



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO
RUIZ GALLO**
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE
PESQUERIA Y ZOOLOGIA**



TESIS

Remoción de arsénico del agua de pozo “Los Sauces” distrito de Pimentel con
diferentes concentraciones de *Chlorella vulgaris* inmovilizadas en perlas de
alginato

Presentado para optar el Título Profesional de Licenciado
Biología - Pesquería

Autores

Bach. Barón Monja Jairo Julinho

Bach. Galán Holguín Gary Lynn

Asesora

Dra. Lora Vargas María Victoria

Lambayeque, Perú

2025



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO
RUIZ GALLO**
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE
PESQUERIA Y ZOOLOGIA**

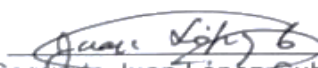


TESIS

Remoción de arsénico del agua de pozo “Los Sauces” distrito de Pimentel con diferentes concentraciones de *Chlorella vulgaris* inmovilizadas en perlas de alginato

Presentada para optar el Título Profesional de Licenciado en
Biología - Pesquería

Aprobado por:


Dr. Segundo Juan López Cubas
Presidente

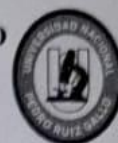

Dr. Jorge Aurelio Oliva Núñez
Secretario


Mg. Jorge Antonio Fupuy Chung
Vocal


Dra. Maria Victoria Lora Vargas
Asesora



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 094-2025 / FCCBB-UI

Siendo las 16:30 horas del día 30 de diciembre de 2025, en la Sala de Sesiones - Sustentaciones de la Facultad de Ciencias Biológicas se reunieron los miembros del Jurado designado mediante **Resolución N° 051-2023-VIRTUAL-FCCBB/D de fecha 28 de febrero de 2023 y Resolución aprobación de proyecto N° 193-2023-VIRTUAL-FCCBB/D de fecha 10 de agosto de 2023**, conformado por:

Dr. Segundo Juan López Cubas - Presidente

Dr. Jorge Aurelio Oliva Núñez - Secretario

Mg. Jorge Antonio Fupuy Chung - Vocal

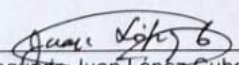
Dra. Maria Victoria Lora Vargas - Asesora

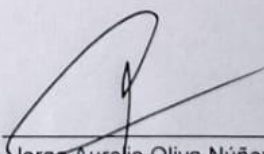
con la finalidad de evaluar la sustentación de tesis titulada: **Remoción de arsénico del agua de pozo los sauces distrito de Pimentel con diferentes concentraciones de *Chlorella vulgaris* inmovilizadas en perlas de alginato**, a cargo de los Bachilleres JAIRO JULINHO BARÓN MONJA y GARY LYNN GALÁN HOLGUÍN.

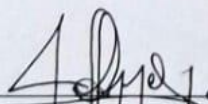
Sustentación autorizada mediante **RESOLUCIÓN N° 659-2025-FCCBB-D, de fecha 29 de diciembre de 2025** la misma que tuvo una duración de 30 minutos y luego de absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado; se procedió a la calificación respectiva, obteniendo 19 puntos que equivale al calificativo de MUY BUENO.

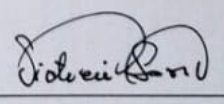
Por lo que los sustentantes quedan **APTOS** para obtener el título profesional de **Licenciado en Biología - Pesquería** de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Biológicas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 17.40 horas se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto, con la firma de los miembros del jurado.


Dr. Segundo Juan López Cubas
Presidente


Dr. Jorge Aurelio Oliva Núñez
Secretario


Mg. Jorge Antonio Fupuy Chung
Vocal


Dra. Maria Victoria Lora Vargas
Asesora

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Dr(a). **MARÍA VICTORIA LORA VARGAS**; usuario revisor del informe de tesis titulado: **Remoción de arsénico del agua de pozo “Los Sauces” distrito de Pimentel con diferentes concentraciones de *Chlorella vulgaris* inmovilizadas en perlas de alginato.**

Cuyos autores son, **Bach. Barón Monja Jairo Julinho** con DNI: 70674964 y **Bach. Galán Holguín Gary Lynn** con DNI: 73993149; declaro que la evaluación realizada por el Programa informático ha arrojado un porcentaje de similitud de 18%, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecida en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 21 de diciembre de 2025



Dra. María Victoria Lora Vargas
DNI:16647237
ASESORA

Remoción de arsénico del agua de pozo “Los Sauces” distrito de Pimentel con diferentes concentraciones de Chlorella vulgaris inmovilizadas en perlas de alginato

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%	18%	3%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unprg.edu.pe	5%
	Fuente de Internet	
2	dspace.ups.edu.ec	4%
	Fuente de Internet	
3	hdl.handle.net	3%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.ucv.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	dspace.ucuenca.edu.ec	1%
	Fuente de Internet	
6	repositorio.puce.edu.ec	1%
	Fuente de Internet	
7	www.sabiia.cnptia.embrapa.br	1%
	Fuente de Internet	
8	repositorio.urp.edu.pe	< 1%
	Fuente de Internet	
9	repositorio.unprg.edu.pe:8080	< 1%
	Fuente de Internet	
10	repositorio.unal.edu.co	< 1%
	Fuente de Internet	
11	Submitted to Universidad Europea de Madrid	< 1%
	Trabajo del estudiante	


Dra. María Victoria Lora Vargas
DNI:16647237
Asesora

12	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %
13	es.stackoverflow.com Fuente de Internet	< 1 %
14	repositorio.ucss.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %
15	www.concytec.gob.pe Fuente de Internet	< 1 %
16	Submitted to UNIV DE LAS AMERICAS Trabajo del estudiante	< 1 %
17	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	< 1 %
18	1library.co Fuente de Internet	< 1 %
19	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %
20	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %
21	repositorio.unbosque.edu.co Fuente de Internet	< 1 %
22	riaa.uaem.mx Fuente de Internet	< 1 %
23	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %
24	Ticona Añazco, Kevin Mickhail. "Índice de riesgo de la calidad de agua (IRCA) del afluente Río Azángaro en el sistema de potabilización en la EPS NOR-Puno S.A. Azángaro.", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	< 1 %

Dra. María Victoria Lora Vargas
DNI:16647237
Asesora

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 15 words

Excluir bibliografía

Activo



Dra. María Victoria Lora Vargas

DNI:16647237

Asesora



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Barón Monja Jairo Julinho Y Galán Holguín Gary Lynn
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: Remoción de arsénico del agua de pozo "Los Sauces" distrito d...
Nombre del archivo: Informe_Final_de_tesis_Gary-_Jairo_1.docx
Tamaño del archivo: 20.15M
Total páginas: 64
Total de palabras: 9,923
Total de caracteres: 55,064
Fecha de entrega: 21-dic-2025 04:16p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2850306629



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO
RUIZ GALLO**
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE
PESQUERIA Y ZOOLOGIA



TESIS

Remoción de arsénico del agua de pozo "Los Sauces" distrito de Pimentel con
diferentes concentraciones de *Chlorella vulgaris* inmovilizadas en perlas de
alginato

Presentado para optar el Título Profesional de Licenciado en Ciencias
Biológicas - Pesquería

Autores

Bach. Barón Monja Jairo Julinho
Bach. Galán Holguín Gary Lynn

Asesora

Dra. Lora Vargas Maria Victoria

Lambayeque, Perú
2025



Dra. María Victoria Lora Vargas
DNI:16647237
Asesora

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios porque todo tiene su tiempo, dándome la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi formación profesional.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi asesora de tesis Victoria Lora Vargas por su orientación, paciencia y valiosos aportes durante el desarrollo de este trabajo. Sus conocimientos fueron fundamentales para la realización de esta investigación.

De manera especial, agradezco a mi familia especialmente a mi madre Carmen Monja Asalde y mi hermana Zully Barón Monja por su apoyo incondicional y motivación constante, incluso en los momentos más difíciles de mi vida Sin ellos este logro no habría sido posible.

Finalmente, agradezco a mi novia, Marilú Bernilla de la Cruz, por su amor, paciencia y motivación constante, que fue el apoyo para culminar esta investigación.

Jairo Julinho Barón Monja

AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarme la fuerza y orientación que necesitaba para culminar mis estudios y este proyecto de investigación. Gracias a él he logrado culminar mi camino profesional y aún queda un poco más por recorrer.

A mis padres, Luis Galán Effio y Sara Holguín de Galán, por su amor infinito, sacrificio y apoyo contante e incondicional. Sus valores y respaldo han sido pilares para alcanzar este logro significativo.

A la familia Galán Holguín, mis amigos y compañeros, por el aliento moral y humano necesario durante las dificultades encontradas a largo del proceso de tesis.

A mi esposa Anggela Yahaira Atencio Ayasta que es fuente de motivación constante para lograr este objetivo, gracias por ser la compañera que Dios aparejo para mí.

A los profesores Dra. María Victoria Lora Vargas y Dr. Segundo Juan López Cubas, que, con sus conocimientos y orientación, aportaron valiosas sugerencias y facilitaron la investigación. A los profesores Jorge Fupuy Chung, Jorge Oliva Núñez y Jorge Chanamé Céspedes que me instruyeron y me motivaron a seguir la carrera profesional.

