreos de agua realizados en Lima, Achaya, Ananea, Caracoto, Plateria, Juliaca, La Oroya, San Antón, Puno y Taraco analizados para arsénico, los resultados demostraron que el 80% de las muestras contiene más de  $50 \mu\text{g L}^{-1}$ , cinco veces mayor al estándar de la OMS que es  $<10 \mu\text{g L}^{-1}$  y el 41% (Bucio, 2004).

En este contexto crucial de contaminación de los cuerpos hídricos; en la provincia de Chota, la expansión demográfica cada vez es más grande y por tanto demanda de mayor uso del agua; no obstante, las aguas residuales domésticas, hospitalarias y de pequeñas industrias, el tratamiento y la administración de los efluentes no se manejan adecuadamente. Según Hayat et al. (2017) el 80% de las aguas residuales que presentan contaminación por arsénico se deben a impurezas provenientes de los pesticidas, conservantes de madera, de arsenito de cobre cromado (CCA) e incineración de desechos sólidos urbanos.

Existen tratamientos de aguas residuales domésticas y se emplean estrategias de tratamientos químicos como biológicos; este último, representa un valor ecológico con el recurso hídrico y eficiente en la eliminación de metales pesados; las microalgas se vienen utilizando desde hace mucho tiempo para el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico y agroindustrial, ya que contienen grandes concentraciones de nitrógeno y fosfatos, lo cual permiten el crecimiento exponencial de biomasa algal. (Martínez y Villanueva, 2020). El aprovechamiento de estos dos contaminantes por las algas no es el principal beneficio, sino que reducen la eutrofización, proporcionan mayor oxigenación al agua y eliminan metales pesados a través de la bioacumulación y en algunos casos la biotransformación y volatilización de contaminantes; todo esto ocurre gracias al crecimiento exponencial de biomasa algal y como sabemos esta última se puede utilizar para la obtención de biodiesel (Kiran et al., 2016).

Una de las alternativas para el tratamiento de metales pesados como el arsénico, es la implementación de tecnologías biológicas (Arellano, 2007); por lo que, la presente investigación implementó un sistema de tratamiento experimental de una PTAR domésticas con la microalga *Chlorella* sp., para realizar un tratamiento de las aguas residuales domésticas y de esta manera minimizar los contaminantes presentes en el agua. Insertos bajo esta problemática nos planteamos la interrogante ¿Cuál es la eficiencia de *Chlorella* sp. en la remoción de arsénico en una matriz de agua residual doméstica?, a fin de contar con una propuesta viable al problema; el aporte científico y técnico de los aspectos teóricos en la contaminación de las aguas residuales por arsénico, así como su remoción por el uso de la

microalga *Chlorella* sp. a través de una metodología que se recogió anteriormente, permitiendo formular un trabajo en condiciones nuevas y replicables.

En el estudio se evaluó los parámetros de pH, T° y Conductividad eléctrica, entre otros, acorde a sus condiciones óptimas para la remoción de arsénico, justificando esta investigación, con el objetivo de contribuir en el campo biotecnológico que minimiza los impactos en el ambiente y minimiza los contaminantes en los cuerpos receptores de agua. Se justifica su importancia por ser una alternativa biológica eficiente, ambientalmente amigable, económicamente viable y técnicamente sustentable.

Por tanto, el objetivo general fue evaluar la eficiencia de *Chlorella* sp. en la remoción de arsénico en una matriz de agua residual doméstica; los objetivos específicos fueron: a) determinar la concentración de arsénico en cada unidad experimental del sistema de tratamiento con *Chlorella* sp.; b) estimar los parámetros de pH, conductividad eléctrica, temperatura, DBO<sub>5</sub>, DQO y remoción de arsénico en cada unidad experimental del sistema de tratamiento con *Chlorella* sp. Para ello, fue necesario mantener las condiciones de aireación y luminosidad constante para la eficiencia óptima de remoción del contaminante. No se analizó características morfofisiológicas de las microalgas; lográndose obtener resultados satisfactorios de remoción media de arsénico de 63% por lo tanto lográndose aceptar la hipótesis planteada.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

Buestán (2019) *Chlorella* sp. tiene la capacidad de acumulación de metales pesados, utilizándolo como una técnica biológica de descontaminación, el objetivo fue evaluar la respuesta fisiológica de *Chlorella* sp., a la presencia de cadmio y a pH de 4, 6 y 8. Para realizar la eficiencia de la microalga, se evaluó el crecimiento celular en la cámara de Neubauer cada 24 horas, comparándose la actividad fotosintética por medio de la cuantificación liposoluble por métodos espectrofotométricos, mediante las lecturas inicial y final del ensayo. Demostrando los diferentes valores de pH son influyentes en el desarrollo de *Chlorella* sp., siendo el pH de 4 el perjudicial y favoreciendo el crecimiento celular y la actividad fotosintética a pH de 6 y 8.

Chulle (2021) evaluó los niveles de remoción de mercurio y plomo con microalgas. Expuestos a concentraciones de 5, 10, 15, 20 y 30 mg L<sup>-1</sup> demostrando una remoción de 97,68% en el plomo y 93% en el mercurio después de 4 días de exposición. Por tanto, las microalgas son tolerantes a estas concentraciones de metales.

Con el fin de analizar factores importantes que afectan el proceso de bioadsorción de boro y arsénico se estudió su capacidad de remoción de la microalga *Chlamydomonas reinhardtii*. Para ello, se empleó tres tipos de pH (5,5, 7 y 9,5). Modificando el estado de la biomasa (viva y muerta) y la concentración de esta (1g L<sup>-1</sup> y 5g L<sup>-1</sup>), se estudió la cinética y la capacidad de bioadsorción en 6 tiempos diferentes hasta las 3 horas de contacto, demostrando que el pH que presenta las condiciones más óptimas de remoción es 7 y el tiempo necesario para eliminar el metal es de 30 minutos, explicando que la unión de arsénico con la biomasa se realiza a través del grupo carboxilo y la precipitación del boro al modificar los grupos hidroxilos respecto a la biomasa original y alcanzando un porcentaje de remoción de 91 % y 37% con biomasa microalgal (Nagore, 2017).

Xie et al. (2018), en el análisis de comportamiento de absorción, biotransformación y liberación de arsénico de la *Chlorella* sp. Se cultivaron hasta la fase logarítmica en fotobiorreactores se agregaron 0,8 mg L<sup>-1</sup> de arsénico. Después de dos días de exposición se midió la tasa de crecimiento promedio, se midieron las concentraciones extra e intracelulares de arsénico. Demostrando grandes capacidades para la transformación y liberación de 86,11%. Por tanto, fue consistente con la liberación y transformación de arsénico en

condiciones de inhibición. Lo que sugiere que el comportamiento de arsénico en la microalga que estaban relacionadas con el estrés del crecimiento.

Según Bartra (2019), evaluó la remoción de arsénico utilizando la microalga *Chlorella* sp. en aguas residuales del río Uchusuma en Tacna, instaló los tratamientos en matraces de 500 mL con cultivos de 5mL de microalgas y con concentraciones de arsénico de 20, 40, 60, 80 y 100% respectivamente, utilizando el nutriente Bayfoland; los resultados demuestran que *Chlorella* sp. presentó una tolerancia mediana- alta, alta tasa, rapidez de crecimiento y absorción del metaloide a la exposición continua y en distintas concentraciones de arsénico, presentando un incremento de la biomasa triplicado en los días 7 y 8 favorecidos por los macro y micronutrientes presentes en el medio.

Con el objetivo de evaluar la capacidad de depuración de nitrógeno, fósforo y plomo presentes en el río Huaura, utilizando la microalga *Chlorella* sp. se empleó fotobiorreactores con luz interna y con aireación constante, la capacidad de remoción se evaluó durante 30 días. Se utilizó 15 unidades experimentales para un control y cuatro tratamientos con distintas concentraciones de nutrientes y plomo. Los resultados han sido favorables demostrando que en el tratamiento 2 existió de 66 y 75 por ciento y el máximo porcentaje de depuración se realizó entre la primera y la segunda semana (Valderrama, 2018).

La contaminación generalizada por el arsénico es causada por actividades antropogénicas estas se deben al uso de plaguicidas, herbicidas y fertilizantes fosfatados, semiconductores, industria, aplicación de conservantes de la madera, minería, fundición, procesos industriales de plaguicidas, desechos hospitalarios y se pueden realizar tratamientos biológicos con microalgas (Hussain et al., 2019).

Se evaluó la remoción de arsénico de efluentes del Parque Industrial de Río Seco (PIRS), mediante bioabsorción con *Chlorella* sp., se evaluó la resistencia mediante el crecimiento de *Chlorella* sp., en matraces de 250mL con la aplicación de 1,6, 3,2 y 6,4 mgL<sup>-1</sup> de arsénico. La capacidad de bioadsorción de arsénico se evaluó mediante la concentración de Clorofila A y la concentración residual de arsénico después de someter a los efluentes a las velocidades de flujo de 20, 40 y 80 ml min en un sistema de flujo por gravedad, empacados con 1,5 L<sup>-1</sup> cultivo puro de *Chlorella* sp., se evaluó la mortalidad de neonatos de *Daphnia magna* “pulga de agua” así como la determinación de la concentración letal media CL50. Los resultados demostraron la remoción de arsénico por *Chlorella* sp., La capacidad de remoción de arsénico fue de 20 ml min con una remoción del 60,05%, mostrando

reducción leve de biomasa clorofila A, presentando un 50% de mortalidad de neonatos de *Daphnia magna* a 48 hrs. con  $3,25\text{mg L}^{-1}$ , concentración menos tóxica en comparación a las reportadas por presentarse una transformación del Arsénico en formas orgánicas menos tóxicas (Biotecnológicas, 2013).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Metales pesados**

Según la tabla periódica metal pesado, es un elemento químico con una densidad (mayor a  $4\text{g cm}^{-3}$ ), masa y peso atómico por encima de 20. Según Wang y Chen (2009) hay tres tipos de metales pesado: los metales tóxicos como cromo, mercurio plomo, zinc, cobre, níquel, cadmio, arsénico, cobalto, estaño; metales preciosos: platino, paladio, plata, oro, rutenio y radionucleidos: uranio, torio, radio, americio. Por otro lado; Lodoño, et al. (2016) menciona que los metales pesados son tóxicos en concentraciones bajas y alguno de estos son: aluminio, bario, berilio, cobalto, cobre, estaño, hierro, molibdeno, cadmio, mercurio, plomo, arsénico, cromo, manganeso, níquel, plata, selenio, titanio, vario, oro, zinc.

### **2.2.2. Arsénico y efectos en el medio ambiente**

Dentro de los factores de riesgo medioambientales causados por metales pesados como el arsénico se considera el consumo de alimentos de origen acuático, además del consumo de hortalizas y tubérculos irrigados por agua contaminada y por uso de plaguicidas (Marisa y González 2009), el uso de fertilizantes de manera indiscriminada que se incorporan al suelo y finalmente a los ríos, animales y alimentos, perjudicando la salud del hombre y el medio ambiente (Waisberg et al., 2003).

Las enfermedades que se derivan de la contaminación por arsénico en la salud humana son: enfermedades de la piel, pulmonares, cardiovasculares, hepáticas o renales y los tejidos donde más se acumula son el riñón, bazo, suprarrenal, sistema nervioso y faneras (Villaamil et al., 2018).

### **2.2.3. Arsénico**

El arsénico (número atómico 33) es un metaloide de color grisáceo con brillo metálico y se encuentra distribuido en la naturaleza y asociado a otros metales pesados como el oro, plomo, cobre, hierro, níquel y zinc (Ampar et al., 2007) y las formas predominantes son el arsenato ( $\text{As}^{5+}$ ) que generalmente se encuentra en aguas superficiales y arsenito ( $\text{As}^{3+}$ ) que se encuentran en las aguas subterráneas (Fiestas y Millones, 2019). El arsénico es empleado para las aleaciones de cobre y plomo para el uso de baterías, conservante de



maderas, en la elaboración de pesticidas, herbicidas e insecticidas y como dopante del tipo n en dispositivos semiconductores eléctricos (NRIAGU et al., 2007).

#### **2.2.4. Microalgas**

Son microorganismos unicelulares, eucariotas, microscópicos y capaces de obtener la energía necesaria a través de la fotosíntesis actuando de manera similar en su metabolismo al mundo vegetal (Wang et al., 2019). En biotecnología, microalgas define a microorganismos, con las siguientes características: tienen clorofila A, realizan fotosíntesis oxigénica y sin diferenciación en raíces, tallo y hojas. Incluyendo tanto a microorganismos eucariotas (están clasificados según sus pigmentos fotosintéticos en rodofitas, clorofitas, dinofitas, crisofitas, bacillariofitas, prymnesiofitas, xantófitas, eustigmatófitas, raphidofitas y feofitas) como en procariotas (cianobacterias y proclorofitas) presentes en los ecosistemas terrestres y acuáticos (Chisti, 2004).

#### **2.2.5. *Chlorella* sp.**

Es una microalga verde de forma generalmente circular elipsoidal; pertenece a la división Chlorophyta y a la clase Chlorophyceae. Se cultiva de forma intensiva con fines en alimentación y obtención de metabolitos, aplicado al tratamiento biológico de aguas residuales (Maraver y Ankli, 2015). Tiene un solo cloroplasto, pared celular rígida y carece de flagelos, se distribuye a nivel mundial (Rivas et al., 2016) Además, *Chlorella* sp. ha mostrado una afinidad por los metales pesados, ésta propiedad se atribuye a la cantidad de polisacáridos, lípidos y proteínas que posee en la superficie de sus paredes celulares que a su vez existen grupos funcionales como amino, carboxilo, hidroxilo y sulfato, que actúan como sitios de unión con los metales y poder adsorberlos, metabolizarlo o bioacumular en su estructura celular (Priya et al., 2014).

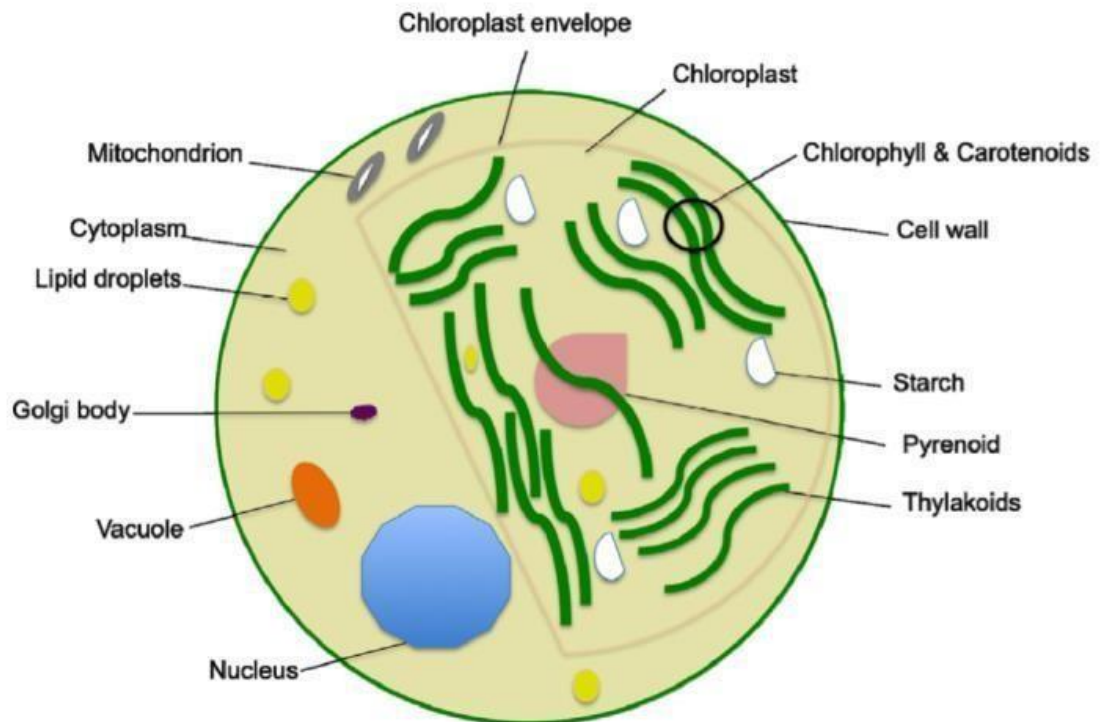
Se considera la *Chlorella* sp. como un buen adsorbente en el proceso de remoción de metales pesados y tienen las siguientes características (Yen et al., 2017).