Gary Lynn Galán Holguín

INDICE

Indice de Tablas.....	1
Indice de Figuras.....	2
Resumen	3
Abstract.....	4
INTRODUCCIÓN	5
CAPITULO I. DISEÑO TEÓRICO	8
1.1. Antecedentes	8
1.2. Bases Teóricas.....	10
CAPITULO II. DISEÑO METODOLÓGICO	16
2.1. Tipo y Diseño de Investigación	16
2.2. Población y Muestra	16
2.3. Material Biológico	16
2.4. Métodos, Técnicas, Instrumentos y Procedimientos de Recolección de Datos	17
2.4.1. Localización del Estudio	17
2.4.2. Ubicación de toma de muestra	17
2.4.3. Análisis Inicial del Metal Pesado Arsénico.....	17
2.4.4. Limpieza y desinfección	17
2.4.5. Cultivo de <i>Chlorella vulgaris</i>	19
2.4.6. Preparación de perlas de alginato con <i>C. vulgaris</i>	19
2.4.7. Instalación de la Fase Experimental.....	21
2.4.8. Evaluación de parámetros fisicoquímicos.....	26
2.4.9. Determinación de Recuento Celular	26
2.4.10. Análisis del arsénico durante el experimento	26
2.5. Procesamiento y Análisis de Datos.....	29
CAPÍTULO III. RESULTADOS	30
3.1. Remoción del metal pesado Arsénico.....	30
3.2. Crecimiento de <i>C. vulgaris</i> encapsuladas en Perlas de Alginato.....	35
3.3. Cinética de crecimiento de <i>C. vulgaris</i>	35
3.4. Parámetros fisicoquímicos del agua durante el experimento.....	38
3.5. Correlación entre los parámetros físico químicos y la máxima densidad poblacional con respecto a la remoción de arsénico.....	40
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN.....	42
CONCLUSIONES	46
RECOMENDACIONES	47
REFERENCIAS	48
ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Composición química del OMEX 20X20X20	20
Tabla 2	Valor promedio del Arsénico determinado a través de espectrofotometría de masas	31
Tabla 3	Matriz de correlación de número de cápsulas, diámetro de cápsulas, número de células de <i>C. vulgaris</i> y tiempo de cultivo	34
Tabla 4	Crecimiento diario (cel/mL) de <i>C. vulgaris</i> en cada tratamiento y sus repeticiones.....	36
Tabla 5	Comparación de las medias de crecimiento de <i>C. vulgaris</i> de los tratamientos entre los diferentes tiempos mediante la prueba de Tukey.....	37
Tabla 6	Parámetros del crecimiento de <i>C. vulgaris</i> obtenidos a partir del modelamiento de Gompertz	38
Tabla 7	pH diario del agua del control y cada tratamiento con <i>C. vulgaris</i>	40
Tabla 8	Temperatura diaria del agua del control y en cada tratamiento con <i>C. vulgaris</i>	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación de recolección de muestra de agua del pozo “Los Sauces”	18
Figura 2	Análisis físico-químico del agua de pozo “Los sauces” - Pimentel.....	18
Figura 3	Preparación de muestra de agua enviada al laboratorio SAG	19
Figura 4	Cultivo y Recuento de células de <i>C. vulgaris</i>	20
Figura 5	Preparación de perlas de alginato de sodio.....	22
Figura 6	Preparación de alginato de sodio con dos concentraciones diferentes de <i>C. vulgaris</i>	22
Figura 7	Filtrado, secado y lavado con agua desionizada de las perlas de alginato de sodio	23
Figura 8	Pesado de perlas de alginato de sodio añadido a cada tratamiento	23
Figura 9	Proceso de instalación de perlas de alginato en cada fotobiorreactor	24
Figura 10	Instalación de la fase experimental con aireación y luz constante	25
Figura 11	Medición de los parámetros fisicoquímicos durante la Fase experimental	27
Figura 12	Medición y pesaje de perlas de alginato previo al conteo celular.....	27
Figura 13	Desencapsulamiento de las perlas de <i>C. vulgaris</i> y conteo celular.....	28
Figura 14	Preparación de muestras de agua para análisis de arsénico en la fase exponencial y final del experimento.....	28
Figura 15	Porcentaje de remoción de arsénico (As) en fase intermedia y final del experimento	31
Figura 16	Variación del número de capsulas por gramo del control y de cada tratamiento con <i>C. vulgaris</i>	32
Figura 17	Variación del diámetro diario de las capsulas del control y de los tratamientos con <i>C. vulgaris</i>	33
Figura 18	Mapa de calor de la correlación de Pearson entre en número de células, días, diámetro y cápsulas.....	34
Figura 19	Fluctuación del crecimiento diario en cada tratamiento de <i>C. vulgaris</i> , cultivada a diferentes concentraciones celulares	36
Figura 20	Curva de crecimiento del modelo de Gompertz para el tratamiento 1 y 2 de <i>C. vulgaris</i> encapsulada en alginato.....	39
Figura 21	Mapa de calor de Correlación entre los parámetros físico químicos y la máxima densidad poblacional con respecto a la remoción de arsénico.	41

Resumen

El trabajo de investigación realizado evaluó la remoción de arsénico, utilizando dos concentraciones de *Chlorella vulgaris* inmovilizada en perlas de alginato, del agua subterránea del pozo "Los Sauces" de Pimentel. Se aplicó el Diseño Experimental de Estímulo Creciente con un control, dos tratamientos y dos repeticiones cada uno: Control (50 g de perlas de alginato sin microalgas), Tratamiento 1 (50 g de perlas con inclusión de $1,20 \times 10^6$ células/mL) y Tratamiento 2 (50 g de perlas con inclusión de $3,40 \times 10^6$ células/mL), previo a ello se realizó el cultivo la cepa de *C. vulgaris* utilizando el nutriente Omex 20x20x20. La experiencia se realizó durante 8 días y diariamente se hizo la evaluación de la densidad celular, diámetro de las cápsulas, número de cápsulas, pH, intensidad lumínica y temperatura. Se realizó la desencapsulación de la microalga utilizando bicarbonato de sodio al 4%, para luego ejecutar el recuento celular con cámara de Neubauer de 0,1 mm de profundidad.

La concentración poblacional de *C. vulgaris* encapsulada en perlas de alginato de calcio, afectó positivamente la remoción del arsénico del agua de pozo, siendo mayor en la densidad poblacional más alta, con 45,24% de remoción

La mayor velocidad de crecimiento, menor tiempo de generación y la máxima densidad poblacional de *C. vulgaris* se alcanzó en las perlas de alginato con la mayor concentración de ($3,40 \times 10^6$ cel/mL).

Palabras clave: Concentración de *Chlorella vulgaris* en perlas de alginato, Remoción de arsénico, Aguas subterráneas, Pozo "Los Sauces".

Abstract

The research carried out evaluated the removal of arsenic, using two concentrations of *Chlorella vulgaris* immobilized in alginate beads, from the groundwater of the "Los Sauces" well in Pimentel. The Growing Stimulus Experimental Design was applied with a control, two treatments and two repetitions each: Control (50 g of alginate beads without microalgae), Treatment 1 (50 g of beads with inclusion of 1.20×10^6 cells / mL) and Treatment 2 (50 g of beads with inclusion of 3.40×10^6 cells / mL), prior to which the *C. vulgaris* strain was cultivated using the Omex 20x20x20 nutrient. The experiment was carried out for 8 days and the cell density, capsule diameter, number of capsules, pH, light intensity and temperature were evaluated daily. The microalgae were decapsulated using 4% sodium bicarbonate, followed by cell counting using a 0.1 mm deep Neubauer chamber.

The population concentration of *C. vulgaris* encapsulated in calcium alginate beads positively affected arsenic removal from well water, being greatest at the highest population density, with 45.24% removal.

The highest growth rate, shortest generation time, and highest population density of *C. vulgaris* were achieved in the alginate beads with the highest concentration (3.40×10^6 cells/mL).

Keywords: Concentration of *Chlorella vulgaris* in alginate beads, Arsenic removal, Groundwater, "Los Sauces" water well.

INTRODUCCIÓN

El anhelo de generar productos y servicios que satisfagan las necesidades de las personas conduce a un uso excesivo de metales pesados, que, habiendo cumplido su función, acaban en los ríos, el suelo y otros ecosistemas, en muchos casos sin tratamiento previo. Diversos procesos industriales, como la minería y la extracción de combustibles fósiles, constituyen una de las principales fuentes antropogénicas de contaminación ambiental. Estas actividades liberan sustancias tóxicas que generan impactos negativos significativos en los ecosistemas, la fauna y la salud humana. (Abu et al., 2006).

Estas sustancias nocivas incluyen metales y metaloides como arsénico, plomo, cadmio, zinc, bario, vanadio, níquel, mercurio, cromo, cobalto y selenio. Estos elementos pueden resultar perjudiciales incluso a bajas concentraciones, debido a que no se degradan naturalmente y tienden a persistir y acumularse en el ambiente durante largos periodos, incorporándose a los ecosistemas y a la cadena trófica (Vera et al., 2016). No obstante, algunos de estos elementos, como cobre, zinc, manganeso, azufre, hierro y boro, cumplen funciones metabólicas esenciales en los organismos cuando se encuentran en concentraciones traza; sin embargo, su exceso puede provocar efectos tóxicos y representar un riesgo para la salud humana y ambiental (Verma y Dwivedi, 2013).

La existencia de arsénico en el agua provoca una grave contaminación. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la sustancia se incrusta de forma natural, lo que representa un grave riesgo para la salud. En áreas donde se consume agua potable o agua de pozos contaminada con este elemento, se han registrado

enfermedades de la piel, pulmonares, neurológicas y vasculares, así como varios tipos de cáncer (OMS, 2018).