Tiene las siguientes características:

División	: Chlorophyta
Clase	: Chlorophyceae
Color	: Verde
Forma	: Esférica
Forma de crecer	: Células simples
Tamaño	: 2-8 $\mu\text{m}$ de diámetro

## Figura 1

Morfología de *Chlorella sp.*



Nota: *Morfología de Chlorella sp. y sus diferentes organelos*

Fuente: (Safi et al., 2014)

### 2.2.6. *Parámetros influyentes en el cultivo*

Los factores limitantes que determinan el cultivo de biomasa de microalgas son la temperatura, el pH, luz que ingresa sobre cada célula y los nutrientes presentes en el medio.

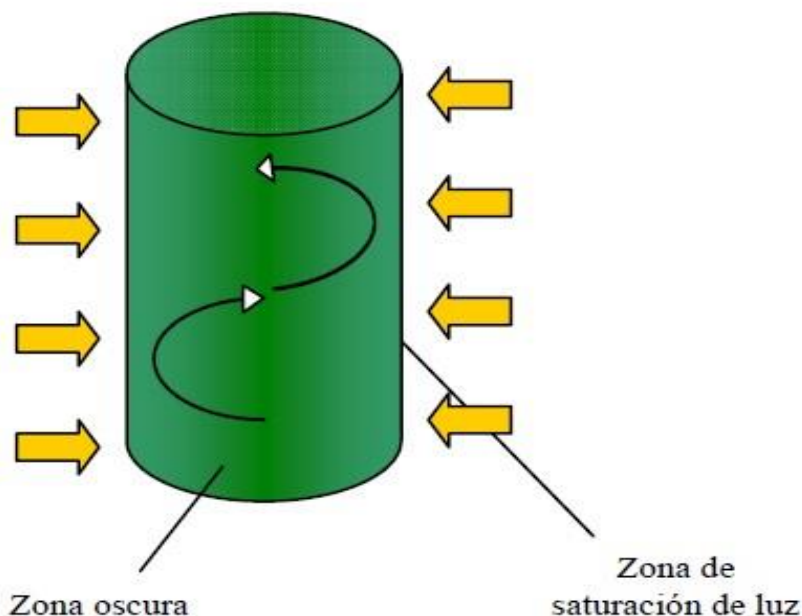
Los nutrientes para el cultivo de microalgas (Richmond, 2004) incluyen:

- **Carbono inorgánico.** Para conseguir la biomasa microalgal que se desea, se debe suministrar  $\text{CO}_2$  en cantidades óptimas. Ya que es el mecanismo amortiguador más importante presente en el agua dulce y controla un nivel de pH específico, adecuado para cada especie de microalgas.
- **Nitrógeno.** Es importante para el crecimiento de las microalgas, variando en contenido de nitrógeno entre 1 al 10%. Su forma más útil del nitrógeno es en la forma de nitratos porque aumenta el pH y en la forma de amonio disminuye el pH y puede perderse por volatilización.
- **Fósforo.** Es útil para procesos celulares, como la transferencia de energía, el contenido es menor a 1% de lo que necesita no obstante, es una de las mayores limitaciones al crecimiento.

- Disponibilidad de luz. Importante para las microalgas, depende de la iluminación para el proceso fotosintético, es importante una adecuada agitación o aireación del cultivo.

**Figura 2**

*Microalgas en un fotobiorreactor tubular y su desplazamiento de la zona exterior a la interior*



Nota: Recorrido de las células con luz desde la zona exterior, a la zona interior fotolimitada en fotobiorreactor circular. Fuente: (Pulz, 2001)

### **2.2.7. Pigmentos de microalgas**

Las microalgas son biofactorías celulares impulsados por el sol que convierten el dióxido de carbono en diversos biocomponentes celulares como pigmentos, proteínas, lípidos, polisacáridos y vitaminas; a través del transporte de electrones inducidos por la luz (Duppeti et al., 2017).

### **2.2.8. Remoción de contaminantes con microalgas**

Numerosos esfuerzos se han realizado con el fin de dar un tratamiento a las aguas residuales con el objetivo de eliminar metales tóxicos, entre ellos destaca: ósmosis, adsorción, filtración, ultra centrifugación, micro precipitación, entre otros. Estos métodos físicos y químicos a bajos niveles de metales en el agua no son capaces de removerlos y generan residuos tóxicos (Beolchini et al., 2003). En este contexto, el uso de microorganismos para remover en forma natural ciertos compuestos contaminantes presentes en el medio ambiente son importantes (Chulle y Villalobos, 2016), microorganismos como las microalgas tiene la capacidad para adsorber cationes gracias a la secreción de sustancias

complejas y carbohidratos; estas características lo hacen interesante para remover metales pesados generados en los efluentes actividades extractivas, industriales, domésticas, comerciales, entre otras., evitando la dispersión y acumulación en medios naturales y de esta manera favoreciendo la salud humana (Mchenry, 2013).

#### **2.2.9. Métodos tradicionales**

En las PTAR se han aplicado tanto tratamientos físicos como químicos; estos tratamientos convencionales presentan desventajas, entre ellas su elevada relación costo-efectividad, residuos tóxicos o no asimila metales con niveles debajo de los  $100\text{mg L}^{-1}$  (Cuizano y Navarro, 2008).

#### **2.2.10. Métodos biológicos**

El método biológico utilizado en las PTAR se ha realizado con bacterias, algas, hongos y la asociación de estos. Se ha empleado con la finalidad de eliminar sólidos no sedimentables, metales pesados y la estabilización orgánica; el trabajo principal que realizan estos, es remover o reducir la concentración de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el agua (Rodríguez et al., 2008).

Las microalgas, utilizado para tratamientos biológicos, es tolerante a niveles de metales pesados superiores a los límites máximos permisibles y por tener afinidad por estos, son utilizados como indicadores de contaminación para determinar sus efectos tóxicos potenciales (Chisti, 2004). El atrapamiento de metales pesados conocido como la biosorción de metales pesados se puede realizar con biomasa fresca o inerte (Mejía, 2006).

#### **2.2.11. Remoción de metales pesados con *Chlorella sp.***

Las microalgas tienen la capacidad de biotransformar contaminantes de un medio líquido a gaseoso, proceso que sucede en su organismo y se puede recuperar en la cosecha, el objetivo de la investigación es eliminar contaminante del agua y producir biomasa para generar bioenergía, adquiriendo un impacto para cerrar brechas climáticas (Hernández y Labbé, 2014).

Los metales pesados en el medio acuático son adsorbidos por las microalgas gracias a los cloroplastos (Gosset et al., 2017).

#### **2.2.12. Bioacumulación**

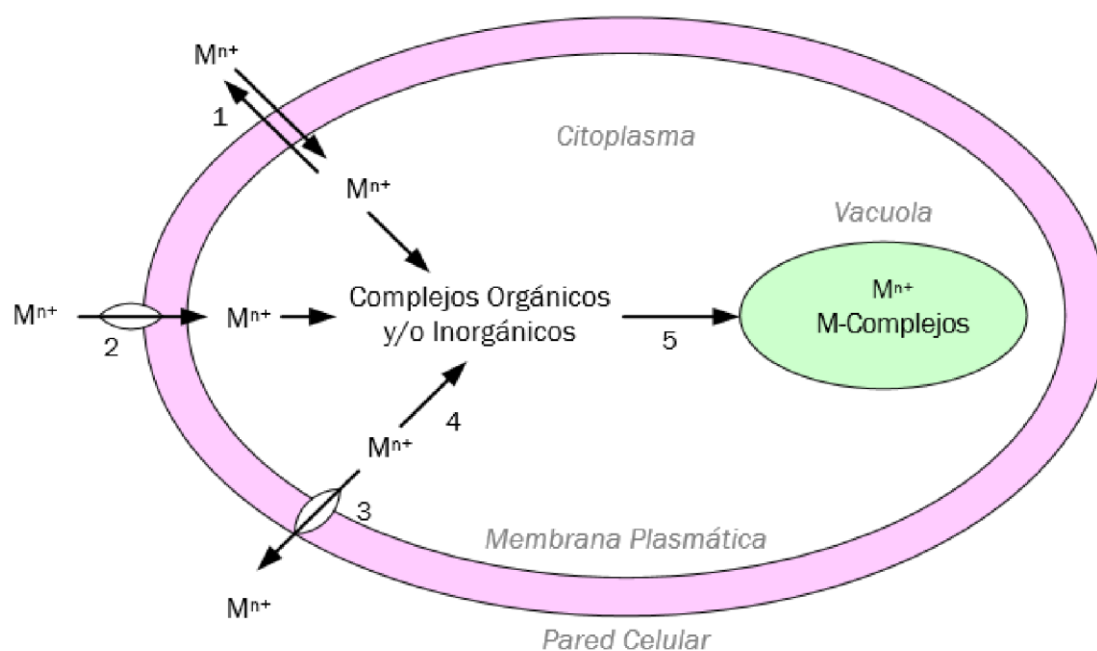
Es un componente celular que utiliza menor cantidad de energía para trasladar metales pesados al interior de la célula microalgal (Gadd, 2009). Utilizando la energía obtenida del

sistema H<sup>+</sup>ATPasa, en la bioacumulación, el contaminante tóxico ingresa al citoplasma por la actividad de las proteínas insertas en la pared celular, permitiendo el paso a la membrana plástica de la célula, el mineral es captado por grupos sulfhídricos llamadas metalotioneínas, las cuales forman moléculas que posteriormente son divididos en la estructura interior de la vacuola (A. Richmond & Hu, 2013).

En la Figura 3 mecanismo de bioacumulación 1. Proceso inactivo de difusión; 2. Captación activa por proteínas capaces de transportar iones; 3. Flujo activo de iones libres tanto hacia el interior como al exterior de la célula en casos determinados; 4. Unión de los iones libres con diversos compuestos orgánicos y/o inorgánicos en el citoplasma y 5. Transporte a la vacuola y almacenamiento como iones libres o como complejos.

**Figura 3**

*Bioacumulación de contaminantes tóxicos en la Chlorella sp.*



Nota: *Bioacumulación de contaminantes al interior de la célula microalgal*

Fuente: (Richmond y Hu, 2013).

### 2.2.13. Bioadsorción

Implica la interacción del contaminante con las uniones presentes en la pared celular y las interacciones se llevan a través de los grupos funcionales como carboxilo, amino, hidroxilo, sulfhídrico y fosfato (Mejía, 2006). La bioadsorción se puede estudiar mediante modelos de isotermas de Langmuir y Freundlich (Vullo, 2003). Catalogándose como un

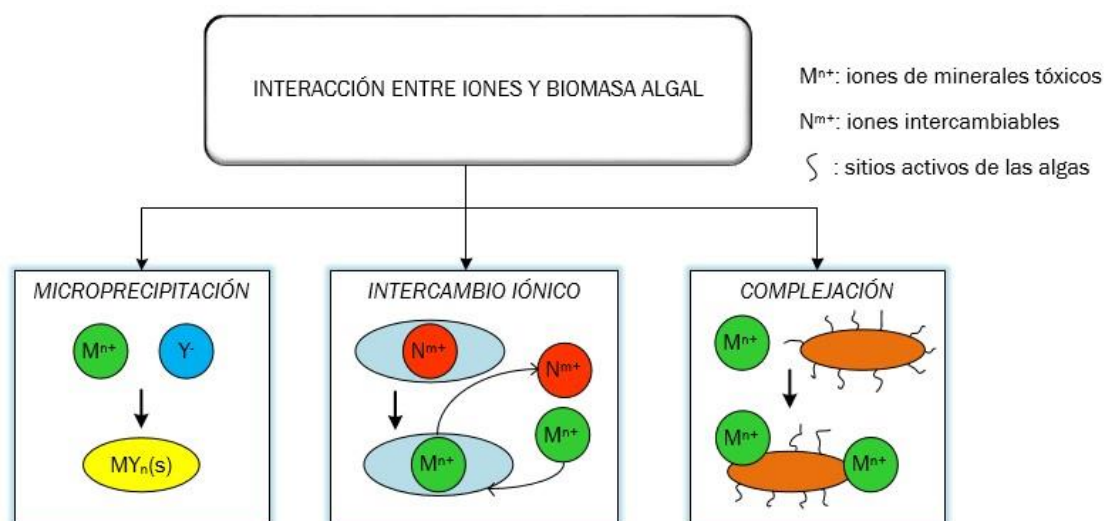
método de biorremediación alcanzando eficiencia en la remoción de contaminantes tóxicos (Vijayaraghavan y Balasubramanian, 2015).

Los diferentes mecanismos de bioadsorción varían en función del metal o contaminante y del tipo de bioadsorbente y son los siguientes:

- **Intercambio iónico**, es el factor principal de bioadsorción de metales, demostrando que las microalgas están protonadas o los iones ligeros se liberan al unirse a otros cationes del contaminante (Singh, 2006).
- **Efecto de las fuerzas iónicas**, aumenta la remoción de metales a menor fuerza iónica porque compiten los sitios activos entre los iones metálicos y las sales presentes en el medio que regulan las fuerzas iónicas, concluyendo que al elevarse la fuerza iónica la absorción disminuye (Diego, 2012).
- **Microprecipitación**, ocurre cuando la solubilidad de un mineral en la solución alcanza su límite. Ocurre por cambios como el pH, interacción entre el mineral y la superficie celular a través de la formación de un complejo, seguida de una hidrolización y la precipitación del mineral en forma de una especie hidrolizada en la pared celular (Hussein y Ibrahim, 2004)
- **Complejación**, producto de la formación de complejos en la pared celular, tras la interacción entre el mineral y los centros activos de las algas (Mehta y Gaur, 2005).

**Figura 4**

*Formas de bioadsorción de metales pesados con microalgas de Chlorella sp.*



Nota: *Formas de bioadsorción de metales pesados con microalgas*

Fuente: (Richmond y Hu, 2013).

### **2.3.1. Tipos de biomasa para la bioadsorción**

Los tipos existentes para el proceso de bioadsorción biológico con un potencial para atrapar metales pesados son: *Saccharomyces cerevisiae*, *penicillium chrysogenum*, *Rhizopus arrhizus*, *Aspergillus niger*, *Bacillus sp.*, *Streptomyces nursei*, Lodos activados, lodos digeridos anaeróbicamente, biomasa seca de microalgas, biomasa viva de microalgas, carbón activado de cascara de coco, tamarindo, naranja, cáscara y semilla de manzana, cebada, entre otras (Avanzados et al., 2000).

### **2.3.2. Concentración del metal en la *Chlorella sp.***

Un aumento en el nivel del contaminante en una solución a tratar, aumenta la capacidad de adsorción debido a la variación de la concentración del arsénico (Achudume et al., 2010), el incremento de iones en la solución se favorece la interacción de los campos de adsorción en la *Chlorella sp* (Amaya et al., 2008). Un aumento en la cantidad de biomasa empleada para eliminar metales pesados provoca un aumento en porcentaje de la remoción ya que la biomasa de microalgas ofrece mayor superficie de contacto para atrapar metales (Achudume et al., 2010).

### **2.3.3. Interacción de los microorganismos y los metales pesados**

Es de gran relevancia estudiar los metales pesados y sus efectos causados en los ecosistemas. Específicamente las microalgas que tiene capacidad de remover metales pesados (Vitola Romero et al., 2021), ocurriendo de tres formas:

#### **2.3.3.1. Interacción extracelular**

La interacción extracelular entre metal y microorganismo ocurre por movilización e inmovilización. La movilización tiene la capacidad de transformar compuestos constituyentes de metales pesados; y la inmovilización, es el mecanismo que tiene la biomasa para atrapar metales, uniéndolos a sus compuestos estructurales (Nadeem et al., 2007).

#### **2.3.3.2. Interacción con la superficie celular**

Ocurre por atracción electrostática entre los iones cargados de solución y los grupos funcionales de la superficie celular. Los sitios aniónicos constituidos por la pared celular son el carboxilato de peptidoglicano y el fosfato del ácido teicoico, los sitios catiónicos son los grupos amonio de la D-alanina (ácido teicoico), los grupos amino de los azucres (glicano) y del ácido diaminopimelico (porción peptídica del peptidoglicano).