Existen diversas estrategias para combatir la contaminación por metales pesados. Entre los enfoques convencionales se encuentra el uso de procesos como la precipitación química. Se emplean métodos como intercambio iónico, osmosis inversa y tratamientos electroquímicos para eliminar esos efluentes (Tejada et al., 2015).

Sin embargo, estos tratamientos tienen inconvenientes, como la generación de contaminantes secundarios, baja eficiencia en la eliminación de metales en concentraciones bajas y costos elevados (Barakat, 2011). De ahí que se ha optado por buscar soluciones a los problemas derivados de los metales pesados en el entorno, basado en tecnologías innovadoras de bajo costo, eficientes y ambientalmente sostenibles, con el objetivo de evitar la generación de residuos durante su aplicación (Cuizano y Nabarro, 2008).

En este contexto, la utilización de las microalgas para la eliminación de contaminantes se presenta como una opción viable. Las algas fitoplanctónicas cuentan con grupos funcionales capaces de unirse a iones metálicos, permitiendo la incorporación de metales como el plomo en sus estructuras. Este proceso conduce a una disminución de la concentración de metal en el entorno ambiental (Sánchez et al., 2008). *Chlorella* es uno de los géneros de algas más investigados y tiene un gran impacto en la industria, la alimentación y el medio ambiente.

Villalobos y Scholz (2013) demostraron que el género *Chlorella* es efectiva en eliminar una variedad de contaminantes, como antibióticos, nitritos, fosfatos y metales pesados. Además, Kumar et al. (2013), Ávila (2015), Montañó et al. (2017) han demostrado su capacidad para bioacumular estos últimos en su estructura celular

contribuyendo simultáneamente a la remoción de contaminantes del medio y a la mitigación del impacto ambiental.

Bajo este enfoque se propuso el objetivo de estudiar la capacidad de remoción del metal arsénico en diferentes concentraciones de *Chorella vulgaris*, inmovilizadas con perlas de alginato, partiendo del problema: ¿Cómo afecta la concentración de *C. vulgaris*, inmovilizada en perlas de alginato, en la remoción de arsénico del agua de pozo los sauces?, al cual se le planteó la hipótesis: A mayor concentración de *C. vulgaris* inmovilizadas en perlas de alginato habrá una mayor remoción de arsénico en aguas de pozo los sauces, cuya contrastación se realizó con el diseño experimental de estímulo creciente.

CAPITULO I. DISEÑO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Perenguez y Valdés (2017) demostraron la extracción del metal cadmio en soluciones acuosas mediante el uso de *Chlorella sp.* en una densidad de 25×10^6 células/ml inmovilizado en perlas de alginato y un control sin microalga. Los tratamientos consistieron en concentraciones de cadmio de 0 ppm, 20 ppm, 100 ppm y 200 ppm, con tres repeticiones cada uno, aplicando aireación constante durante 80 minutos, y tomando muestras de solución restante cada 10 minutos, para luego hacer lectura con el equipo de absorción atómica. La mayor remoción se logró en la concentración de 20 ppm Cadmio donde la *Chlorella sp.* inmovilizada eliminó 59,67% de metal dejando un 40,33 % de residuo en la solución.

Arias (2017) investigó la adsorción de cromo usando perlas de alginato de calcio con y sin *Chlorella sp.* en una solución de dicromato de potasio. Se utilizaron concentraciones de cromo de 0, 10, 50 y 100 mg/L, con tres repeticiones en un diseño de bloques completos al azar y aireación durante 80 minutos. Las muestras se analizaron cada 10 minutos mediante espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados mostraron que las perlas de alginato con *Chlorella sp.* removieron 61% de cromo a 10 ppm, 51% a 50 ppm y 60% a 100 ppm, siendo más eficaz a 10 ppm en comparación con el tratamiento control.

Vega (2019) investigó la remoción de cromo utilizando *Chlorella sp.* y *Scenedesmus sp.* inmovilizadas en perlas de alginato. Se produjeron tres concentraciones de biomasa: alta 100% ($2,4 \times 10^6$ cel./ml), media 75% ($1,7 \times 10^6$ cel./ml) y baja 50% ($0,63 \times 10^6$ cel./ml), determinadas con la cámara Neubauer. Las perlas se colocaron en una solución de cromo (1 ppm) aireadas e iluminadas permanentemente en el lapso de 15 días, dispuestas en un diseño completamente

aleatorizado con cuatro repeticiones. Las mediciones se realizaron en períodos de 48 horas, registrándose pH, conductividad eléctrica, absorbancia, conteo celular y concentración de cromo. Las concentraciones altas de microalgas lograron la mayor remoción de cromo, siendo *Chlorella sp.* la más efectiva con un 86% de remoción, comparado con el 69% de *Scenedesmus sp.* Además, ambas especies mostraron un crecimiento normal en todas las fases de desarrollo.

Triviño (2018) demostró la eliminación de plomo mediante la adsorción en perlas de alginato de calcio, evaluando pH 4 y 5 y concentraciones de microalgas de $0,3 \times 10^7$, $1,6 \times 10^7$ y 3×10^7 células/mL. Se utilizó espectrofotometría de absorción atómica para cuantificar el plomo en las soluciones. La máxima eliminación de plomo se logró en 143 minutos, sin una influencia significativa del pH, concentración celular o concentración de metal. No hubo relación directa entre concentración de microalgas inmovilizadas y su capacidad de remoción de Pb. Comparando tratamientos, las perlas de alginato sin *Chlorella* removieron más plomo que las perlas con *Chlorella* o *Chlorella* sin inmovilizar, indicando que el alginato por sí solo tiene una alta capacidad de remoción.

Batra (2019) experimentó la remoción de arsénico del agua del río Uchusuma de Tacna-Perú, usando *Chlorella vulgaris*. En 500 ml de agua con 5 ml de microalga, se colocaron niveles de arsénico del 20%, 40%, 60%, 80% y 100%, complementados con nutrientes (Bayfoland). Con un diseño experimental al azar, la concentración inicial fue de 0,119 mg/L de As total. *Chlorella vulgaris* mostró alta tolerancia y rápida absorción del arsénico, triplicando el crecimiento celular en los días 7 y 8 gracias a los nutrientes y componentes inorgánicos del agua. No hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos, siendo la remoción mayor al 60%.

Forero et al. (2015) detallaron proceso de inmovilización de microalgas

mediante el uso de esferas de alginato de calcio. Se utilizaron *Scenedesmus ovalternus* y *Chlorella vulgaris* para examinar la estabilidad de las esferas, el crecimiento de las microalgas y su concentración dentro de dichas esferas. Se observó que *Chlorella vulgaris* logró densidades poblacionales más altas y tasas de crecimiento superiores en concentraciones del 10 % v/v con alginato. ($1,31 \times 10^6$ cél/mL). *S. ovalternus* presentó una mayor densidad poblacional y una mayor tasa de crecimiento en concentraciones del 20 % v/v ($7,06 \times 10^5$ cél/mL).

Oliveira (2003) investigó la cinética de bioadsorción de Cobre utilizando perlas de alginato de calcio tanto húmedas como secas. Sus resultados mostraron que las perlas húmedas alcanzaron el equilibrio más rápido que las perlas secas, saturándose después de tres horas de inicio del proceso de bioadsorción con solo 18,03% de remoción de Cobre, mientras que las perlas secas se saturaron a las veinticuatro horas con un porcentaje mucho mayor, alcanzando un 87,79% de remoción de Cobre. Debido a esto, en los siguientes estudios se optó por emplear perlas secas de alginato de calcio. Con el apoyo de las ecuaciones de Langmuir y Freundlinch, se procesaron los resultados de la investigación en batch. Las perlas secas de alginato de calcio mostraron una capacidad máxima de bioadsorción de cobre ($Q_{\text{máx}}$) de 80.645 mg/g.

1.2. Bases Teóricas

1.2.1. Biorremediación de Metales Pesados

Varias pruebas de laboratorio han reafirmado la habilidad de los microorganismos para degradar y adsorber contaminantes, mostrando la importancia de las condiciones físicas y químicas con éxito. Este método puede combinarse con otras tecnologías para mejorar el tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos. La Biorremediación constituye una herramienta eficaz para remediar la contaminación en distintos entornos afectados por la actividad humana (Rodríguez y Sánchez, 2003).

1.2.2. Arsénico

Esta distribuido de manera dispersa en la corteza terrestre y exhibe propiedades químicas que lo sitúan entre un metal y un no metal. Por esta razón, se le denomina comúnmente metaloide. Puede estar presente en cuerpos de agua y su ingestión o contacto prolongado en altas concentraciones, puede generar cáncer y lesiones en la piel debido a la exposición a altas concentraciones. Dentro de la atmósfera, este elemento se combina con oxígeno, cloro y azufre, lo cual representa un riesgo para la salud pública (Enriquez, 2015).

1.2.3. Biorremediación con Microalgas

La utilización de microorganismos que incorporan microalgas en procesos de biorremediación ha demostrado ser un método eficiente para la eliminación de nutrientes y contaminantes tóxicos. Las microalgas poseen la habilidad de acumular compuestos nocivos sin comprometer su funcionamiento biológico, lo que las hace ideales para eliminar sustancias químicas dañinas. Además, se adaptan fácilmente a su entorno, lo que incrementa su eficacia en la remoción de compuestos tóxicos en el medio (Mehrabadi et al., 2014).