#### **2.3.3.3. Interacción intracelular**

Se inicia con un proceso activo llamado bioacumulación, seguida de transformaciones enzimáticas y la síntesis de proteínas enlazadoras.

### **2.3.4. Remediación de la contaminación de aguas**

Es el proceso que hace el uso de microorganismos, hongos, plantas, o a las enzimas derivadas de ellos para devolver un ambiente contaminado a su estado natural. La biorremediación puede ser usada para atrapar contaminantes del agua, o la bioacumulación de metales pesados (Lovley, 2003). Los microorganismos tienen afinidad por iones de algunos minerales por la composición celular, tienen prioridad por metales tóxicos, así las microalgas se consideran los bioadsorbentes más eficientes (Vijayaraghavan et al., 2005). La ventaja que tienen estos organismos es la composición de la pared celular que presentan sitios activos aniónicos o catiónicos que son fáciles de adsorber o capturar al metal pesado (Dodbiba et al., 2015).

## **2.4. Marco conceptual**

### **2.4.1. Contaminación**

Es la introducción de sustancias nocivas que causan impactos ambientales negativos en los ecosistemas (Environmental Law Alliance Worldwide, 2010).

### **2.4.2. DBO<sub>5</sub>**

Según Rojas (2002) es la cantidad de materia orgánica fácilmente biodegradable durante cinco días y a 20°C y corresponde a la cantidad de oxígeno requerida para la oxidación de la materia orgánica presente en la muestra de agua.

### **2.4.3. DQO**

Según Rojas (2002) es el oxígeno utilizado para la oxidación química de la materia orgánica. Demostrando la presencia de materia orgánica en el agua residual.

## **Tabla 1**

*Parámetros de DBO<sub>5</sub> y DQO en aguas residuales*

Constituyente	Concentración de mg L <sup>-1</sup>		
	Alto	Medio	Bajo
DBO (5 días, 20°C)	300	200	100
DQO	570	380	190

Fuente: Rojas (2002)



**Tabla 2***Parámetros de DBO5 y DQO en aguas residuales*

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua
DBO (5 días,20°C)	mg L <sup>-1</sup>	100
DQO	mg L <sup>-1</sup>	200

Fuente: MINAM (2010)

#### **2.4.4. pH**

El pH está influenciado por factores como: desarrollo de las algas, respiración, cantidad de CO<sub>2</sub>, la cantidad de contaminante presente en el agua, la actividad microbiana autotrófica y heterotrófica, siendo el pH un parámetro importante como en otras muchas especies por eso es necesario considerarlo en las microalgas dulceacuícola (Hernández-Pérez & Labbé, 2014).

Según Osorio (2012) mide el grado de acidez o alcalinidad de una solución acuosa. El pH es el logaritmo negativo de la actividad de los protones (H<sup>+</sup>) en una solución acuosa. Sin embargo, las microalgas crecen en diferentes pH eso depende de la especie a cultivar y al medio que se adecue teniendo un rango aproximado entre 5 y 12 siendo el de óptimo crecimiento de 8,5 (Beltrán et al., 2017). Asimismo, García (2011) indica que la *Chlorella* sp. es una familia con amplia tolerancia del pH con un intervalo de pH de 6,5 a 9,0 viéndose decaer su productividad en biomasa a un pH de 8,5, en un 20%, disminuyendo a 9,0 hasta 65% con respecto al máximo, se selecciona el 7,5 como valor óptimo de pH para el cultivo de *Chlorella* sp., es el valor donde esta microalga presenta máxima producción y fijación de CO<sub>2</sub>. Es por ello, que se evaluará el pH en función a su valor óptimo en la producción de microalgas.

#### **2.4.5. Conductividad Eléctrica**

Según Ministerio de Ambiente (2016) propiedad que tienen as soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica, depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura de la medición.

#### **2.4.6. Temperatura**

Es la propiedad de los sistemas que determina si están en equilibrio térmico y el calor es el flujo de energía producido por las diferencias de temperatura de un cuerpo (Osorio, 2012). Así para las microalgas la temperatura es un factor que altera el crecimiento porque influye en los coeficientes de velocidad de las reacciones biosintéticas (Richmond y Boquer, 1986) y muchas de ellas pueden desarrollarse entre 5 y 37°C a cielo abierto (Gómez, 2007).

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Ubicación

El sistema experimental fue instalado en los ambientes del laboratorio de aguas de la escuela académico profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, ubicado en la comunidad de Colpamatara, distrito de Chota, provincia de Chota, departamento de Cajamarca.

#### 3.2. Población y muestra

##### 3.2.1. Población

Para efectos de la investigación, se consideró como población a una matriz de aguas residuales de 18 litros.

##### 3.2.2. Muestra

Representada por 250 ml de microalgas con arsénico de cada matraz Erlenmeyer del sistema experimental en observación.

#### 3.3. Equipos, materiales e insumos

**Tabla 3**

*Equipos, materiales e insumos*

Equipos	Materiales	Insumos
Aireadores	Mangueras de 15 mm de diámetro	Arsénico (As <sup>+</sup> )
Timer digital	Piedras aireadoras	Agua residual
Estereoscopio	Tes y llaves	F/2 Guillard
Multiparámetro	Matraces Erlenmeyer	Tubos de ensayo
		Agua destilada
	Rejilla	Alcohol
	Porta objetos	
	Cubreobjetos	
	Algodón	
	Guantes quirúrgicos	
	Guardapolvo	
	Focos let	
	Cinta adhesiva	
	Cámara artesanal	
	Cooler con Ice pack	
	Plumón indeleble	
	Tijera	

Nota: equipos y materiales utilizados en el experimento.

### **3.4. Metodología de la investigación**

La investigación es de tipo correlacional y de método directo, pre-experimental (Sampieri et al., 2014), debido a que no se realizó una manipulación deliberada de variables; el sistema experimental consistió en un tratamiento testigo y tres tratamientos, para cada uno de ellos con sus respectivas repeticiones, monitoreados en periodos de tiempo de 3, 7 y 12 días después de aplicar el arsénico (contaminante) en cada unidad de tratamiento. En el sistema experimental se logró evaluar el porcentaje de remoción de arsénico de la microalga *Chlorella* sp. en concentraciones de 0,4 mg L<sup>-1</sup>, 1 mg L<sup>-1</sup> y 2 mg L<sup>-1</sup>, monitoreando continuamente los parámetros de pH, temperatura, conductividad eléctrica en toda la fase experimental, DBO<sub>5</sub> y DQO en el análisis de laboratorio para tener una referencia si cumple o no con los LMP establecidos por el Ministerio del Ambiente.

#### **3.4.2. Cultivo de la microalga *Chlorella* sp**

Después de tener muestras inoculadas de la microalga *Chlorella* sp. se realizó el cultivo por escalas conforme a las recordaciones dadas por García et al., (2017) luego de siete días de crecimiento y reproducción se llevó a cabo un escalado al 25% del volumen que inicia desde tubos de ensayo de 10 ml hasta Erlenmeyers de 500 ml, todo este proceso se hace entre 7 y 10 días para el crecimiento en cada escalonado, todas las unidades experimentales estuvieron en condiciones de la temperatura ambiente, luz con focos LEDs de 600 a 700 nm en fotoperiodo 12:12 h y constante aireación con una bomba de inyección de aire aquarium air pump para evitar la sedimentación de las células microalgales.

#### **3.4.3. Medio de cultivo**

La microalga *Chlorella* sp. durante su crecimiento necesita de macro y micronutrientes, estos deben estar disponibles en el medio acuoso para el aprovechamiento de las mismas. El medio de cultivo más óptimo para este microorganismo unicelular es el medio F/2 Guillard el cual se aplicó por cada L<sup>-1</sup> 2ml de este compuesto. La composición de F/2 Guillard:

**Tabla 4***Medio de cultivo de microalgas F/2 guillard*

Nutrientes	Cantidad(g)
<b>Solución A: Solución madre de Nitratos y Fosfatos (1 L)</b>	
NaNO <sub>3</sub>	84,15
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	6,0
FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	2,90
Na <sub>2</sub> EDTA.2H <sub>2</sub> O	10,0
<b>Solución B: Solución madre de silicatos (1L)</b>	
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> .9H <sub>2</sub> O	33,0
<b>Solución C: Solución madre de la traza de metales (1L)</b>	
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	1,96
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	4,40
Ma <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	1,26
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	36,0
CoCL <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	2,0
<b>Solución D: Solución madre de vitaminas (1L)</b>	
Vitamina B <sub>1</sub>	0, 4
Vitamina B <sub>12</sub>	0,002mg
Biotina	0,1 mg

Nota: se presentan soluciones constituyentes del medio F/2 guillard.

Fuente: Colque (2017)

### **3.4.4. Aplicación del contaminante arsénico (As) al inóculo de *Chlorella* sp.**

Una vez obtenido los cultivos de *Chlorella* sp. se aplicó el arsénico (contaminante) a razón de 0,2 mg, 0,5 mg y 1 mg a una concentración de 1000 ppm. Para ello, se utilizó una micropipeta graduada de 1ml, se succionó el volumen de arsénico requerido y se adicionó a matraces Erlenmeyers de 500 ml transparentes y graduados; se aplicó el arsénico en el sistema experimental, el mismo que incluye un tratamiento testigo y tres tratamientos, para cada uno de ellos se realizaron tres repeticiones a los 3, 7 y 12 días después de obtener el inóculo de microalga en cada unidad experimental respectivamente.

El sistema de tratamiento, contó con un fotoperiodo de 12:12, es decir, luz y oscuridad, como factor importante en la regulación de la producción y división celular, el sistema estuvo expuesto a luz directa generada por fluorescentes de luz blanca de 36 Wattss con una intensidad de 2000 lúmenes (Cienc y Agropecuaria, 2017).

Se realizó el monitoreo de los parámetros de pH, conductividad eléctrica, y temperatura, se realizó utilizando el multiparámetro (HANNA instruments); el monitoreo de estos parámetros se realizó diariamente y a diferentes horas del día preferentemente a las 9:00, 13:00 y 17:00, ya que son parámetros influyentes en el proceso de remoción de

arsénico. Es decir, las microalgas necesitan mantener rangos de temperatura, pH y conductividad para capturar los metaloides (Fernández et al., 2015).

### 3.4.5. La recolección de las muestras y envío a laboratorio

Se realizó de acuerdo al protocolo de toma de muestras de agua del laboratorio regional del agua; que fue facilitado y determinado según el método y validación de ensayo, el envío se realizó inmediatamente después de la recolección de las muestras, se realizó la toma de alícuotas de cada matraz del sistema de tratamiento con *Chlorella* sp. después de 3 días, a los 7 días y a los 12 días posteriores a la aplicación de arsénico. Se procedió el muestreo en frascos de 200 ml cada uno, se agregó 15 gotas de HNO<sub>3</sub> para preservar la muestra, se adecuó en un cooler de refrigeración con ice pack para la conservación de la misma a una temperatura menor a 4°C, finalmente se realizó el transporte de las muestras al laboratorio regional del agua.

### 3.4.6. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos que se empleó se muestras en la siguiente tabla:  
**Tabla 5**

*Técnicas de recolección de datos*

N°	Parámetro	Técnica
1	Arsénico	EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 1994. (Validado) 2020. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
2	pH	Instrumental - Potencial de hidrógeno pHmetro
3	Conductividad eléctrica	Instrumental - Conductímetro
4	Temperatura	Instrumental- Multiparametro
4	Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días, DBO5	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
5	Demanda química de oxígeno DQO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.

Nota: se presentan la técnica de recolección de datos.

### 3.4.7. Medición de arsénico

Las mediciones se realizaron en cada unidad experimental del sistema de tratamiento con *Chlorella* sp.

La eficiencia de remoción se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\%Remoción = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Donde:

$C_i$  = concentración de arsénico en el afluente

$C_f$  = concentración de arsénico en el efluente

### 3.5. Análisis estadístico

Se empleó el UNIANOVA de dos vías con efecto fijo, pues se utilizó para evaluar el efecto conjunto de los días de tratamiento y concentración aplicada del contaminante sobre el porcentaje de remoción de arsénico. Se utilizó el Microsoft Excel para la sistematización de datos de campo. Para el procesamiento de datos se utilizó el SPSS.

#### 3.5.1. Modelo estadístico

Se empleó el modelo estadístico lineal propio del diseño estadístico completamente al azar.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij} \quad \left\{ \begin{array}{l} i=1, \dots, t \\ j=1, \dots, n \end{array} \right.$$

Donde:

$t$  = número de tratamientos       $n$  = número de replicaciones por tratamiento      En esta forma de modelo:  $\mu$  = es el efecto medio

$T_i$  = es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

$e_{ij}$  = es el efecto verdadero de la  $j$ -ésima unidad experimental, sujeta al  $i$ -ésimo tratamiento (error experimental).

#### 3.5.2. Diseño experimental

Se desarrolló bajo un diseño estadístico completamente al azar - DCA, con tres tratamientos independientes incluido un testigo y tres repeticiones de cada tratamiento respectivamente.

**Tabla 6**

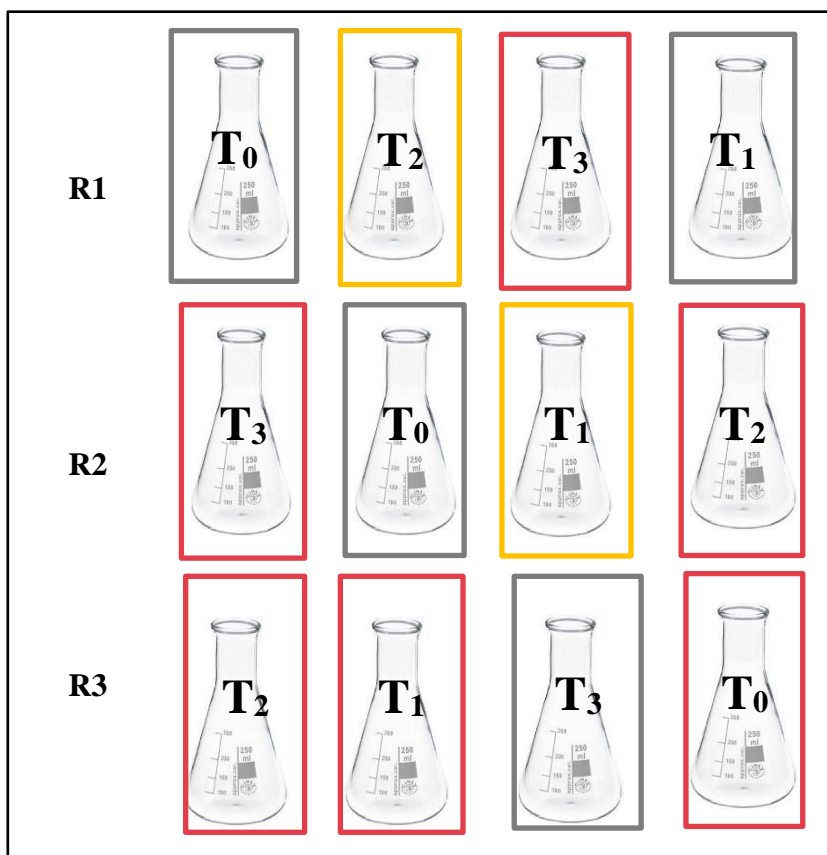
*Tratamientos en estudio*

N°	Clave	Descripción (Densidad poblacional de <i>Chlorella sp.</i> )	Arsénico
1	T <sub>0</sub>	biomasa fresca de <i>Chlorella sp.</i>	0 mg L <sup>-1</sup>
2	T <sub>1</sub>	biomasa fresca de <i>Chlorella sp.</i>	0,4 mg L <sup>-1</sup>
3	T <sub>2</sub>	biomasa fresca de <i>Chlorella sp.</i>	1,0 mg L <sup>-1</sup>
4	T <sub>3</sub>	biomasa fresca de <i>Chlorella sp.</i>	2,0 mg L <sup>-1</sup>

Nota: se aprecia las concentraciones de arsénico utilizadas

**Figura 5**

*Diseño del sistema de tratamiento*



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados por periodo de aplicación

Se presenta ordenadamente los resultados obtenidos por período de monitoreo (3 días, 7 días y 12 días) después de haberse aplicado arsénico con sus respectivos tratamiento y repeticiones conforme al diseño experimental.