1.2.4. Biorremediación

Diversos organismos vivos tienen la capacidad de transformar sustancias tóxicas en compuestos inofensivos para el ecosistema, dado que tienen el poder de alterar la biodisponibilidad y toxicidad de los metales en el lugar donde se encuentren; condición que permite plantear su utilización para solucionar problemas de contaminación del medio ambiente (Senthil y Gunasundari, 2018). La biorremediación consiste en la utilización de organismos bióticos (bacterias, hongos, algas, plantas entre otros) para eliminar, degradar o neutralizar agentes tóxicos del ambiente (Mary, 2011).

“Muchos procesos de biorremediación se dan a través de tecnologías mediadas por bioadsorción o biosorción, estos son tratamientos fisicoquímicos que se fundamentan en el fenómeno de adsorción y absorción de moléculas e iones” (Vargas et al., 2009, p. 25); “lo que permite la captación de iones metálicos mediante un proceso pasivo que emplea como sorbentes agentes biológicos, biomasa viva o biomasa muerta los cuales se denominan biosorbentes” (Tejada et al., 2015, p. 10). “Para desarrollar procesos de biorremediación por biosorción de metales se requiere de la adhesión de los iones a la estructura del biomaterial usado para la descontaminación” (Sala et al., 2010, p. 114).

a) Bioacumulación

La bioacumulación ocurre cuando un metal es incorporado inicialmente a través de la membrana celular del organismo y posteriormente es transportado hacia compartimentos intracelulares más profundos, como el citoplasma y los organelos. Este proceso, dependiente de la actividad metabólica de organismos vivos, conduce a la retención progresiva del metal en las células, contribuyendo a la reducción de la concentración del contaminante en el medio circundante. (Sala et al., 2010). “La facilidad para acumular los metales en los microorganismos depende de la afinidad de estos por las estructuras químicas se encuentren disponibles en el medio que se va a biorremediar” (Vullo, 2003, p. 102).

Los organismos utilizan diferentes formas para batallar con el metal, mediante elementos celulares que captan iones, para reducir la toxicidad del metal en el medio, realizando procesos químicos de oxidación y reducción del contaminante, en función a su disponibilidad en la naturaleza (Cervantes et al., 2006; Roane et al., 2015).

b) Bioadsorción

Los procesos de bioadsorción se basan en interacciones iónicas, formación de

complejos entre iones metálicos y los grupos funcionales presentes en el bioadsorbente, los cuales son característicos por su bajo costo de operación y alta eficiencia (Abbas et al., 2014). Asimismo, reduce la obtención de lodos químicos y biológicos, presenta elevada relación superficie/volumen, rápida cinética de adsorción y desorción. No requiere de nutrientes adicionales durante el proceso, permitiendo la recuperación del bioadsorbente y en ocasiones hasta del metal absorbido (Sameera et al., 2011).

1.2.5. Capacidad de las Algas para Remoción de Metales Pesados

Uno de los principales problemas ambientales actuales es la elevada cantidad de emisiones contaminantes generadas por las grandes industrias, entre las cuales destaca la liberación de metales pesados al medio ambiente, particularmente a cuerpos de agua. Estos contaminantes representan una amenaza significativa tanto para los ecosistemas acuáticos como para la salud humana. Ante esta problemática, se ha explorado el uso de microorganismos y organismos con alta tolerancia a metales pesados como una estrategia biotecnológica de remediación. Entre estos organismos, las algas y microalgas han cobrado especial relevancia debido a su capacidad para crecer en ambientes altamente contaminados y a su eficacia en la bioacumulación y biosorción de metales pesados presentes en aguas residuales (Chong et al., 2000).

1.2.6. Características de la Microalga *Chlorella vulgaris*

Las microalgas, se encuentran tanto en ambientes marinos como de agua dulce, realizan la fotosíntesis de manera similar a las plantas terrestres y componen un grupo de productores primarios muy importante; que contribuyen aproximadamente con el 32 por ciento de la fotosíntesis global, convirtiéndolos en generadores de oxígeno (Priyadarshani et al., 2011).

Hay dos tipos principales de sistemas de cultivo. El sistema abierto, en la cual las especies dependen mucho de los factores ambientales y de la forma en cómo se opera. Por lo contrario, el sistema cerrado permite optimizar cultivos específicos y puros, aislados del medio ambiente y mantenidos bajo condiciones controladas, dependiendo de la especie (Posten, 2009).

Chlorella sp., es una Chlorophyta, unicelular, de forma esférica, con un diámetro que varía de 2 a 10 μm , y posee un pigmento verde gracias a la clorofila de tipo A y B. Tiene reproducción asexual. Presenta un rápido crecimiento y capacidad de adaptación a diferentes fuentes de nutrientes, bajo condiciones fotoautotróficas, heterotróficas y mixotróficas. Desempeña un papel muy importante en la remoción de metales pesados (Thirumagal y Pannerselvam, 2014).

1.2.7. Parámetros de Crecimiento de las Microalgas

El crecimiento de las microalgas está muy influenciado por las condiciones físicas y químicas del ambiente acuático. Cada especie presenta un intervalo particular de requerimientos de pH, disponibilidad de nutrientes, concentración de dióxido de carbono, salinidad, intensidad de luz, temperatura y oxígeno para alcanzar un máximo crecimiento (Hernández y Labbé, 2014).

- a. Luz:** La intensidad de la luz es un factor muy importante en un cultivo, ya que las microalgas toman la energía lumínica y la transforma en metabólica mediante la fotosíntesis; la que puede ser recibida de forma natural, en fotoperiodo, o a partir de iluminación artificial de forma constante (24 horas) (Richmond, 2004).
- b. Aireación:** Se utiliza para homogenizar la distribución de las células y nutrientes, evitando la sedimentación y garantizando que todas tengan

acceso a la luz y nutrientes (Valdivia et al., 2012).

- c. Temperatura:** Fluctúa según el hábitat y la especie, pero la gran cantidad de especies toleran temperaturas de 18 a 27°C (Gualtieri y Barsanti, 2014).

CAPITULO II. DISEÑO METODOLÓGICO

2.1. Tipo y Diseño de Investigación

Según Hernández (2014), corresponde a investigación aplicada, con un diseño experimental de estímulo creciente, que presenta un control y dos tratamientos, con tres repeticiones cada uno: Control (perlas de alginato sin *C. vulgaris*), Tratamiento 1 (perlas de alginato con $1,20 \times 10^6$ cel/mL de *C. vulgaris*), Tratamiento 2 (perlas de alginato con $3,40 \times 10^6$ cel/mL de *C. vulgaris*).

2.2. Población y Muestra

La población de *C. vulgaris* estuvo constituida por microalgas de esta especie producidas en el laboratorio de la empresa BIOPERU-VIDA S.A.C.; provincia de Lambayeque, departamento de Lambayeque.

La muestra de microalgas fue 460×10^6 cel/mL de *C. vulgaris*, las cuales estuvieron inmovilizadas en capsulas de alginato, de acuerdo con el diseño experimental.

La muestra de agua estuvo constituida por 9 L de agua de subsuelo del pozo “Los Sauces”, a los cuales se les aplicó los tratamientos especificados en el Diseño Experimental.

2.3. Material Biológico

Conformado por cepa de *C. vulgaris* obtenidas del laboratorio de BIOPERU-VIDA S.A.C. situado en el distrito y departamento de Lambayeque.

2.4. Métodos, Técnicas, Instrumentos y Procedimientos de Recolección de Datos

2.4.1. Localización del Estudio

El presente trabajo de investigación se desarrolló en las instalaciones del laboratorio de la empresa BIOPERU VIDA S.A.C, ubicado en el distrito, provincia y departamento de Lambayeque – Perú, entre los 6°42'20"S Latitud y 79°54'17"W Longitud.

2.4.2. Ubicación de toma de muestra

La ubicación del pozo "Los Sauces" se encuentra en el distrito de Pimentel, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque. Geo-referencialmente, sus coordenadas son latitud 06°47'35.7" S y longitud 79°53'06.9" O. La muestra fue recogida en un bidón de 20 litros, registrando la temperatura del agua y la ubicación con un GPS marca Garmin 62s (Figura 1).

2.4.3. Análisis Inicial del Metal Pesado Arsénico

Se tomó una muestra de agua del pozo en botella de 250 mL y se le agregaron 10 gotas de HNO₃ (Figura 2 y 3). Luego, se envió al laboratorio SAG PERU S.A. para analizar la concentración de arsénico presente en el agua.

2.4.4. Limpieza y desinfección

Antes de iniciar la etapa experimental, se realizó la limpieza y desinfección de los ambientes a utilizar, como las salas de microscopía, siembra, cepario, lavado y secado del material. El material de plástico y vidrio se lavó utilizando agua potable y se sumergió en una solución de hipoclorito de sodio a 5 ppm durante 24 horas. Luego, se enjuagó con

Figura 1

Ubicación de recolección de muestra de agua del pozo “Los Sauces”

**Figura 2**

Análisis físicoquímico del agua del pozo “Los sauces” - Pimentel



Figura 3

Preparación de muestra de agua enviada al laboratorio SAG



agua y se dejó secar. El material de vidrio se cubrió con papel aluminio y se esterilizó a 100°C durante 2 horas en un horno marca INCASOL.