**Tabla 7***Resultados obtenidos a los 3 días*

Repeticiones	Arsénico mg L <sup>-1</sup>			
	T0	T1	T2	T3
R1	0,023	0,078	0,225	0,462
R2	0,023	0,076	0,202	0,421
R3	0,023	0,085	0,210	0,391

Nota: se presenta valores obtenidos a los 3 días posteriores a la aplicación de arsénico, por repetición y tratamiento respectivamente.

**Tabla 8***Resultados obtenidos a los 7 días*

Repeticiones	Arsénico mg L <sup>-1</sup>			
	T0	T1	T2	T3
R1	0,023	0,091	0,192	0,294
R2	0,023	0,082	0,123	0,0050
R3	0,023	0,084	0,187	0,0050

Nota: se presenta valores obtenidos a los 7 días posteriores a la aplicación de arsénico, por repetición y tratamiento respectivamente.

**Tabla 9***Resultados obtenidos a los 12 días*

Repeticiones	Arsénico mg L <sup>-1</sup>			
	T0	T1	T2	T3
R1	0,023	0,081	0,282	0,373
R2	0,023	0,102	0,193	0,108
R3	0,023	0,075	0,29	0,501

Nota: se presenta valores obtenidos a los 12 días posteriores a la aplicación de arsénico, por repetición y tratamiento respectivamente.



### 4.3. Cálculo de remoción de arsénico

La remoción de arsénico se determinó procesando los datos reportados por el laboratorio regional del agua, el análisis de remoción se realizó por periodo de tratamiento y por tratamiento diferenciado, esto a partir de la adición de contaminante en diferentes cantidades lo que determinará un porcentaje de remoción diferente.

#### Remoción de arsénico a 3 días

El cálculo del porcentaje de remoción de arsénico en el sistema experimental con *Chlorella* sp., después de 3 días de haber sido contaminado con arsénico a una concentración de 0,2 mg L<sup>-1</sup>, 0,5 mg L<sup>-1</sup> y 1,0 mg L<sup>-1</sup> correspondiente al T3, T7 y T12, se realizó el muestreo y análisis en cada tratamiento con tres repeticiones de cada uno.

La eficiencia de remoción se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\%Remoción = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Donde:

$C_i$  = concentración de arsénico aplicado

$C_f$  = concentración de arsénico después de tratamiento

#### Para el tratamiento 1 (T1)

$C_i = 0,20 \text{ mg L}^{-1}$  (concentración de arsénico aplicado)

$C_f = 0,08 \text{ mg L}^{-1}$  (concentración de arsénico después de tratamiento)

$$\%Remoción = \frac{0,20 - 0,08}{0,20} \times 100$$

$$\%Remoción = 60,17 \%$$

En el tratamiento T1 que corresponde al tratamiento con biomasa fresca de *Chlorella* sp. y la adición de 0,2 mg L<sup>-1</sup> de arsénico se evidenció una reducción considerable a 0,078 mg L<sup>-1</sup> en la primera repetición, 0,076 mg L<sup>-1</sup> en la segunda repetición y 0,085 mg L<sup>-1</sup> en la tercera repetición, evidenciándose una significativa reducción de la concentración de arsénico suministrada, calculándose una eficiencia de remoción de 60,17%, el mismo que es atribuido a Nagore (2017) que la biomasa viva adsorbe hasta un 91% de metales en el agua y con biomasa muerta de microalgas precipitó hasta un 37,27% para el arsénico a las 3 horas de contacto a concentraciones de 1 mg L<sup>-1</sup>.

### Para el tratamiento 2 (T2)

$C_i = 0,50 \text{ mg L}^{-1}$  (concentración de arsénico aplicado)

$C_f = 0,08 \text{ mg L}^{-1}$  (concentración de arsénico después de tratamiento)

$$\%Remoción = \frac{0,50 - 0,21}{0,50} \times 100$$

$$\%Remoción = 57,53 \%$$

En el tratamiento T2 que corresponde al tratamiento con biomasa fresca de *Chlorella* sp. y la adición de  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$  de arsénico se evidenció una reducción considerable a  $0,225 \text{ mg L}^{-1}$  en la primera repetición,  $0,202 \text{ mg L}^{-1}$  en la segunda repetición y  $0,210 \text{ mg L}^{-1}$  en la tercera repetición, evidenciándose una significativa reducción de la concentración de arsénico suministrada, calculándose una eficiencia de remoción de  $57,53\%$ , el mismo que es atribuido a Hernández & Labbé (2014) que los metales pesados, removidos por *Chlorella* sp. alcanzan un porcentaje de remoción de  $77,5\%$  soportando y adaptándose fisiológicamente al estrés del contaminante.

### Para el tratamiento 3 (T3)

$C_i = 1,00 \text{ mg L}^{-1}$  (concentración de arsénico aplicado)

$C_f = 0,08 \text{ mg L}^{-1}$  (concentración de arsénico después de tratamiento)

$$\%Remoción = \frac{1,00 - 0,42}{1,00} \times 100$$

$$\%Remoción = 57,53 \%$$

El tratamiento T3 que corresponde al tratamiento con biomasa fresca de *Chlorella* sp. y la adición de  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$  de arsénico se evidenció una reducción considerable a  $0,462 \text{ mg L}^{-1}$  en la primera repetición,  $0,421 \text{ mg L}^{-1}$  en la segunda repetición y  $0,391 \text{ mg L}^{-1}$  en la tercera repetición, evidenciándose una significativa reducción de la concentración de arsénico suministrada, calculándose una eficiencia de remoción de  $60,17\%$ , el mismo que es atribuido a Bartra (2019) demuestran que *Chlorella* sp. presentó una tolerancia mediana-alta, alta tasa, rapidez de crecimiento y asimilación del metal a la exposición permanente y en diferentes concentraciones de arsénico, presentando un incremento de la biomasa que se triplicó en el día 7 y 8 favorecido por los macro y microelementos añadidos.

### Remoción de arsénico a 7 días

Se calculó la eficiencia de remoción de arsénico en el sistema experimental con *Chlorella* sp., después de 7 días de haber sido contaminado con arsénico a una concentración de 0,2 mg L<sup>-1</sup>, 0,5 mg L<sup>-1</sup> y 1,0 mg L<sup>-1</sup> correspondiente al T3, T7 y T12, se realizó el muestreo y análisis en cada tratamiento con tres repeticiones de cada uno.

La eficiencia de remoción se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\%Remoción = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Donde:

$C_i$  = concentración de arsénico aplicado

$C_f$  = concentración de arsénico después de tratamiento

#### **Para el tratamiento 1 (T1)**

$C_i = 0,20 \text{ mg L}^{-1}$  (concentración de arsénico aplicado)

$C_f = 0,09 \text{ mg L}^{-1}$  (concentración de arsénico después de tratamiento)

$$\%Remoción = \frac{0,20 - 0,08}{0,20} \times 100$$

$$\%Remoción = 57,17 \%$$

El tratamiento T1 que corresponde al tratamiento con biomasa fresca de *Chlorella* sp. y la adición de 0,2 mg L<sup>-1</sup> de arsénico se evidenció una reducción considerable a 0,091 mg L<sup>-1</sup> en la primera repetición, 0,082 mg L<sup>-1</sup> en la segunda repetición y 0,084 mg L<sup>-1</sup> en la tercera repetición, evidenciándose una significativa reducción de la concentración de arsénico suministrada, calculándose una eficiencia de remoción de 57,17%, el mismo que es atribuido a Valderrama (2018) los resultados han sido favorables demostrando que en el tratamiento 2 existió de 66 y 75 por ciento y los resultados óptimos fueron entre la primera y la segunda semana.

#### **Para el tratamiento 2 (T2)**

$C_i = 0,50 \text{ mg L}^{-1}$  (concentración de arsénico aplicado)

$C_f = 0,17 \text{ mg L}^{-1}$  (concentración de arsénico después de tratamiento)

$$\%Remoción = \frac{0,50 - 0,21}{0,50} \times 100$$

$$\%Remoción = 66,53 \%$$

El tratamiento T2 que corresponde al tratamiento con biomasa fresca de *Chlorella* sp. y la adición de 0,5 mg L<sup>-1</sup> de arsénico se evidenció una reducción considerable a 0,192 mg L<sup>-1</sup> en la primera repetición, 0,123 mg L<sup>-1</sup> en la segunda repetición y 0,187 mg L<sup>-1</sup> en la tercera

repetición, evidenciándose una significativa reducción de la concentración de arsénico suministrada, calculándose una eficiencia de remoción de 66,53%, el mismo que es atribuido a Céspedes (2019) las microalgas lograron la remoción de niveles de 90% y 70% durante un tratamiento de 15 días logrando remover metales pesados y DQO.

### Para el tratamiento 3 (T3)

$C_i = 1,00 \text{ mg L}^{-1}$  (concentración de arsénico aplicado)

$C_f = 0,10 \text{ mg L}^{-1}$  (concentración de arsénico después de tratamiento)

$$\%Remoción = \frac{1,00 - 0,42}{1,00} \times 100$$

$$\%Remoción = 89,87 \%$$

El tratamiento T3 que corresponde al tratamiento con biomasa fresca de *Chlorella* sp. y la adición de  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$  de arsénico se evidenció una reducción considerable a  $0,294 \text{ mg L}^{-1}$  en la primera repetición,  $0,005 \text{ mg L}^{-1}$  en la segunda repetición y  $0,005 \text{ mg L}^{-1}$  en la tercera repetición, evidenciándose una significativa reducción de la concentración de arsénico suministrada, calculándose una eficiencia de remoción de 89,87%, el mismo que es atribuido a Xie et al. (2018) demostrando grandes capacidades para la transformación y liberación de 86,11% de remoción. Por tanto, fue consistente con la liberación y transformación de arsénico en condiciones de inhibición. Lo que sugiere que el comportamiento de arsénico en la microalga que estaban relacionadas con el estrés del crecimiento.

### Remoción de arsénico a 12 días

Se calculó la eficiencia de remoción de arsénico en el sistema experimental con *Chlorella* sp, después de 12 días de haber sido contaminado con arsénico a una concentración de  $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$  y  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$  correspondiente al T3, T7 y T12, ser realizo el muestreo y análisis en cada tratamiento con tres repeticiones de cada uno.

La eficiencia de remoción se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\%Remoción = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Donde:

$C_i$  = concentración de arsénico aplicado

$C_f$  = concentración de arsénico después de tratamiento

### Para el tratamiento 1 (T1)

$$C_i = 0,20 \text{ mg L}^{-1} \text{ (concentración de arsénico aplicado)}$$

$$C_f = 0,09 \text{ mg L}^{-1} \text{ (concentración de arsénico después de tratamiento)}$$

$$\%Remoción = \frac{0,20 - 0,09}{0,20} \times 100$$

$$\%Remoción = 57,00 \%$$

El tratamiento T1 que corresponde al tratamiento con biomasa fresca de *Chlorella* sp. y la adición de 0,2 mg L<sup>-1</sup> de arsénico se evidenció una reducción considerable a 0,081 mg L<sup>-1</sup> en la primera repetición, 0,102 mg L<sup>-1</sup> en la segunda repetición y 0,075 mg L<sup>-1</sup> en la tercera repetición, evidenciándose una significativa reducción de la concentración de arsénico suministrada, calculándose una eficiencia de remoción de 57,00%, el mismo que es atribuido a Chulle & Villalobos (2016) la remoción de microalgas para los metales pesados se obtuvo de 97,68 para plomo y 93% para mercurio después de 4 días de contacto y los niveles de remoción han disminuido cuando se incrementa los niveles de concentración del metal.

### Para el tratamiento 2 (T2)

$$C_i = 0,50 \text{ mg L}^{-1} \text{ (concentración de arsénico aplicado)}$$

$$C_f = 0,26 \text{ mg L}^{-1} \text{ (concentración de arsénico después de tratamiento)}$$

$$\%Remoción = \frac{0,50 - 0,26}{0,50} \times 100$$

$$\%Remoción = 49,00 \%$$

El tratamiento T2 que corresponde al tratamiento con biomasa fresca de *Chlorella* sp. y la adición de 0,5 mg L<sup>-1</sup> de arsénico se evidenció una reducción considerable a 0,282 mg L<sup>-1</sup> en la primera repetición, 0,193 mg L<sup>-1</sup> en la segunda repetición y 0,290 mg L<sup>-1</sup> en la tercera repetición, evidenciándose una significativa reducción de la concentración de arsénico suministrada, calculándose una eficiencia de remoción de 60,17%, el mismo que es atribuido a Jimeno et al. (2017) que la microalga *Chlorella* sp. removió el 97,2% de contaminantes de aguas residuales sugiriendo dicho estudio que la microalga es eficiente.

### Para el tratamiento 3 (T3)

$$C_i = 1,00 \text{ mg L}^{-1} \text{ (concentración de arsénico aplicado)}$$

$$C_f = 0,33 \text{ mg L}^{-1} \text{ (concentración de arsénico después de tratamiento)}$$

$$\%Remoción = \frac{1,00 - 0,33}{1,00} \times 100$$

$$\%Remoción = 67,27 \%$$

El tratamiento T3 que corresponde al tratamiento con biomasa fresca de *Chlorella* sp. y la adición de 1,0 mg L<sup>-1</sup> de arsénico se evidenció una reducción considerable a 0,373 mg L<sup>-1</sup> en la primera repetición, 0,108 mg L<sup>-1</sup> en la segunda repetición y 0,501 mg L<sup>-1</sup> en la tercera repetición, evidenciándose una significativa reducción de la concentración de arsénico suministrada, calculándose una eficiencia de remoción de 60,17%, el mismo que es atribuido. El proceso de adsorción por parte de *Chlorella* sp se traduce en la remoción de arsénico del medio de cultivo, según Stephens et. Al. (2010), afirma que *Chlorella* sp es un buen bioadsorbente porque la célula microalgal posee en su superficie microvellosidades constituidas de proteínas, carbohidratos, lípidos y almidones que son afines a los metales pesados como el arsénico.

#### 4.4. Monitoreo de parámetros influyentes

Para la medición de parámetros influyentes de pH, temperatura y conductividad eléctrica se realizó en tres series: 1 (mañana), 2(medio día) y 3 (tarde) durante la fase experimental de 3, 7 y 12 días.

##### 4.4.1. pH

En el desarrollo experimental de la investigación se evaluó el parámetro de pH que osciló entre un rango de 5,16 a 6,53 unidades de pH.

**Tabla 10**

*Valores pH*

Valores de pH				
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido 5,16	9	33,3	33,3	33,3
5,55	1	3,7	3,7	37,0
5,61	2	7,4	7,4	44,4
5,62	3	11,1	11,1	55,6
5,65	1	3,7	3,7	59,3
5,66	1	3,7	3,7	63,0
5,67	1	3,7	3,7	66,7
6,43	1	3,7	3,7	70,4
6,48	2	7,4	7,4	77,8
6,51	1	3,7	3,7	81,5
6,52	4	14,8	14,8	96,3
6,53	1	3,7	3,7	100,0
Total	27	100,0	100,0	

Nota: se presenta valores obtenidos de pH en el experimento.

La disminución del pH se dio debido a la temperatura ambiental, la actividad biológica de las microalgas por el uso y consumo de CO<sub>2</sub>, estas se reproducen exponencialmente aprovechando el calor y la luz, aumentando el pH en la fase diurna y ocurre lo contrario en la fase nocturna (López, 2001).

De acuerdo con Beltrán et al. (2017) quien asevera que las microalgas se adecuan en un rango de pH entre 5 a 12 y eso dependerá del tipo de sustancia con que se trabaje. El inóculo de *Chlorella* sp., cuya función es actuar como un bioadsorbente de metales pesados como el arsénico ha demostrado ser eficiente en el día 7, alcanzando un pH promedio de 5,94. La máxima remoción para el Arsénico se realiza a pH óptimo de 7, debido a que a pH 8 empieza a precipitar (Raven et al., 1998). Ocurre lo mismo si la concentración de CO<sub>2</sub> crece, la de iones de hidrógeno aumenta y el pH disminuye y a la inversa, si disminuye la concentración de dióxido de carbono, la de iones de hidrógeno cae y el pH aumenta (Villa et al., 2014). Por tanto, es importante el control de la temperatura en un tratamiento biológico con microalgas para bioadsorción de arsénico. Demostrando que el pH es un parámetro influyente en el proceso de bioadsorción de metales pesados (Buestán, 2019), es el parámetro que determina protones tanto en la superficie como en la solución acuosa, a un pH de 5,0 la absorción tiene dificultades porque los protones están en la pared celular, sin embargo, a un pH más neutro los centros activos se desprotonan y captan una mayor cantidad de cationes. Depende de ello, el porcentaje de remoción del metal pesado (Nagore, 2017).

#### 4.4.2. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica se muestra ligeramente variable con valores muy próximos, monitoreados a diferentes horas del día, se muestran valores que fluctúan entre 317,72  $\mu\text{S cm}^{-1}$  valor mínimo y 396,33  $\mu\text{S cm}^{-1}$  valor máximo.

**Tabla 11**

*Valores conductividad eléctrica*

Conductividad eléctrica				
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	317,72	1	3,7	3,7
	353,11	1	3,7	7,4
	355,56	1	3,7	11,1
	356,22	1	3,7	14,8
	356,47	1	3,7	18,5
	358,56	1	3,7	22,2
	361,44	1	3,7	25,9
	363,22	1	3,7	29,6

371,33	1	3,7	3,7	33,3
371,44	1	3,7	3,7	37,0
372,52	1	3,7	3,7	40,7
374,05	1	3,7	3,7	44,4
376,33	1	3,7	3,7	48,1
376,44	1	3,7	3,7	51,9
377,67	1	3,7	3,7	55,6
377,81	1	3,7	3,7	59,3
378,03	1	3,7	3,7	63,0
379,56	1	3,7	3,7	66,7
379,71	1	3,7	3,7	70,4
382,33	1	3,7	3,7	74,1
384,76	1	3,7	3,7	77,8
389,33	1	3,7	3,7	81,5
389,38	1	3,7	3,7	85,2
390,43	1	3,7	3,7	88,9
393,67	1	3,7	3,7	92,6
396,22	1	3,7	3,7	96,3
396,33	1	3,7	3,7	100,0
Total	27	100,0	100,0	

---

Nota: se presenta valores obtenidos de conductividad eléctrica en el experimento.

La variabilidad de la conductividad eléctrica en los periodos monitoreados de 3, 7 y 12 días, se evidenció que, en el periodo de 12 días, se alcanzó una mayor conductividad. La medida de la conductividad se tomó con la finalidad de hacer un control indirecto de los nutrientes asimilados por la *Chlorella* sp. Al tratarse de microorganismos vivos que están en constante evolución, los resultados obtenidos son los evaluados en los sistemas de tratamiento y repeticiones a diferentes horas del día, los resultados nos pueden dar una idea de la evolución de la concentración de sales (Álvarez, 2012), la conductividad eléctrica permitió transportar la energía y los compuestos inorgánicos como el arsénico, siendo buenos conductores de electricidad y dependen de su concentración, movilidad, valencia y temperatura de la solución (Mostafa et al., 2012) existiendo un mínimo de conductividad eléctrica de 317,72  $\mu\text{S cm}^{-1}$  y un máximo de 396,33  $\mu\text{S cm}^{-1}$  presentando cambios en el comportamiento de la conductividad eléctrica (Maity et al., 2014).



#### 4.4.3. Temperatura

**Tabla 12**

*Valores de temperatura*

Temperatura				
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido 14,91	1	3,7	3,7	3,7
14,93	1	3,7	3,7	7,4
14,95	1	3,7	3,7	11,1
14,96	1	3,7	3,7	14,8
15,00	1	3,7	3,7	18,5
15,01	1	3,7	3,7	22,2
15,05	1	3,7	3,7	25,9
15,08	1	3,7	3,7	29,6
15,12	1	3,7	3,7	33,3
15,81	9	33,3	33,3	66,7
15,85	1	3,7	3,7	70,4
15,86	1	3,7	3,7	74,1
15,96	2	7,4	7,4	81,5
15,97	2	7,4	7,4	88,9
15,98	1	3,7	3,7	92,6
16,02	1	3,7	3,7	96,3
16,08	1	3,7	3,7	100,0
Total	27	100,0	100,0	

Nota: se presenta valores obtenidos de temperatura en el experimento.

Demostrando que en el rango de 14,91°C a 16,08 °C el crecimiento de microalgas está cercano a los parámetros óptimos de crecimiento que oscilan entre 16 y 27 °C, asimismo, depende de la temperatura su aceleración o retraso de la multiplicación de biomasa algal (ReiBer, 2007). Cuando el cultivo de microalgas sobrepasa a los 35°C disminuyen significativamente el crecimiento celular con respecto a los rangos entre los 14°C y 34°C (Tul & Mara, 2005).

El incremento de la temperatura se debe a la variación de temperatura ambiente. Pero esto no es significativo para la *Chlorella* sp. pues tiene un rango amplio de temperatura y en sistemas cerrados solamente necesita aireación que se dio mediante el suministro de aireación constante (Ruiz, 2011).

#### **4.4.4. Luz**

La luz del sistema experimental contó con un fotoperiodo de 12:12, es decir 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad, se utilizó un timer digital debidamente programado para controlar los tiempos del fotoperiodo. Se empleó focos LEDs con intensidad de 2000 Lm y con potencia de 18 W. Es importante la luminosidad porque a través del proceso fotosintético se alcanza la máxima tasa de crecimiento específica y si sobrepasa esto, sucede fotoinhibición que son perjudiciales para el crecimiento, deterioro de la célula y causando la muerte (Beltran et al., 2017). La luminosidad fue eficiente y económica, alcanzó un 98% con su luz entre 600 y 700 nm (Stephens et al., 2010); no se evidenció cambios, solo ha permitido el crecimiento de biomasa microalgal.

#### **4.5. DBO<sub>5</sub>**

Después de haber recibido los resultados del laboratorio regional de aguas del gobierno regional de Cajamarca se determinó que existe una concentración de DBO<sub>5</sub> de 95,9 mg L<sup>-1</sup> lo que nos indica que se encuentra dentro de los valores aceptables por su baja concentración de materia orgánica y que cumple con los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. MINAM (2010) menciona un valor de 100 mg L<sup>-1</sup> es aceptable para ser vertido a un cuerpo de agua.

#### **4.6. DQO**

Después de haber recibido los resultados del laboratorio regional de aguas del gobierno regional de Cajamarca se determinó que existe una concentración de DQO de 388,2 mg L<sup>-1</sup>, que por el contrario de la DBO<sub>5</sub> este es un valor que no cumple con los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. MINAM (2010) menciona un valor de 200 mg L<sup>-1</sup> es aceptable para ser vertido a un cuerpo de agua.

**Tabla 13***Frecuencias*

		Estadísticos				
		Final Arsénico (mgL <sup>-1</sup> ) al final	Valores de ph	Conductividad eléctrica	Temperatura	Días de tratamiento
N	Válido	27	27	27	27	27
	Perdidos	0	0	0	0	0
Media		,1933	5,7615	373,3200	15,5907	2,00
Mediana		,1870	5,6200	376,4400	15,8100	2,00
Moda		,01	5,16	317, 72a	15,81	1a
Desv. Desviación		,14013	,56737	16,99332	,43312	,832
Rango		,50	1,37	78,61	1,17	2
Mínimo		,01	5,16	317,72	14,91	1
Máximo		,50	6,53	396,33	16,08	3
Percentiles	25	,0820	5,1600	361,4400	15,0500	1,00
	50	,1870	5,6200	376,4400	15,8100	2,00
	75	,2900	6,4800	384,7600	15,9600	3,00

Nota: se presenta valores obtenidos de la frecuencia.

Los datos no son normales porque se trabajó con nueve tratamientos con tres unidades experimentales.

Existe una media de 0,193 de remoción de arsénico, una media de pH 5,761, una conductividad de 373,320 y una temperatura de 15,590 indicando que el acondicionamiento del experimento fue adecuado y a su vez eficiente. Demostrando un mínimo de remoción de 0,01mgL<sup>-1</sup> y un máximo 0,50 mgL<sup>-1</sup>. Para los parámetros mostró un valor de pH mínimo de 5,16 y 6,53 el valor máximo, el valor mínimo de conductividad eléctrica fue 317,72  $\mu\text{S cm}^{-1}$  y un máximo de 396,33  $\mu\text{S cm}^{-1}$  y para temperatura un mínimo de 14,91 °C y un máximo de 16,08°C.

#### 4.2. Análisis univariado de varianza

El UNIANOVA se realizó en los tres tratamientos para determinar su grado de diferencia significativa, o la variabilidad estadística de los tratamientos.

**Tabla 14**

UNIANOVA

Factores inter-sujetos			
	Etiqueta de valor N		
Días de tratamiento	1	3 días	9
	2	7 días	9
	3	12 días	9
Concentración de arsénico aplicado	1,0	1 mgL <sup>-1</sup>	9
	2,0	0,2 mgL <sup>-1</sup>	9
	5,0	0,5 mgL <sup>-1</sup>	9

Nota: días de tratamiento y concentraciones de arsénico aplicado en el experimento.

**Tabla 15***Porcentaje de remoción de arsénico*

Estadísticos descriptivos				
Variable dependiente: Porcentaje de remoción de arsénico				
Días de tratamiento	Concentración de arsénico aplicado	Media	Desv. Desviación	N
3 días	1 mgL <sup>-1</sup>	57,533	3,5642	3
	0,2 mgL <sup>-1</sup>	60,167	2,3629	3
	0,5 mgL <sup>-1</sup>	57,533	2,3352	3
	Total	58,411	2,7692	9
7 días	1 mgL <sup>-1</sup>	89,867	16,6854	3
	0,2 mgL <sup>-1</sup>	57,167	2,3629	3
	0,5 mgL <sup>-1</sup>	66,533	7,6950	3
	Total	71,189	17,2767	9
12 días	1 mgL <sup>-1</sup>	67,267	20,0440	3
	0,2 mgL <sup>-1</sup>	57,000	7,0887	3
	0,5 mgL <sup>-1</sup>	49,000	10,7685	3
	Total	57,756	14,3136	9
Total	1 mgL <sup>-1</sup>	71,556	19,4829	9
	0,2 mgL <sup>-1</sup>	58,111	4,2114	9
	0,5 mgL <sup>-1</sup>	57,689	10,1396	9
	Total	62,452	14,0339	27

Nota: se presenta valores obtenidos de la remoción de arsénico en todo el experimento.

En el grupo de 3 días hay diferencias bajas. Sin embargo, para el día 7 se obtuvo una media alta de 89,867% siendo la más representativa y un 49,000 % para el día 12 siendo el mínimo.

**Tabla 16***Prueba F para heterocedasticidad<sup>a,b,c</sup>*

Prueba F para heterocedasticidad <sup>a,b,c</sup>			
F	gl1	gl2	Sig.
6,062	1	25	,021

Nota: la prueba F para heterocedasticidad del experimento.

**Tabla 17***Pruebas de efectos inter-sujetos*

Pruebas de efecto inter- sujetos						
Variable dependiente: Porcentaje de remoción de arsénico						
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Modelo corregido	3250,881 <sup>a</sup>	8	406,360	3,912	3,912	,635
Intersección	105306,313	1	105306,313	1013,738	1013,738	,983
diatratamiento	1032,467	2	516,234	4,970	4,970	,356
concentraciónarsenicoapli	1119,647	2	559,824	5,389	5,389	,375
diatratamiento*	1098,766	4	274,691	2,644	2,644	,370
concentracionarsenicoapli						
Error	1869,827	18	103,879			
Total	110427,020	27				
Total corregido	5120,707	26				

Nota: se presentan valores obtenidos de la concentración de arsénico y los días de tratamiento en el porcentaje de remoción de arsénico.

Existen diferencias estadísticamente significativas en las unidades experimentales según los grupos de días de tratamiento. Existen diferencias estadísticamente significativas en los promedios de porcentaje de remoción de arsénico entre los tres grupos de días de tratamiento. Las diferencias estadísticas significativas entre los porcentajes de remoción de arsénico de los tres grupos en conjunto de la concentración de arsénico aplicado. La interacción no es significativa, porque no hay efecto conjunto entre incorporar días de tratamiento y concentración de arsénico. Es decir, las medias no se ven influenciados por incorporar una segunda variable independiente, no es significativo.

La variable días de tratamiento impacta en un 35% lo que es bajo, es decir días de tratamiento tiene un efecto bajo alejado de la unidad en los promedios de porcentaje de remoción. Es decir, los días de tratamiento frente a los porcentajes de remoción es de 0,35.

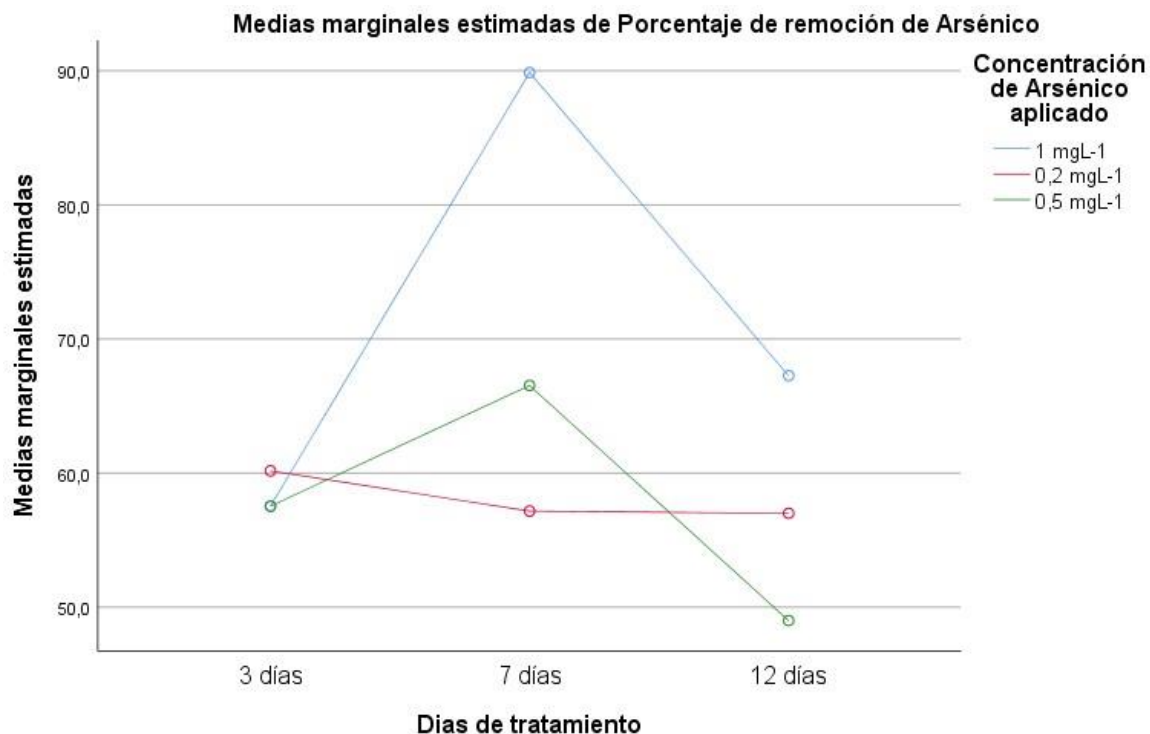
Por tanto, si, hay diferencias significativas en el efecto que tienen los días de tratamiento y las concentraciones de arsénico aplicado, en los porcentajes de remoción de arsénico. Existe un Eta parcial de 0,635 lo que indica que el 63% es moderado explicando el porcentaje de remoción. Teniendo un efecto significativo y moderado.

**Tabla 18***Pruebas post hoc, días de tratamiento*

Comparaciones múltiples							
Variable dependiente: Porcentaje de remoción de arsénico							
	(I) Días de tratamiento	(J) Días de tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Desv. error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	3 días	7 días	-12,778*	4,8046	,040	-25,040	-,516
		12 días	,656	4,8046	,990	-11,607	12,918
	7 días	3 días	12,778*	4,8046	,040	,516	25,040
		12 días	13,433*	4,8046	,031	1,171	25,695
	12 días	3 días	-,656	4,8046	,990	-12,918	11,607
		7 días	- 13,433*	4,8046	,031	-25,695	-1,171

Nota: se presenta valores obtenidos pruebas post hoc de los días de tratamiento para el porcentaje de remoción de arsénico.