2.4.5. Cultivo de *Chlorella vulgaris*

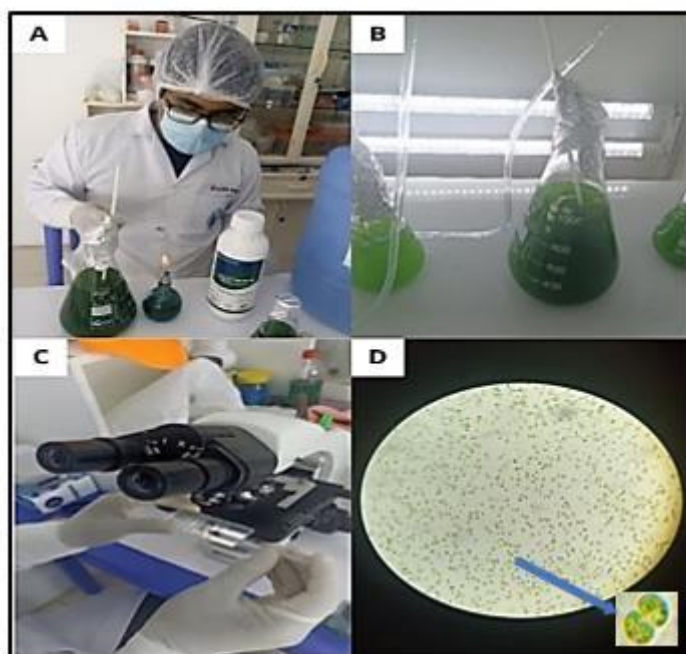
La cepa de *C. vulgaris* para iniciar con la investigación, fue proporcionada por el laboratorio BIOPERU VIDA SAC, la que fue cultivada utilizando el medio de cultivo foliar denominado Omex 20x20x20 y cuya composición se muestra en la Tabla 1. El cultivo se llevó a cabo en matraces Erlenmeyer de 500 y 1000 mL, manteniéndolo bajo aireación constante e iluminación continua, durante 6 días. (Figura 4).

2.4.6. Preparación de perlas de alginato con *C. vulgaris*

Se disolvieron 6g de alginato de sodio en 150mL de agua destilada, utilizando baño maría para facilitar la disolución. Luego de permitir que la mezcla se enfríe, se

Tabla 1*Composición química del OMEX 20X20X20*

Composición	
Nitrógeno Total (N)	20.0 % p/v
Nitrógeno Nítrico (NO_3^-)	8.7 % p/v
Nitrógeno Amoniacal (NH_4^+)	20.0 % p/v
Fósforo (P_2O_5)	20.0 % p/v
Potasio (K_2O)	1.5 % p/v
Magnesio (MgO)	5.0 % p/v
KELPAK (<i>Ecklonia maxima</i>)	1500 ppm
Hierro (EDTA) (Fe)	750 ppm
Zinc (EDTA) (Zn)	750 ppm
Cobre (EDTA) (Cu)	750 ppm
Manganeso (EDTA) (Mn)	300 ppm
Boro (B)	12 ppm
Molibdeno (Mo)	12 ppm

Figura 4*Cultivo y Recuento de células de C. vulgaris*

Nota. A. Cultivo en matraces de *C. vulgaris* con Omex (20x20x20); B. Desarrollo del cultivo acondicionado con iluminación y aireación; C. Conteo en cámara de Neubauer. D. Observación microscópica de células de *C. vulgaris*.

homogeneizó hasta lograr una solución completamente libre de partículas o grumos. Posteriormente, se reguló el pH según los requerimientos del experimento. La solución preparada se transfirió a una jeringa de vidrio de 20 mL sin aguja y se vertió lentamente en forma de gotas (perlas) en una solución de cloruro de calcio al 1% (p/v), manteniendo una agitación constante a velocidad de 100 rpm; para el control y sus repeticiones (Figura 5).

Para la inmovilización de *C. vulgaris*, se empleó la metodología descrita por Valdez et al. (2018). Inicialmente, se efectuó el conteo de células con una cámara de Neubauer (0,1 mm de profundidad) para determinar la concentración del cultivo. Posteriormente, se elaboraron perlas con dos concentraciones de *C. vulgaris*: $1,20 \times 10^6$ y $3,40 \times 10^6$ células/mL conteniendo alginato de sodio para su mezcla y así formar las perlas con las dos concentraciones propuestas para desarrollar la investigación. (Figura 6).

Una vez formadas las perlas, se mantuvieron en agitación durante 30 minutos adicionales. Luego, las perlas se filtraron utilizando una red malla de 20 mm de abertura; y a continuación se lavaron cuidadosamente con agua destilada-desionizada estéril para eliminar cualquier residuo generado por la reacción química (Figura 7).

2.4.7. Instalación de la Fase Experimental

Se añadió 1 L de agua de pozo a las botellas esterilizadas de 2 mL, luego se pesó las perlas de alginato de sodio y se incorporaron a cada tratamiento 50 g de perlas con y sin *C. vulgaris* (Figuras 8 y 9). Posteriormente, se conectaron las botellas a un sistema de aireación utilizando mangueras y un motor de acuario para asegurar la oxigenación, y se instalaron lámparas fluorescentes blancas de 60 W como fuente de luz artificial, manteniendo ambos de forma continua (Figura 10).

Figura 5

Preparación de perlas de alginato de sodio



Nota. A y B. Disolución de alginato de sodio en agua destilada. C y D. Solución homogénea libre de partículas o grumos.

Figura 6

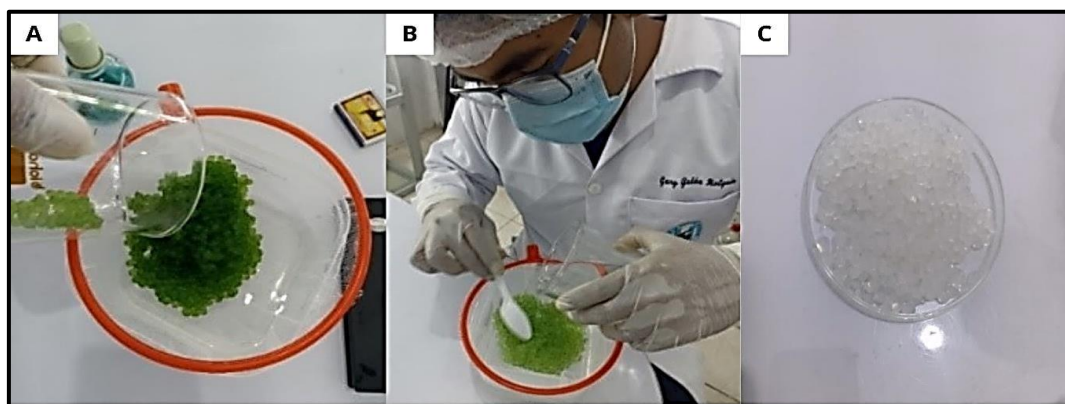
*Preparación de alginato de sodio con dos concentraciones diferentes de *C. vulgaris**



Nota. A y B. Concentración de *C. vulgaris* $1,20 \times 10^6$. C y D. Concentración de *C. vulgaris* $3,40 \times 10^6$.

Figura 7

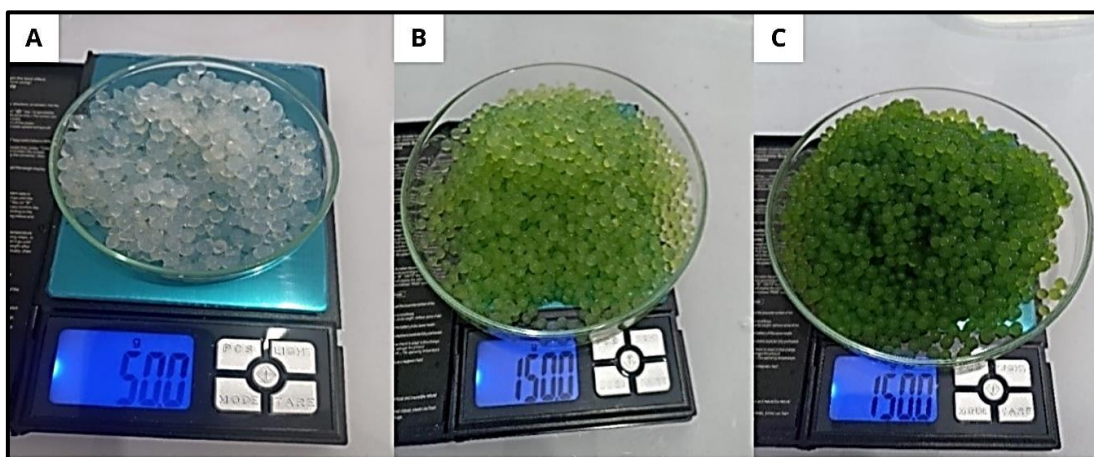
Filtrado, secado y lavado con agua desionizada de las perlas de alginato de sodio



Nota. A. Perlas con mayor concentración de *C. vulgaris*. B. Perlas con menor concentración de *C. vulgaris*. C. perlas sin *C. vulgaris*

Figura 8

Pesado de perlas de alginato de sodio añadido a cada tratamiento



Nota. A. Perlas sin *C. vulgaris*; B. Perlas con la concentración menor de *C. vulgaris*; C. Perlas con mayor concentración de *C. vulgaris*.