Al emplear el test de Tukey al 5% de probabilidad para los tratamientos (3 días, 7 días y 12 días) del estudio. Hay relación estadísticamente significativa en el día 3 con el día 7, el día 7 con el día 3, el día 12 con el día 7, el día 7 con el día 12 y el día 12 con el día 3.

**Figura 6***Medidas marginales estimadas de porcentaje de remoción de arsénico*

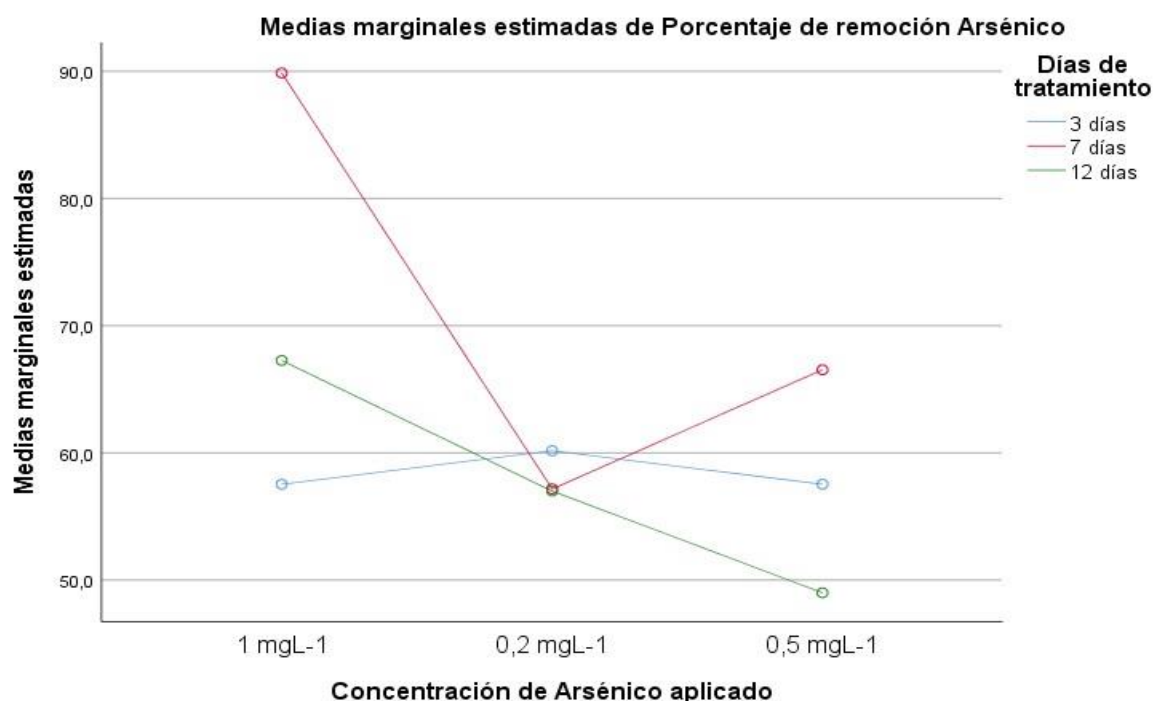
Nota: se presentan valores obtenidos del porcentaje de remoción con respecto a los días de tratamiento.

Representa la media marginal estimada, es decir la representación de los datos experimentales, es tener todas las medias dentro de un grupo y partirlo por el número de elementos. Media promedio de un grupo. Al restar los incrementos de las diferencias porcentuales. La diferencia significativa de 3 días a los 7 días, demostrando un porcentaje de 89,87% siendo la más eficiente, siendo el día 12 el más ineficiente de los tres tratamientos.

A los 3 días tiene poco espacio para remover, a los 7 días alcanza su porcentaje máximo de remoción y a los 12 días decae. Esto sucede porque un aumento en la concentración de metal en una solución a tratar, aumenta la capacidad de adsorción debido a la variación de la concentración del arsénico (Achudume et al., 2010), al haber un mayor número de iones en la solución se favorece la interacción de los sitios de adsorción presentes en la *Chlorella* sp (Amaya et al., 2008). Un aumento en la cantidad de biomasa empleada para eliminar metales pesados provoca un aumento en la eficiencia de la remoción ya que la biomasa de microalgas ofrece mayor superficie de contacto para atrapar metales (Achudume et al., 2010).

**Figura 7**

*Medidas marginales estimadas de porcentaje de remoción de arsénico*



Nota: se presentan valores obtenidos del porcentaje de remoción de arsénico con respecto a la concentración inicial de arsénico aplicado.

## CAPÍTULO V.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

A la luz de los resultados obtenidos y de la discusión de los mismos se puede concluir que:

1. Existe un efecto moderado de 0,47 de la interacción parcial de la concentración de arsénico aplicado y los días de tratamiento. La variable días de tratamiento impacta en un 35% lo que es bajo, es decir días de tratamiento tiene un efecto bajo alejado de la unidad en los promedios de porcentaje de remoción. Por lo tanto, los días de tratamiento frente a los porcentajes de remoción es de 0,35. Existe un Eta parcial de 0,635 lo que indica que el 63% es moderado explicando el porcentaje de remoción. Teniendo un efecto significativo y moderado.
2. La eficiencia de la microalga *Chlorella* sp. remoción de arsénico es de 63%, indicando que es un buen bioadsorbente, por consiguiente, es un método biológico para remover arsénico presentes en las aguas residuales domésticas, respaldado por el análisis estadístico de confiabilidad y varianza, al realizar el UNIANOVA con una confiabilidad de 5% muestra que en los tratamientos de 3,7 y 12 días existen diferencias estadísticamente significativas entre los porcentajes de remoción de arsénico de los tres grupos en conjunto de la concentración de arsénico aplicado.
3. Se determinó que existe un mínimo de remoción de  $0,01\text{mgL}^{-1}$  y un máximo  $0,50\text{mgL}^{-1}$ . Para los parámetros mostró un valor de pH mínimo de 5,16 y 6,53 el valor máximo, el valor mínimo de conductividad eléctrica fue  $317,72\ \mu\text{S cm}^{-1}$  y un máximo de  $396,33\ \mu\text{S cm}^{-1}$  y para temperatura un mínimo de  $14,91\ ^\circ\text{C}$  y un máximo de  $16,08^\circ$ , para la DBO5 de 95,9 indicando que estuvo en concentraciones bajas y cumple con los Límites Máximos Permisibles ya que se encuentra por debajo de los  $100\ \text{mg L}^{-1}$ . Sin embargo, la DQO es de 388,2 presentando valores altos y no cumplieron con los estándares de calidad ambientales para los efluentes de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

#### 5.2. Recomendaciones

- Se recomienda evaluar otros parámetros como salinidad,  $\text{CO}_2$ , nitratos, fosfatos, considerados como niveles muy importantes que influirán en la remoción de arsénico de matrices contaminadas con este metal pesado, y la evaluación de células microalgales, clorofila y un análisis fisiológico para determinar con exactitud y



precisión la adsorción de metales pesados o la degradación y estabilización del mismo por parte de esta unidad biológica.

- Experimentar con distintas poblaciones microalgales para evaluar la remoción de metales pesados y nutrientes, buscando otros microorganismos eficientes en la asimilación de nutrientes.
- Se recomienda cultivar las microalgas con fines de producción masiva debido a sus características y potencial en la industria de cosméticos, biodiesel, piensos para peces, bioestimulantes y alimentos.

## CAPÍTULO VI.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achudume, A., Odoh, S., & Adeniyi, F. (2010). Assessment of Effluents from Associated Match Industries with Emphasis on Bioaccumulation of Heavy Metals in Crab. *Journal of Water Resource and Protection*, 02(08), 751–755. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2010.28087>
- Ampar, A. C., Gonz, G., Robau, A., & Casarrubias, L. B. (2007). *Modificación con hierro de carbón activado para remover As en agua* Modificación con hierro de carbón activado para remover As en agua.
- ANA. (2013). Situación actual en el sector de agua y saneamiento en el Perú. *Autoridad Nacional Del Agua*. <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/938> Autoridad Nacional del Servicio Civil. (2021). *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 2013–2015.
- Avanzados, E., No, I. P. N., & Zacatenco, S. P. (2000). *Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana*. 131–143.
- Bataller Sifre, R. (2006). La toxicología clínica, un renovado componente de la Medicina Interna. *Anales de Medicina Interna*, 23(12), 563–564. <https://doi.org/10.4321/s021271992006001200001>
- Beltran-Cediel, Y., Quiñones-García, A., & Vargas, J. (2017). Sistema de automatización para el control de las condiciones ambientales en el cultivo de microalga chlorella. *Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo*, 3(3), 31–36. <http://revistacid.itslerdo.edu.mx/coninci2017/06> Sistema De Automatización Para El Control De Las.pdf
- Beltrán-Rocha, J. C., Guajardo-Barbosa, C., Barceló-Quinta, I. D., & López-Chuken, U. J. (2017). Biotreatment of secondary municipal effluents using microalgae: Effect of pH, nutrients (C, N AND P) and CO<sub>2</sub> enrichment. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 52(3), 417–427. <https://doi.org/10.4067/s0718-19572017000300001>
- Biotechnologicas, B. Y. (2013). *UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS* ,.
- Buestán, J. C. (2019). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. *Tesis*, 80.
- Chisti, Y. (2004). Microalgae: our marine forests. *Biotechnology Advances*, 22(7), 565–566. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2004.04.001>
- Chulle, L., & Villalobos, P. (2016). *Remoción de metales pesados (mercurio y plomo) de soluciones acuosas sintéticas en diferentes concentraciones utilizando la microalga*

*dulceacuicola Scenedesmus acutus*. 87.

<http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/779/BC-TES-5651.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cienc, C., & Agropecuaria, T. (2017). *Beyerinck (Chlorellales : Chlorellaceae) a través del diseño de medios de cultivo selectivos Biomass and protein production of Chlorella vulgaris of selective culture media Produção de biomassa e proteínas de Chlorella vulgaris*. 18(3), 451–461.

Colque, L. (2017). *Evaluación del crecimiento de cultivo vegetativo de (Chondracanthus chamissoi), utilizando fertilizante comercial bayfolan y medio guillard f/2, en condiciones de laboratorio en el Centro Acuicultura Morro Sama de FONDEPES*. 124.

[http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/1861/1120\\_2017\\_colque\\_arce\\_lm\\_fcag\\_pesquera.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/1861/1120_2017_colque_arce_lm_fcag_pesquera.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Cuizano, N., & Navarro, A. (2008). Biosorción de metales pesados por algas marinas: posible solución a la contaminación a bajas concentraciones. *Anales de La Real Sociedad Española de Química*, 104(2), 120–125.

Diana L. Vullo. (2003). Interacción En Beneficio Del Medio Ambiente. *Química Viva*, 2(3), 93–104.

Dodbiba, G., Ponou, J., & Fujita, T. (2015). Biosorption of heavy metals. *Microbiology for Minerals, Metals, Materials and the Environment*, 409–426.

<https://doi.org/10.4018/978-1-5225-8903-7.ch077>

Duppeti, H., Chakraborty, S., Das, B. S., Mallick, N., & Kotamreddy, J. N. R. (2017). Rapid assessment of algal biomass and pigment contents using diffuse reflectance spectroscopy and chemometrics. *Algal Research*, 27(March), 274–285.

<https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.09.016>

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS *Cultivo de microalgas (Chlorella sorokiniana) con iluminación mediante LEDs (Light Emitting Diodes)*. (2012).

Fiestas, M., & Millones, A. (2019). *Influencia De La Concentración Y El Tiempo De Contacto Del Carbón Activado De Cáscara De Coco En La Remoción De Arsénico De Aguas Subterráneas De Mórrope (Tesis de Grado)*. 100.

Flanagan, S. V., Johnston, R. B., & Zheng, Y. (2012). Aarsenic dans l'eau des puits tubulaires au Bangladesh: Impacts sanitaires et économiques, et implications en vue de sa réduction. *Bulletin of the World Health Organization*, 90(11), 839–846.

<https://doi.org/10.2471/BLT.11.101253>

- Gadd, G. M. (2009). Biosorption: Critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 84(1), 13–28. <https://doi.org/10.1002/jctb.1999>
- García Cubero, R. (2011). Producción de biomasa de microalgas rica en carbohidratos acoplada a la eliminación fotosintética de CO<sub>2</sub>. *Universidad de Sevilla*, 136(3), 293–310. <http://digital.csic.es/handle/10261/101928>
- García, J., Pavía, M., García, T., Chirivella, J., & Serrano, A. (2017). Principios de Biotecnología y Bioingeniería en el cultivo de microalgas. *Nereis*, 9, 115–130. <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-PrincipiosDeBiotecnologiaYBioingenieriaEnElCultivo-6041049.pdf>
- Gómez, L. (2007). Aspectos ecológicos y biotecnológicos. *Revista Cubana de Química*, Vol. XIX, Núm. 2., 3(19). <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543707001.pdf>
- Gosset, A., Durrieu, C., Orias, F., Bayard, R., & Perrodin, Y. (2017). Identification and assessment of ecotoxicological hazards attributable to pollutants in urban wet weather discharges. *Environmental Science: Processes and Impacts*, 19(9), 1150–1168. <https://doi.org/10.1039/c7em00159b>
- Hayat, K., Menhas, S., Bundschuh, J., & Chaudhary, H. J. (2017). Microbial biotechnology as an emerging industrial wastewater treatment process for arsenic mitigation: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 151, 427–438. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.084>
- Hernández-Pérez, A., & Labbé, J. I. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. In *Revista de Biología Marina y Oceanografía* (Vol. 49, Issue 2, pp. 157–173). Universidad de Valparaíso. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572014000200001>
- Hussain, M. M., Bibi, I., Shahid, M., Shaheen, S. M., Shakoor, M. B., Bashir, S., Younas, F., Rinklebe, J., & Niazi, N. K. (2019). Biogeochemical cycling, speciation and transformation pathways of arsenic in aquatic environments with the emphasis on algae. *Comprehensive Analytical Chemistry*, 85, 15–51. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2019.03.007>
- Hussain, M. M., Wang, J., Bibi, I., Shahid, M., Niazi, N. K., Iqbal, J., Mian, I. A., Shaheen, S. M., Bashir, S., Shah, N. S., Hina, K., & Rinklebe, J. (2021). Arsenic speciation and biotransformation pathways in the aquatic ecosystem: The significance of algae. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 124027. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124027>

- Hussein, H., & Ibrahim, S. F. (2004). *Biosorption of heavy metals from waste water using Pseudomonas sp . 7(1)*.
- Jimeno, V. A. V., Mercado, E. R. A., Ballesteros, D. M. P., Yépez, J. G. T., & Vega, M. E. P. (2017). *en la decoloración del agua residual de una empresa textil Using the microalgae Chlorella sp . live suspended in decoloration wastewater from a textile factory. 15(1), 1–7*.
- Kiran, M. T., Bhaskar, M. V., & Tiwari, A. (2016). Phycoremediation of Eutrophic Lakes Using Diatom Algae. *Lake Sciences and Climate Change*.  
<https://doi.org/10.5772/64111>
- Maity, J. P., Hou, C. P., Majumder, D., Bundschuh, J., Kulp, T. R., Chen, C. Y., Chuang, L. Te, Nathan Chen, C. N., Jean, J. S., Yang, T. C., & Chen, C. C. (2014). The production of biofuel and bioelectricity associated with wastewater treatment by green algae. *Energy*, 78, 94–103. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.06.023>
- Maraver, F., Vela, L., & Ankli, W. J. (2015). *Balnea Balnea* (Vol. 10).
- Martínez-Roldán, A. de J., & Cañizares-Villanueva, R. O. (2020). *Chapter 7 - Wastewater treatment based in microalgae* (E. Jacob-Lopes, M. M. Maroneze, M. I. Queiroz, & L. Q. B. T.-H. of M.-B. P. and P. Zepka (Eds.); pp. 165–184). Academic Press.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818536-0.00007-5>
- Mchenry, M. P. (2013). *Hybrid microalgal biofuel , desalination , and solution mining systems : increased industrial waste energy , carbon , and water use efficiencies. 159–167*. <https://doi.org/10.1007/s11027-012-9361-y>
- Mehta, S. K., & Gaur, J. P. (2005). Use of algae for removing heavy metal ions from wastewater: Progress and prospects. *Critical Reviews in Biotechnology*, 25(3), 113–152. <https://doi.org/10.1080/07388550500248571>
- Mejía Sandoval, G. (2006). Aproximación teórica a la biosorción de metales pesados por medio de microorganismos Theoretical approximation to the biosorption of heavy metals using microorganisms. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 1(1), 77–99. <https://www.redalyc.org/pdf/3214/321428096010.pdf>
- Méndez, J. P., & Marchán, J. (2008). Diagnóstico Situacional De Los Sistemas De Tratamiento De Aguas Residuales En Las Eps Del Perú Y Propuestas De Solución. *Depósito Legal En La Biblioteca Nacional Del Perú N° 2008 - 14631*, 1–80.  
[http://www.proagua.org.pe/files/de62b65581b727d66847f48aa52fbbfd/Libro\\_PTAR.pdf](http://www.proagua.org.pe/files/de62b65581b727d66847f48aa52fbbfd/Libro_PTAR.pdf)

- MINAM, (Ministerio del Ambiente). (2010). Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. *Normas Legales El Peruano*, 1–2. [http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds\\_003-2010-minam.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf)
- Ministerio de Ambiente. (2016). Conductividad eléctrica del agua por el Método Electrométrico. *Ideam*, 2, 1–7. <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+Eléctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>
- Monge-Amaya, O., Valenzuela-García, J. L., Acedo-Félix, E., Certucha-Barragán, M. T., & Almendáriz-Tapia, F. J. (2008). Biosorción de cobre en sistema por lote y continuo con bacterias aerobias inmovilizadas en zeolita natural (Clinoptilolita). *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 24(3), 107–115.
- MOSTAFA, S. S. M., SHALABY, E. A., & MAHMOUD, G. I. (2012). Cultivating Microalgae in Domestic Wastewater for Biodiesel Production. *Notulae Scientia Biologicae*, 4(1), 56–65. <https://doi.org/10.15835/nsb417298>
- Nadeem, M., Nadeem, R., & Asif, M. (2007). *Biosorption of Nickel from Protonated Rice Bran Biosorption of nickel from protonated rice bran. August 2018.* <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.055>
- Nagore, I. (2017). *Eliminación de Boro y Arsénico de Aguas Contaminadas Mediante el Empleo de Biomasa Microalgal.*
- NRIAGU, J., BHATTACHARYA, P., MUKHERJEE, A., BUNDSCHUH, J., ZEVENHOVEN, R., & LOEPPERT, R. (2007). Arsenic in soil and groundwater: an overview. *Arsenic in Soil and Groundwater Environment - Biogeochemical Interactions, Health Effects and Remediation*, 9(06), 3–60. [https://doi.org/10.1016/s0927-5215\(06\)09001-1](https://doi.org/10.1016/s0927-5215(06)09001-1)
- Osorio, N. W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4), 4–7. [http://www.walterosorio.net/web/sites/default/files/documentos/pdf/1\\_4\\_pH\\_del\\_suelo\\_y\\_nutrientes\\_0.pdf](http://www.walterosorio.net/web/sites/default/files/documentos/pdf/1_4_pH_del_suelo_y_nutrientes_0.pdf)
- Patente, S. D. E. (2015). 2 642 462.
- Plaza, C. (2012). Remoción de metales pesados empleando algas marinas. *Universidad De La Plata, Facultad de Ciencias Exactas.*, 166. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2770/Documento\\_completo\\_.pdf?sequence=17](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2770/Documento_completo_.pdf?sequence=17)

- Por, T. D. (n.d.). *Gabriela Avelinda Valle Ramírez de Arellano*. 1–83.
- Priya, M., Gurung, N., Mukherjee, K., & Bose, S. (2014). Microalgae in Removal of Heavy Metal and Organic Pollutants from Soil. In *Microbial Biodegradation and Bioremediation*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800021-2.00023-6>
- Raven, K. P., Jain, A., & Loeppert, R. H. (1998). *Arsenite and Arsenate Adsorption on Ferrihydrite : Kinetics , Equilibrium , and Adsorption Envelopes*. 32(3), 344–349.
- ReiBer, W. (2007). Algae—Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology. *Journal of Plant Physiology*, 164(3), 374–374. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.11.001>
- Richmond, A. E., & Boqer, S. (n.d.). *I. introduction*. 4(4), 369–438.
- Richmond, A., & Hu, Q. (2013). Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology: Second Edition. *Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology: Second Edition*, 1–719. <https://doi.org/10.1002/9781118567166>
- Rivas, C., Navarro, N., Huovinen, P., & Gómez, I. (2016). Photosynthetic UV stress tolerance of the Antarctic snow alga *Chlorella* sp. modified by enhanced temperature? *Revista Chilena de Historia Natural*, 89, 1–9. <https://doi.org/10.1186/s40693-0160050-1>
- Rodríguez, D. G. S., Nazareno, G., Herrera, E., & Cardenas, J. (2008). *Identificación De Especies De Microorganismos Presentes En Las Plantas De Tratamientos De Aguas Residuales Industriales, Y Su Relación Con La Degradación De La Materia Orgánica*.
- Rojas, R. (2002). Curso Internacional “GETIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES” 25 al 27 de setiembre de 2002. *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*, 20–22.
- Ruiz, A. (2011). Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente. *Universidad Politécnica de Valencia*, 102.
- Safi, C., Zebib, B., Merah, O., Pontalier, P. Y., & Vaca-Garcia, C. (2014). Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 265–278. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.007>
- Sampieri, R., Collado, C., & Lucio, P. (1996). Metodología de la investigación. In *Edición McGraw-Hill*. [http://www.academia.edu/download/38758233/sampieri-et-almetodologia-de-la-investigacion-4ta-edicion-sampieri-2006\\_ocr.pdf](http://www.academia.edu/download/38758233/sampieri-et-almetodologia-de-la-investigacion-4ta-edicion-sampieri-2006_ocr.pdf)
- Semestre, M. T., & Tema, L. E. (2001). *Escuela Superior Politecnica Del*. 2020.

- Singh, H. (2006). Fungal Biosorption of Heavy Metals. *Mycoremediation*, 7(4), 484–532. <https://doi.org/10.1002/0470050594.ch11>
- Stephens, E., Ross, I. L., Mussgnug, J. H., Wagner, L. D., Borowitzka, M. A., Posten, C., Kruse, O., & Hankamer, B. (2010). Future prospects of microalgal biofuel production systems. *Trends in Plant Science*, 15(10), 554–564. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.06.003>
- Tante Valderrama, J. E. (2018). Evaluación de la capacidad depuradora de *Chlorella vulgaris* Beyerinck inmovilizada en alginato para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Huara- Lima. *Universidad Católica Sedes Sapientiae*.
- Tul, R. De, & Mara, M. (2005). *Crecimiento y producción de pigmentos de la microalga nativa*. 1–9.
- Vijayaraghavan, K., & Balasubramanian, R. (2015). Is biosorption suitable for decontamination of metal-bearing wastewaters? A critical review on the state-of-the-art of biosorption processes and future directions. *Journal of Environmental Management*, 160, 283–296. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.030>
- Vijayaraghavan, K., Jegan, J., Palanivelu, K., & Velan, M. (2005). Biosorption of copper, cobalt and nickel by marine green alga *Ulva reticulata* in a packed column. *Chemosphere*, 60(3), 419–426. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.12.016>
- Villa, A., Herazo, D., & Torregroza, C. (2014). *Efecto del fotoperiodo sobre el crecimiento de la diatomea*. 111–117.
- Villaamil, E. C., Camussa, N., Quiroga, P. N., Rattay, P., Sassone, A., Garecca, V., Pazos, P., Pifheiro, A., Lenci, J. R., Aires, B., Sor, H., Ludovica, M., Plata, L., & Aires, P. D. B. (n.d.). *B.s. v. 29*(August 1987), 2–6.
- Vitola Romero, D., Pérez Cardozo, A., & Montes, D. (2021). Utilización de microalgas como alternativa para la remoción de metales pesados. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 195–203. <https://doi.org/10.22490/21456453.4568>
- Waisberg, M., Joseph, P., Hale, B., & Beyersmann, D. (2003). Molecular and cellular mechanisms of cadmium carcinogenesis. *Toxicology*, 192(2–3), 95–117. [https://doi.org/10.1016/S0300-483X\(03\)00305-6](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(03)00305-6)
- Wang, Jian, Shu, X., & Wang, W. X. (2019). Micro-elemental retention in rotifers and their trophic transfer to marine fish larvae: Influences of green algae enrichment. *Aquaculture*, 499, 374–380. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.09.066>
- Wang, Jianlong, & Chen, C. (2009). Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology Advances*, 27(2), 195–226.



<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.002>

Wilfrido Bucio Jurado. (2004). Intoxicación por arsina. Información y presentación de un caso. *Rev Med IMSS 2005*, 43, 57–60.

Xie, S., Liu, J., Yang, F., Feng, H., Wei, C., & Wu, F. (2018). Arsenic uptake, transformation, and release by three freshwater algae under conditions with and without growth stress. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(20), 19413–19422. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2152-6>

Yen, H. W., Chen, P. W., Hsu, C. Y., & Lee, L. (2017). The use of autotrophic *Chlorella vulgaris* in chromium (VI) reduction under different reduction conditions. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 74, 1–6.  
<https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.08.017>

## CAPÍTULO VII.

### ANEXOS

#### 7.1. Registro fotográfico de la investigación

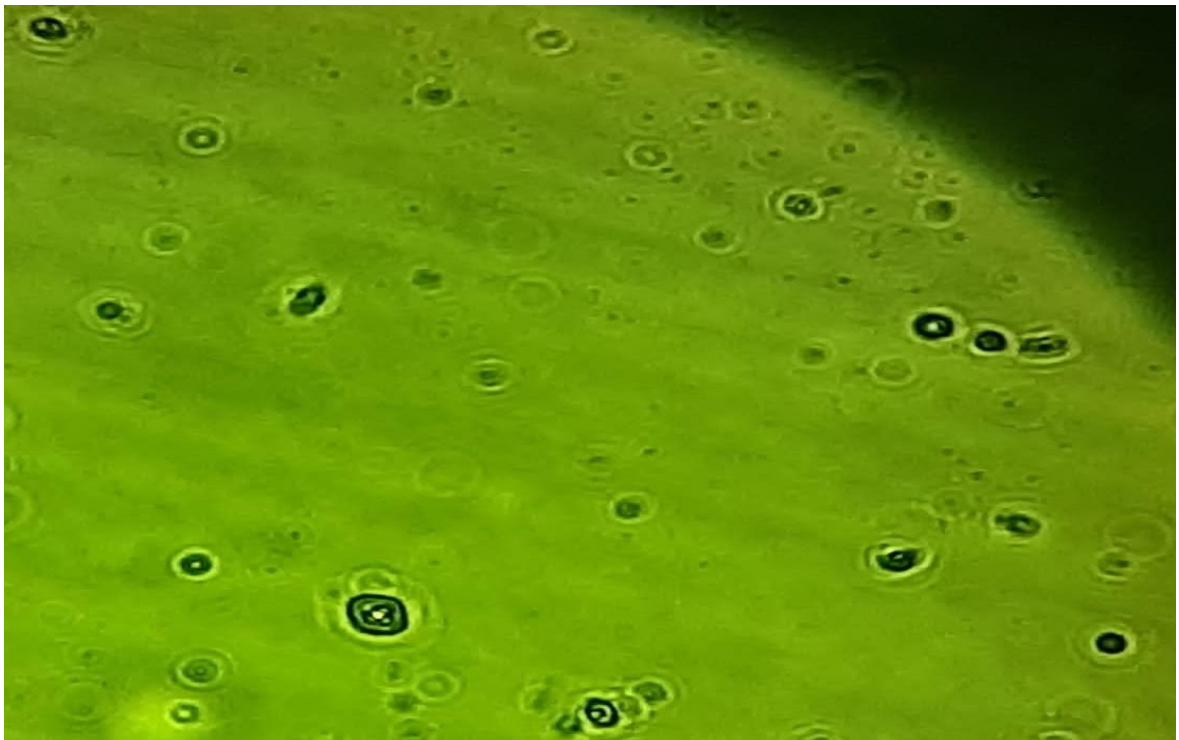
##### *Fotografía 1*

*Instalación del sistema experimental*



##### *Fotografía 2*

*Identificación en microscopio de la microalga Chlorella sp.*



**Fotografía 3**

*Aislamiento de microalgas con diluciones sucesivas*



**Fotografía 4**

*Aplicación del medio de cultivo F/2 Guillard*



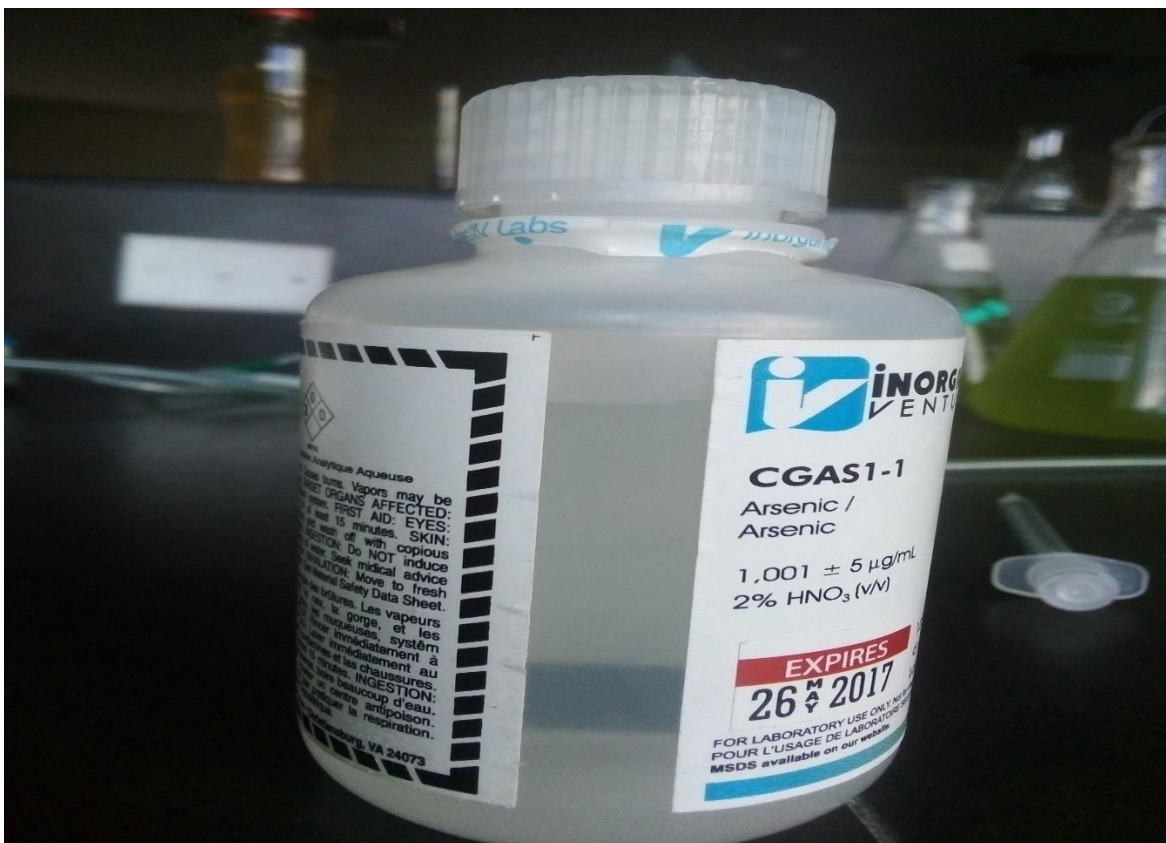
**Fotografía 5**

*Fotoperiodo de las microalgas*



**Fotografía 6**

*Aplicación de Arsénico*



**Fotografía 7**

*Monitoreo de parámetros de pH, conductividad eléctrica y temperatura*



**Fotografía 8**

*Toma de muestras de agua y envío al laboratorio*



**INFORME DE ENSAYO N°** **IE 0721515A**

**DATOS DEL CLIENTE**

Razon Social/Nombre **ALEXANDER FERNÁNDEZ VASQUEZ**  
Dirección -  
Persona de contacto - Correo electrónico

[alfevajh@gmail.com](mailto:alfevajh@gmail.com)