Figura 9

Proceso de instalación de perlas de alginato en cada fotobiorreactor



Figura 10

Instalación de la fase experimental con aireación y luz constante



2.4.8. Evaluación de parámetros fisicoquímicos

En toda la etapa del cultivo, los datos de temperatura y pH se registraron para cada uno de los tratamientos, así como del control y sus repeticiones (Figura 11).

a. Temperatura (°C)

Haciendo uso del termómetro infrarrojo tipo pistola marca HETAIDA, se registró la temperatura diariamente y en tres horarios: 08, 13 y 17 h.

b. pH

Se controló con un pHmetro-009(I) diariamente, durante todo el proceso del experimento.

2.4.9. Determinación de Recuento Celular

Se extrajo diariamente 1 g de esferas de cada réplica y tratamiento, y posteriormente se contaron y midieron utilizando un vernier (Figura 12). Las esferas provenientes de los tratamientos con *C. vulgaris* se colocaron en tubos Falcon de 15 mL, a los cuales se agregaron 9 mL de solución de bicarbonato de sodio al 4%. La mezcla se dejó reposar durante 4 horas para luego proceder con el conteo celular utilizando cámara de Neubauer de 0,1 mm de profundidad y un microscopio binocular GREETMED EX20 a 100X, siguiendo la metodología de Ardila (2012) (Figura 13).

2.4.10. Análisis del arsénico durante el experimento

El análisis del arsénico se llevó a cabo al inicio, durante la fase exponencial del cultivo, y al final del experimento. Para preservar las muestras (Figura 14), se les agregó ácido nítrico (HNO₃), siguiendo el protocolo establecido por el laboratorio SAG PERÚ, certificado por INACAL. Los metales se determinaron mediante espectrometría de masas, utilizando la metodología EPA 200.8.

Figura 11

Medición de los parámetros fisicoquímicos durante la Fase experimental



Nota. A. Medición de temperatura. B. Medición del pH

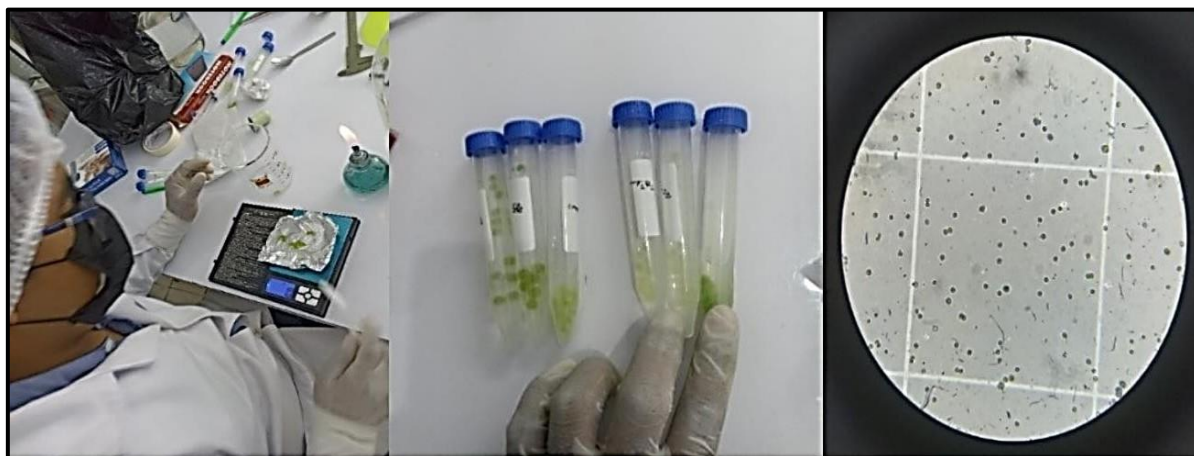
Figura 12

Medición y pesaje de perlas de alginato previo al conteo celular



Figura 13

Desencapsulamiento de las perlas de C. vulgaris y conteo celular

**Figura 14**

Preparación de muestras de agua para análisis de arsénico en la fase exponencial y final del experimento



2.5. Procesamiento y Análisis de Datos

Concluida la fase experimental del cultivo, a fin de determinar diferencias en el desarrollo de *C. vulgaris* entre repeticiones de cada tratamiento, se aplicó un ANOVA simple (Ostle, 1994).

A continuación, se promediaron las poblaciones de las repeticiones en cada tratamiento y se aplicó el ANOVA para un modelo factorial de dos factores fijos (Ostle, 1994). Los datos fueron procesados con el software Minitab 22.

Por otro lado, la cinética del crecimiento de *C. vulgaris*, fue desarrollada mediante el modelo matemático de Gompertz modificado (Castro et al., 2008):

$$N = A + C \cdot \exp(-\exp(-B(t-M)))$$

Donde:

N: logaritmo decimal de los recuentos celulares (log (cél mL⁻¹)) al tiempo (t) en horas.

A: logaritmo decimal de los recuentos celulares iniciales (log (cél mL⁻¹)).

C: logaritmo decimal de la diferencia de la población final e inicial en la fase estacionaria (log (cél mL⁻¹)).

M: tiempo para alcanzar la máxima velocidad de crecimiento (horas).

B: velocidad de crecimiento máxima relativa al tiempo M (log (cél/mL/h)).

t: tiempo (horas).

El modelo se estimó aplicando el software Statistica 13.3.

Los indicadores poblacionales de crecimiento se calcularon, utilizando la siguiente formulación:

$$\lambda = M-1/B$$

λ: Fase de adaptación en horas.

$$Tg = \text{Log } 2 (e) / B \times C$$

Tg: Tiempo de generación en horas

e: 2,7182 (constante)

$$MDP = A+C$$

MDP: Máxima densidad poblacional dado en (log (cél mL⁻¹)).

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Remoción del metal pesado Arsénico

La concentración de Arsénico (As) en el agua antes del inicio del experimento fue de 0,012 mg/L (Anexo 1), valor que superó el Límite Máximo Permisible (0,010 mg/L) para consumo humano (Decreto Supremo N°004-2017-MINAM); sin embargo, luego de la aplicación del diseño experimental, se pudo apreciar que su concentración disminuyó, aunque con ligeras diferencias entre las repeticiones del control y tratamientos (Tabla 2), siendo en promedio de: 0,0104mg/L en el Control, 0,0097 mg/L en el Tratamiento 1 y 0,0086 mg/L en el Tratamiento 2, evidenciándose una mayor disminución en la mayor concentración algal (T2) (Tabla 2 y Anexo 2 y 3).

Las diferencias observadas entre las concentraciones de Arsénico de las repeticiones no fueron estadísticamente significativas (p : ,805), igualmente, no hay significación estadística entre las concentraciones de Arsénico de los tratamientos (p : ,536), lo cual indicó que no hay efecto de los tratamientos en relación con la remoción del Arsénico del agua. (Anexo 4 y 5).

El análisis porcentual de la remoción del Arsénico del agua al finalizar la experiencia en el octavo día determinó que en el Control hubo una remoción del 15,45 %, en el Tratamiento 1 fue de 30,10 % y para el Tratamiento 2, la remoción fue de 45,24 % (Figura 15).

3.2. Número y diámetro de cápsulas por gramo en los diferentes tratamientos con *C. vulgaris*

El número de cápsulas por gramo disminuyó y el diámetro aumentó a medida que transcurrió el experimento, siendo más acentuada en el Tratamiento 2. (Figura 16).

Tabla 2

Valor promedio del Arsénico determinado a través de espectrofotometría de masas

Arsénico (mg/L)	Control		
	R1	R2	R3
Muestra inicial	0,01209	0,01209	0,01209
Muestra intermedia	0,00850	0,00890	0,00900
Muestra final	0,01013	0,01022	0,01046
Tratamiento 1			
Muestra inicial	0,01209	0,01209	0,01209
Muestra intermedia	0,00831	0,00867	0,00903
Muestra final	0,00803	0,00845	0,00846
Tratamiento 2			
Muestra inicial	0,01209	0,01209	0,01209
Muestra intermedia	0,00699	0,00721	0,00730
Muestra final	0,00651	0,00662	0,00687

Figura 15

Porcentaje de remoción de arsénico (As) en fase intermedia y final del experimento

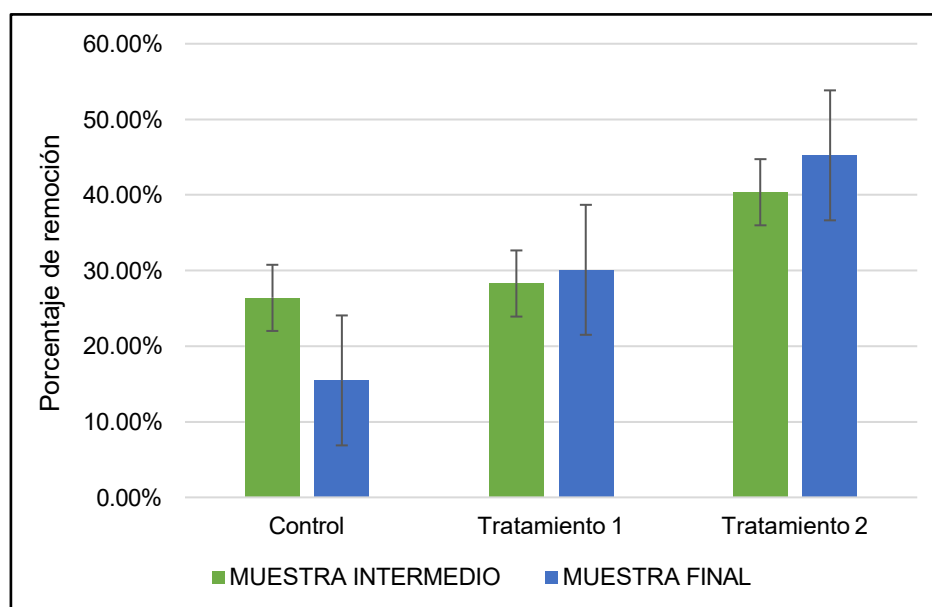
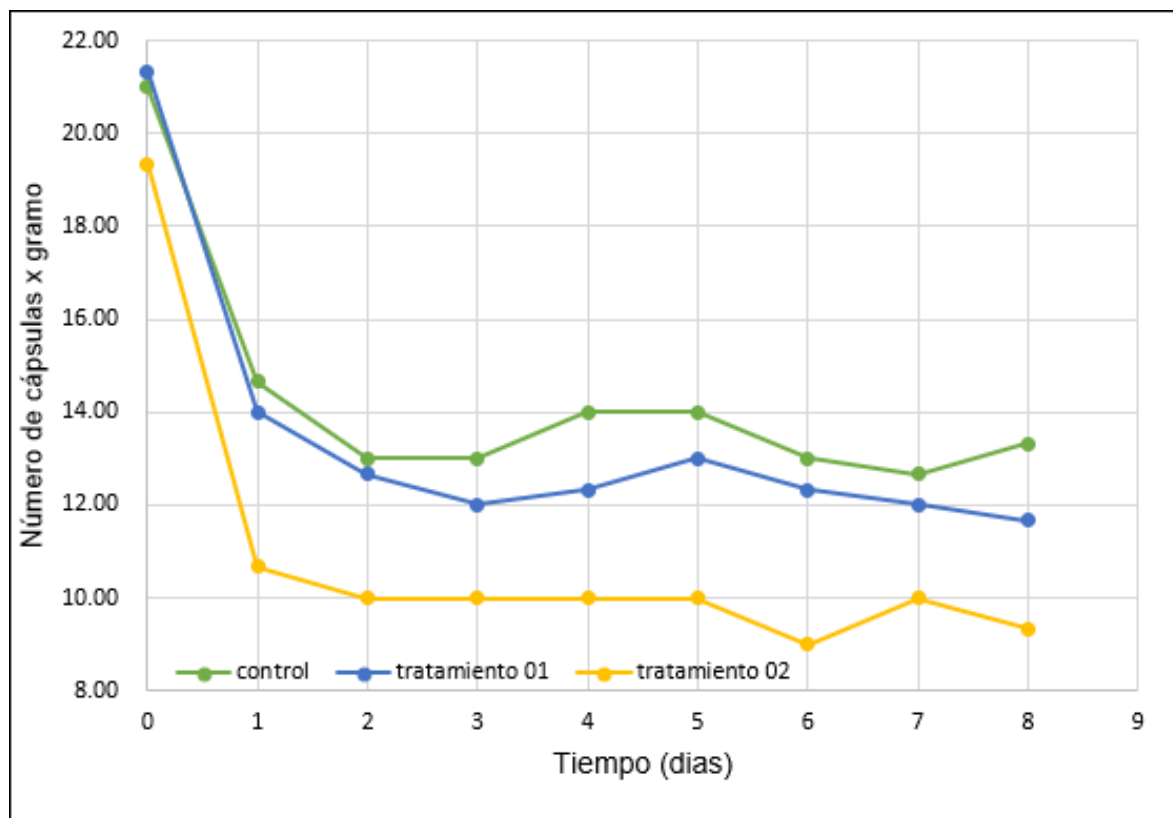


Figura 16

Variación del número de cápsulas por gramo del control y de cada tratamiento con C. vulgaris

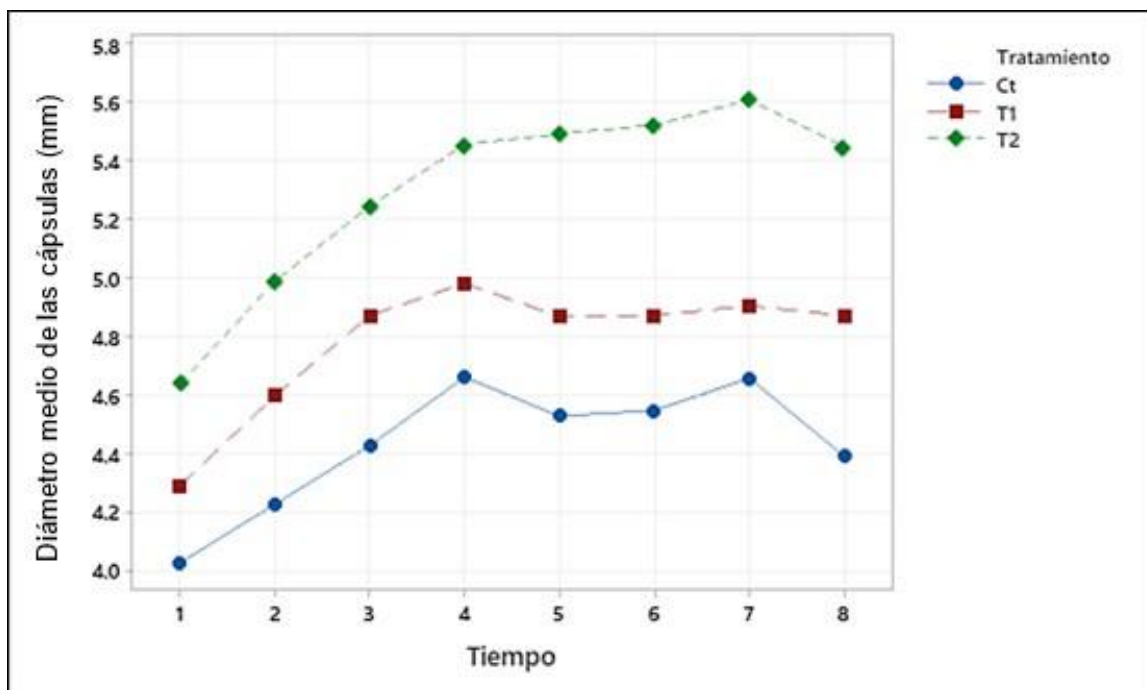


Las diferencias en el número de cápsulas por gramo observadas presentaron significación estadística, de ahí que se demostró el efecto de los tratamientos ($p: ,001$), además del tiempo ($p: ,001$) y la interacción de ambos factores ($p: ,001$) (Anexo 6).

En lo que respecta al diámetro de las cápsulas, presentaron un comportamiento inverso al número, es decir incrementaron su diámetro con el tiempo hasta el séptimo día, para luego disminuir ligeramente, asimismo, el mayor diámetro de las cápsulas correspondió al Tratamiento 2, seguido del tratamiento 1 y finalmente el Control, con los menores diámetros (Figura 17).

Figura 17

Variación del diámetro diario de las capsulas del control y de los tratamientos con C. vulgaris



El análisis de variancia (Anexo 7) determinó que las diferencias observadas fueron estadísticamente significativas, consecuentemente, el diámetro de las cápsulas fue afectado por los tratamientos ($p < ,001$) y el tiempo ($p < ,001$), y la interacción de estos ($p < ,030$).

El resultado del análisis de la correlación entre el número de cápsulas por gramo y el diámetro de las cápsulas, indicó la existencia de una correlación negativa significativa ($R: - 0,795$, $p: ,001$) entre ambas variables (Tabla 3 y Figura 18).

Finalmente, el análisis conjunto de las variables en juego señala que existe una correlación negativa del número de cápsulas con el diámetro, el número de células y el tiempo e igualmente, el diámetro de las cápsulas se correlaciona positivamente con el número de células y el tiempo (Figura 18).

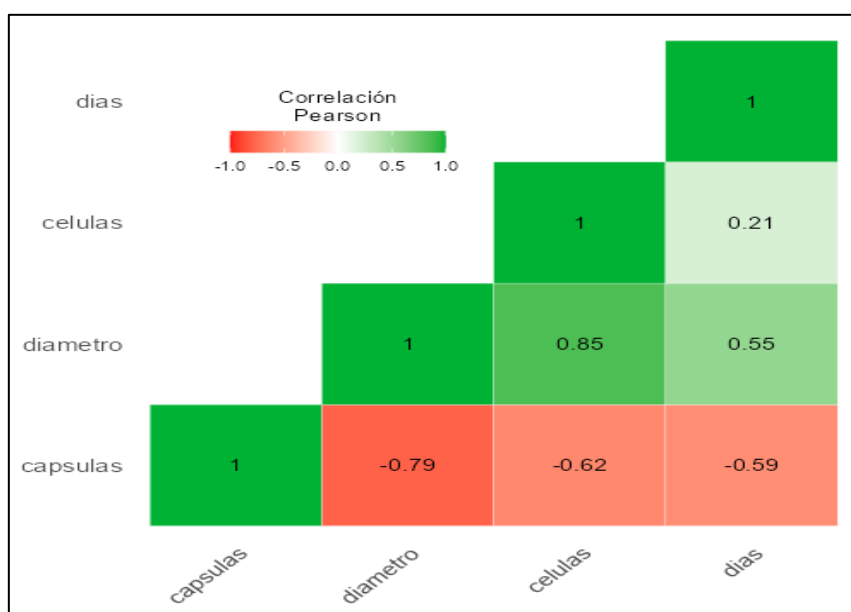
Tabla 3

Matriz de correlación de número de cápsulas, diámetro de cápsulas, número de células de C. vulgaris y tiempo de cultivo