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha del Muestreo **03.07.21** Hora de Muestreo **De 14:00 a 18:00 p.m.**  
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -  
Procedimiento de Muestreo -  
Tipo de Muestreo **Puntual**  
Número de puntos de muestreo **10**  
Ensayos solicitados **Químicos Instrumentales**  
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**  
Referencia de la Muestra: **Laboratorio de aguas de ingeniería forestal y ambiental de la UNACH**

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato **SC-729A** Cadena de Custodia **CC - 515A - 21**  
Fecha y Hora de Recepción **04.07.21 08:15** Inicio de Ensayo **04.07.21 08:30**  
Reporte Resultado **13.07.21 15:00**



Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028

**INFORME DE ENSAYO N°**

**IE 0721515A**

*Cajamarca, 13 de julio de 2021*


ENSAYOS			QUÍMICOS			
Código de la Muestra	Testigo		T1-R1	T1-R2	T1-R3	
Código Laboratorio	0721515A-01	0721515A-02	0721515A-03	0721515A-04	0721515A-05	0721515A-06
Matriz	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción	DOMÉSTICA	DOMÉSTICA	DOMÉSTICA	DOMÉSTICA	DOMÉSTICA	DOMÉSTICA
Localización de la Muestra	CHOTA	CHOTA	CHOTA	CHOTA	CHOTA	CHOTA
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales			
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	0.024	0.032	0.025	0.028
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	0.023	0.078	0.076	0.085
Boro (B)	mg/L	0.0260	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	0.022	0.023	0.022	0.022
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0160	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	33.97	34.460	33.580	33.130
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0721515A**

Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	0.041	0.055	0.047	0.045
Potasio (K)	mg/L	0.0510	11.390	12.470	11.390	11.490
Litio (Li)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0190	7.243	7.142	7.158	7.106
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	0.042	0.042	0.037	0.039
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Sodio (Na)	mg/L	0.0550	27.380	26.820	27.240	27.340
Niquel (Ni)	mg/L	0.0060	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/L	0.0240	3.492	3.450	3.433	3.392
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Azufre (S)	mg/L	0.0910	10.660	10.650	10.520	10.370
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Selenio (Se)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/L	0.1040	3.856	3.81	3.790	3.765



**INFORME DE ENSAYO N° IE 0721515A**

Estroncio (Sr)	mg/L	0.0030	<b>0.234</b>	<b>0.235</b>	<b>0.231</b>	<b>0.230</b>
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Uranio (U)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Zinc (Zn)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cerio	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
						
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Mercurio (Hg)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM

Cajamarca, 13 de julio de 2021

ENSAYOS			QUÍMICOS			
Código de la Muestra			T2-R3	T3-R1	T3-R2	T3-R3
Código Laboratorio			0721515A-07	0721515A-08	0721515A-09	0721515A-10
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			DOMÉSTICA	DOMÉSTICA	DOMÉSTICA	DOMÉSTICA
Localización de la Muestra			CHOTA	CHOTA	CHOTA	CHOTA
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales			
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	<b>0.023</b>	<b>0.036</b>	<b>0.038</b>	<b>0.034</b>
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	<b>0.210</b>	<b>0.462</b>	<b>0.421</b>	<b>0.391</b>
Boro (B)	mg/L	0.0260	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	<b>0.021</b>	<b>0.022</b>	<b>0.022</b>	<b>0.022</b>
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0160	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	<b>33.47</b>	<b>33.130</b>	<b>33.090</b>	<b>32.980</b>
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0721515A**

Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	<LCM		<LCM	<LCM
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	<LCM		<LCM	<LCM
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	<b>0.053</b>		<b>0.044</b>	<b>0.045</b>
Potasio (K)	mg/L	0.0510	<b>11.360</b>		<b>11.760</b>	<b>11.390</b>
Litio (Li)	mg/L	0.0050	<LCM		<LCM	<LCM
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0190	<b>7.138</b>		<b>7.148</b>	<b>7.082</b>
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	<b>0.036</b>		<b>0.040</b>	<b>0.040</b>
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	<LCM		<LCM	<LCM
Sodio (Na)	mg/L	0.0550	<b>27.120</b>		<b>27.900</b>	<b>27.210</b>
Niquel (Ni)	mg/L	0.0060	<LCM		<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/L	0.0240	<b>3.444</b>		<b>3.358</b>	<b>3.341</b>
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	<LCM		<LCM	<LCM
Azufre (S)	mg/L	0.0910	<b>10.530</b>		<b>10.400</b>	<b>10.370</b>
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	<LCM		<LCM	<LCM
Selenio (Se)	mg/L	0.0180	<LCM		<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/L	0.1040	<b>3.759</b>		<b>3.79</b>	<b>3.753</b>

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0721515A**

Estroncio (Sr)	mg/L	0.0030	<b>0.231</b>	<b>0.231</b>	<b>0.230</b>	<b>0.228</b>
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Uranio (U)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Zinc (Zn)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cerio	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Mercurio (Hg)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM

Cajamarca, 13 de julio de 2021

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Metales Disueltos y Totales por ICP-OES (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Ce, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, K, Li, Na, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, Tl, U, V, Zn)	mg/L	EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 1994. (Validado) 2020. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Mercurio por AAS-CV	mg/L	EPA 245.1. Rev 3.0. 1994. (Validado) 2014. Determination of mercury in water by cold vapor atomic absorption spectrometry

**INFORME DE ENSAYO N°**

**IE 0721515A**

### NOTAS FINALES

- (\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (°) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua . Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
  - ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
  - ✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
  - ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditacion otorgada por INACAL-DA.
  - ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

**"Fin del documento"**

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°02 Fecha : 03/07/2020

**Cajamarca, 13 de julio de 2021**

**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**

**INFORME DE ENSAYO N°** **DATOS DEL CLIENTE** **IE 0721524A**

Razon Social/Nombre **ALEXANDER FERNÁNDEZ VASQUEZ**  
Dirección -  
Persona de contacto - Correo electrónico

[alfevajh@gmail.com](mailto:alfevajh@gmail.com)

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha del Muestreo **11.07.21** Hora de Muestreo **De 14:00 a 18:00 p.m.**  
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -  
Procedimiento de Muestreo -  
Tipo de Muestreo **Puntual**  
Número de puntos de muestreo **09**  
Ensayos solicitados **Químicos Instrumentales**  
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**  
Referencia de la Muestra: **Laboratorio de aguas de ingeniería forestal y ambiental de la UNACH**

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato **SC-729A** Cadena de Custodia **CC - 524A - 21**  
Fecha y Hora de Recepción **12.07.21 09:10** Inicio de Ensayo **12.07.21 09:25**  
Reporte Resultado **20.07.21 15:00**



Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028

**INFORME DE ENSAYO N°**

**IE 0721524A**


*Cajamarca, 20 de julio de 2021*

ENSAYOS			QUÍMICOS			
Código de la Muestra	T1-R1		T1-R2		T1-R3	T2-R1
Código Laboratorio	0721524A-01		0721524A-02		0721524A-03	0721524A-04
Matriz	Residual		Residual		Residual	Residual
Descripción	DOMÉSTICA		DOMÉSTICA		DOMÉSTICA	DOMÉSTICA
Localización de la Muestra	CHOTA		CHOTA		CHOTA	CHOTA
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales			
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	0.040	0.025	<LCM	0.027
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	0.091	0.082	0.084	0.192
Boro (B)	mg/L	0.0260	0.033	<LCM	<LCM	<LCM
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	0.047	0.044	0.044	0.044
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0160	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	38.11	37.160	36.510	37.270
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0721524A**

Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	0.052	0.574	0.052	0.035
Potasio (K)	mg/L	0.0510	10.310	10.850	10.220	10.270
Litio (Li)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0190	7.388	7.627	7.479	7.524
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	0.041	0.056	0.041	0.042
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Sodio (Na)	mg/L	0.0550	23.710	28.610	24.470	24.580
Niquel (Ni)	mg/L	0.0060	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/L	0.0240	3.617	4.096	3.512	3.601
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	0.005	<LCM	0.004	<LCM
Azufre (S)	mg/L	0.0910	10.100	10.230	9.925	10.170
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Selenio (Se)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/L	0.1040	5.164	5.11	5.122	5.248

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0721524A**

Estroncio (Sr)	mg/L	0.0030	<b>0.245</b>	<b>0.235</b>	<b>0.244</b>	<b>0.246</b>
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Uranio (U)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Zinc (Zn)	mg/L	0.0180	<b>0.021</b>	<LCM	<LCM	<LCM
Cerio	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
						
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Mercurio (Hg)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM

Cajamarca, 20 de julio de 2021


ENSAYOS			QUÍMICOS			
Código de la Muestra	T3-R1		T3-R2		T3-R3	
Código Laboratorio	0721524A-07		0721524A-08		0721524A-09	
Matriz	Residual		Residual		Residual	
Descripción	DOMÉSTICA		DOMÉSTICA		DOMÉSTICA	
Localización de la Muestra	CHOTA		CHOTA		CHOTA	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales			
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	<LCM	<LCM	<LCM	- - -
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	<LCM	<LCM	<LCM	- - -
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	<b>0.294</b>	<LCM	<LCM	- - -
Boro (B)	mg/L	0.0260	<LCM	<LCM	<LCM	- - -
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	<b>0.047</b>	<LCM	<LCM	- - -
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	- - -
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0160	<LCM	<LCM	<LCM	- - -
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	<b>37.36</b>	<LCM	<LCM	- - -
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	- - -
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	- - -



**INFORME DE ENSAYO N° IE 0721524A**

Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	0.038	<LCM	<LCM	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.0510	10.390	<LCM	<LCM	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0190	7.702	<LCM	<LCM	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	0.041	<LCM	<LCM	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.0550	24.860	<LCM	<LCM	-	-	-
Niquel (Ni)	mg/L	0.0060	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.0240	3.625	<LCM	<LCM	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.0910	10.220	<LCM	<LCM	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Silicio (Si)	mg/L	0.1040	5.243	<LCM	<LCM	-	-	-

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0721524A**

Estroncio (Sr)	mg/L	0.0030	<b>0.247</b>	<LCM	<LCM	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
								
Zinc (Zn)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Cerio	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Mercurio (Hg)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-

*Cajamarca, 20 de julio de 2021*

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Metales Disueltos y Totales por ICP-OES (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Ce, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, K, Li, Na, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, Tl, U, V, Zn)	mg/L	EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 1994. (Validado) 2020. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Mercurio por AAS-CV	mg/L	EPA 245.1. Rev 3.0. 1994. (Validado) 2014. Determination of mercury in water by cold vapor atomic absorption spectrometry

**INFORME DE ENSAYO N°**

**IE 0721524A**

### NOTAS FINALES

- (\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.  
(°) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua . Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
  - ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
  - ✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
  - ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditacion otorgada por INACAL-DA.
  - ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

**"Fin del documento"**

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°02 Fecha : 03/07/2020

**Cajamarca, 20 de julio de 2021**

**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**

**INFORME DE ENSAYO N°** **DATOS DEL CLIENTE** **IE 0721557A**

Razon Social/Nombre **ALEXANDER FERNÁNDEZ VASQUEZ**  
Dirección -  
Persona de contacto - Correo electrónico

[alfevajh@gmail.com](mailto:alfevajh@gmail.com)

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha del Muestreo **23.07.21** Hora de Muestreo **De 14:00 a 18:00 p.m.**  
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -  
Procedimiento de Muestreo -  
Tipo de Muestreo **Puntual**  
Número de puntos de muestreo **11**  
Ensayos solicitados **Físico Químicos y Químicos Instrumentales**  
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**  
Referencia de la Muestra: **Laboratorio de aguas de ingeniería forestal y ambiental de la UNACH**

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato **SC-729A** Cadena de Custodia **CC - 557A - 21**  
Fecha y Hora de Recepción **24.07.21 08:45** Inicio de Ensayo **24.07.21 09:00**  
Reporte Resultado **03.08.21 15:00**



Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028

**INFORME DE ENSAYO N°**

**IE 0721557A**


*Cajamarca, 03 de agosto de 2021*

ENSAYOS			QUÍMICOS			
Código de la Muestra	T1-R1		T1-R2		T1-R3	T2-R1
Código Laboratorio	0721557A-01		0721557A-02		0721557A-03	0721557A-04
Matriz	Residual		Residual		Residual	Residual
Descripción	DOMÉSTICA		DOMÉSTICA		DOMÉSTICA	DOMÉSTICA
Localización de la Muestra	CHOTA		CHOTA		CHOTA	CHOTA
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales			
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	0.038	0.038	0.033	0.040
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	0.081	0.102	0.075	0.282
Boro (B)	mg/L	0.0260	0.053	0.047	0.056	0.100
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	0.025	0.023	0.023	0.024
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0160	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	39.23	36.890	36.450	37.050
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0721557A**

Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	0.047	0.043	0.049	0.042
Potasio (K)	mg/L	0.0510	11.560	10.340	10.710	11.040
Litio (Li)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0190	7.883	7.895	8.078	8.010
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	0.036	0.031	0.036	0.032
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Sodio (Na)	mg/L	0.0550	24.230	25.280	26.140	26.440
Niquel (Ni)	mg/L	0.0060	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/L	0.0240	3.513	3.451	3.525	3.502
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Azufre (S)	mg/L	0.0910	11.190	10.970	10.810	11.130
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Selenio (Se)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/L	0.1040	5.940	6.29	6.273	6.729

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0721557A**

Estroncio (Sr)	mg/L	0.0030	<b>0.262</b>	<b>0.253</b>	<b>0.253</b>	<b>0.257</b>
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Uranio (U)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Zinc (Zn)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cerio	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
						
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Mercurio (Hg)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM

*Cajamarca, 03 de agosto de 2021*

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra	T3-R1		T3-R2		T3-R3	-	-	-
Código Laboratorio	0721557A-07		0721557A-08		0721557A-09	-	-	-
Matriz	Residual		Residual		Residual	-	-	-
Descripción	DOMÉSTICA		DOMÉSTICA		DOMÉSTICA	-	-	-
Localización de la Muestra	CHOTA		CHOTA		CHOTA	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	<b>0.031</b>	<b>0.029</b>	<b>0.034</b>	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	<b>0.373</b>	<b>0.108</b>	<b>0.501</b>	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.0260	<b>0.062</b>	<b>0.050</b>	<b>0.062</b>	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	<b>0.022</b>	<b>0.023</b>	<b>0.024</b>	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0160	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	<b>35.20</b>	<b>36.150</b>	<b>36.340</b>	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0721557A**

Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	0.032	0.042	0.041	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.0510	10.410	10.690	11.070	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0190	7.674	8.013	8.142	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	0.027	0.031	0.038	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.0550	25.300	26.000	27.040	-	-	-
Niquel (Ni)	mg/L	0.0060	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.0240	3.316	3.469	3.604	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.0910	10.540	11.000	11.070	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Silicio (Si)	mg/L	0.1040	6.093	6.18	6.475	-	-	-



**INFORME DE ENSAYO N° IE 0721557A**

Estroncio (Sr)	mg/L	0.0030	<b>0.245</b>	<b>0.250</b>	<b>0.255</b>	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.0180	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Cerio	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Mercurio (Hg)	mg/L	0.0030	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-

Cajamarca, 03 de agosto de 2021

Código de la Muestra	DBO5	DQO	-	-	-	-
Código Laboratorio	0721524A-07	0721524A-07	-	-	-	-
Matriz	Residual	Residual	-	-	-	-
Descripción	DOMÉSTICA	DOMÉSTICA	-	-	-	-
Localización de la Muestra	CHOTA	CHOTA	-	-	-	-
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>LCM</b>	<b>Resultados de Metales Totales</b>			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O <sub>2</sub> /L	2.6	<b>95.90</b>	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3	-	<b>388.2</b>	-	-
<b>Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método de Ensayo Utilizado</b>				
Metales Disueltos y Totales por ICP-OES (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Ce, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, K, Li, Na, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, U, V, Zn)	mg/L	EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 1994. (Validado) 2020. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry				
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5Day BOD Test				
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method				

**NOTAS FINALES**

- (\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (\*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua . Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo, con un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.



**INFORME DE ENSAYO N°**

**IE 0721557A**

✓Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°02 Fecha : 03/07/2020

**Cajamarca, 03 de agosto de 2021**