		Número de cápsulas	Diámetro de cápsulas	Número de células	Tiempo (días)
Número de cápsulas	R de Pearson	—			
	gl	—			
	valor p	—			
Diámetro de cápsulas	R de Pearson	-0,795	—		
	gl	79	—		
	valor p	< ,001	—		
Número de células	R de Pearson	-0,616	0,851	—	
	gl	79	79	—	
	valor p	<,001	< ,001	—	
Tiempo (días)	R de Pearson	-0,585	0,552	0,206	—
	gl	79	79	79	—
	valor p	< ,001	< ,001	0,064	—

Figura 18

Mapa de calor de la correlación de Pearson entre en número de células, días, diámetro y cápsulas



3.3. Crecimiento de *C. vulgaris* encapsuladas en Perlas de Alginato

En general, los dos tratamientos crecieron rápidamente hasta el tercer día de cultivo, de ahí el crecimiento celular fue más lento, avanzando hasta el sexto día en el Tratamiento 2, pero en el Tratamiento 1 ocurrió hasta el séptimo día, decayendo ambos en el octavo día; debiendo anotar que el mayor crecimiento celular se observó en el Tratamiento 2, desde el inicio del cultivo (Tabla 4). Esta característica del crecimiento celular se apreció nítidamente en la representación gráfica (Figura 19), donde se observó la superioridad del crecimiento celular en el Tratamiento 2.

Las diferencias observadas entre las repeticiones de cada tratamiento no fueron estadísticamente significativas ($p: ,05$) (Anexo 8). Procediéndose a promediarlas y representarlas en la Figura 19, observándose que el Tratamiento 2 presentó la densidad poblacional más alta desde el primer día de cultivo hasta el final.

El crecimiento celular de *C. vulgaris* observado, difirió significativamente entre concentraciones celulares ($p: ,001$), el tiempo ($p: ,001$) y la interacción de ambos factores ($p: ,001$) (Anexo 9).

Por otro lado, se muestra los resultados de la prueba de Tukey, que compara las medias de crecimiento de *C. vulgaris* entre los diferentes tiempos. El análisis agrupa las medias con diferentes letras indicando que hay diferencias significativas entre los tiempos en términos de crecimiento celular. Las medias más altas se observaron en los días 6 y 7, indicando que el crecimiento máximo se alcanzó durante este período (Tabla 5).

3.4. Cinética de crecimiento de *C. vulgaris*

Se presentan los parámetros de crecimiento obtenidos del modelo Gompertz para *C. vulgaris*. Los altos valores de correlación (R) indicaron un buen ajuste del

Tabla 4

Crecimiento diario (cel/mL) de C. vulgaris en cada tratamiento y sus repeticiones

Tiempo Días	Tratamiento 1			Tratamiento 2		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	1200000	1200000	1200000	3400000	3400000	3400000
1	2290000	2280000	1860000	4460000	4450000	4460000
2	2500000	2430000	2470000	5270000	5260000	5270000
3	2560000	2460000	2520000	6230000	6230000	6230000
4	2700000	2780000	2750000	6830000	6840000	6840000
5	2970000	2930000	3520000	7060000	7060000	7060000
6	3520000	3510000	3650000	7650000	7650000	7650000
7	3620000	3680000	3650000	7650000	7650000	7650000
8	2750000	2810000	2790000	5880000	5650000	5650000

Figura 19

Fluctuación del crecimiento diario en cada tratamiento de C. vulgaris, cultivada a diferentes concentraciones celulares

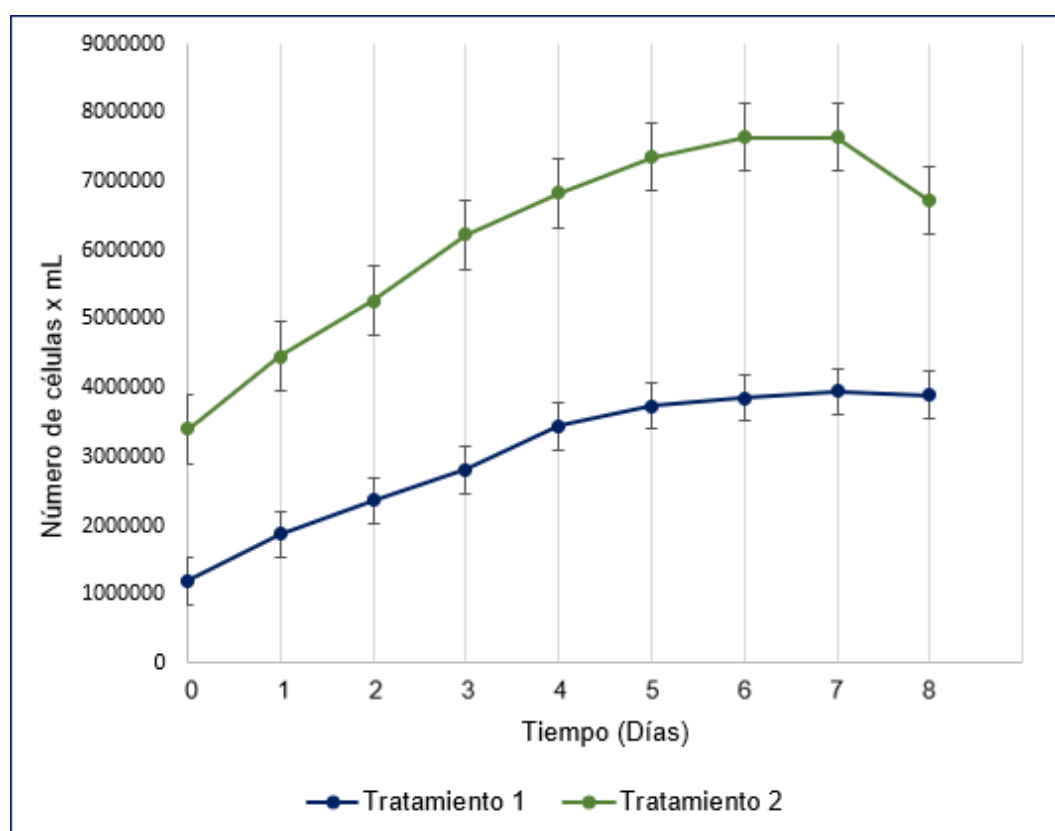


Tabla 5

Comparación de las medias de crecimiento de C. vulgaris de los tratamientos entre los diferentes tiempos mediante la prueba de Tukey

Tiempo	Media	Agrupación
1	3166667	A
2	3816667	B
3	4521667	C
4	5140000	D
8	5440000	E
5	5550000	E
6	5755000	F
7	5800000	F

modelo Gompertz a los datos experimentales, con valores que van de 0,9857 a 0,9924 (Tabla 6).

El tratamiento 2 presentó la mayor velocidad de crecimiento (B): 0,0429 log (cél./mL/h), siendo en el tratamiento 1 de 0,0374 log (cél./mL/h); asimismo, el tratamiento 2, observó menor tiempo de duplicación celular (T_g): 6,43 h en comparación al tratamiento 1 cuyo valor fue de 11,35 h. Sin embargo, en el tratamiento 2 hubo fase de latencia, en contraposición al tratamiento 1 donde no ocurrió esta fase; de igual modo, el tiempo para alcanzar la máxima velocidad de crecimiento (M) fue superior en el tratamiento 2: 24,80 h, en relación con el tratamiento 1: 24,68 h, el cual, en cambio, ostentó un mayor número de células en la fase estacionaria (C): 0,518546 log (cél mL⁻¹), con respecto al tratamiento 2 con 0,3369 log (cél mL⁻¹).

El modelamiento gráfico del crecimiento (Figura 20), evidenció las fases de crecimiento de *C. vulgaris*; apreciándose que la fase de latencia (lag) no se presentó

Tabla 6

Parámetros del crecimiento de C. vulgaris obtenidos a partir del modelamiento de Gompertz

Parámetros	Tratamiento 1	Tratamiento 2
R	0,9924	0,9857
C	0,5186	0,3369
B	0,0374	0,0429
M	24,6810	24,7963
λ	0,0734	1,4695
Tg	11,3520	6,4296

Nota. R: Coeficiente de correlación; C, B y M: Parámetros del modelamiento de Gompertz; λ : Fase de latencia (horas); Tg: tiempo de generación (horas).

T1; sin embargo, en el tratamiento T2 si, siendo la duración de esta fase de 0,07 y 1,47 horas, respectivamente. En cuanto a la fase exponencial (fase log) se distingue que la menor duración fue de 40 horas en el tratamiento 1, y una mayor duración (48 horas) en el tratamiento 2.

El análisis comparativo de los gráficos generados a partir del modelo de Gompertz evidenció que el tratamiento T2 presentó una mayor velocidad de crecimiento algal, un mayor número de generaciones y una capacidad de carga superior, además de un tiempo de generación (6,42 horas) más corto en comparación con el tratamiento T1. (Figuras 20).

3.5. Parámetros fisicoquímicos del agua durante el experimento

El pH del agua varió ligeramente de un tratamiento a otro, así como con el transcurso del tiempo de cultivo. En general osciló entre 7,9 y 8,3, valores que señalan un medio alcalino (Tabla 7).

Figura 20

Curva de crecimiento del modelo de Gompertz para el tratamiento 1 y 2 de C. vulgaris encapsulada en alginato

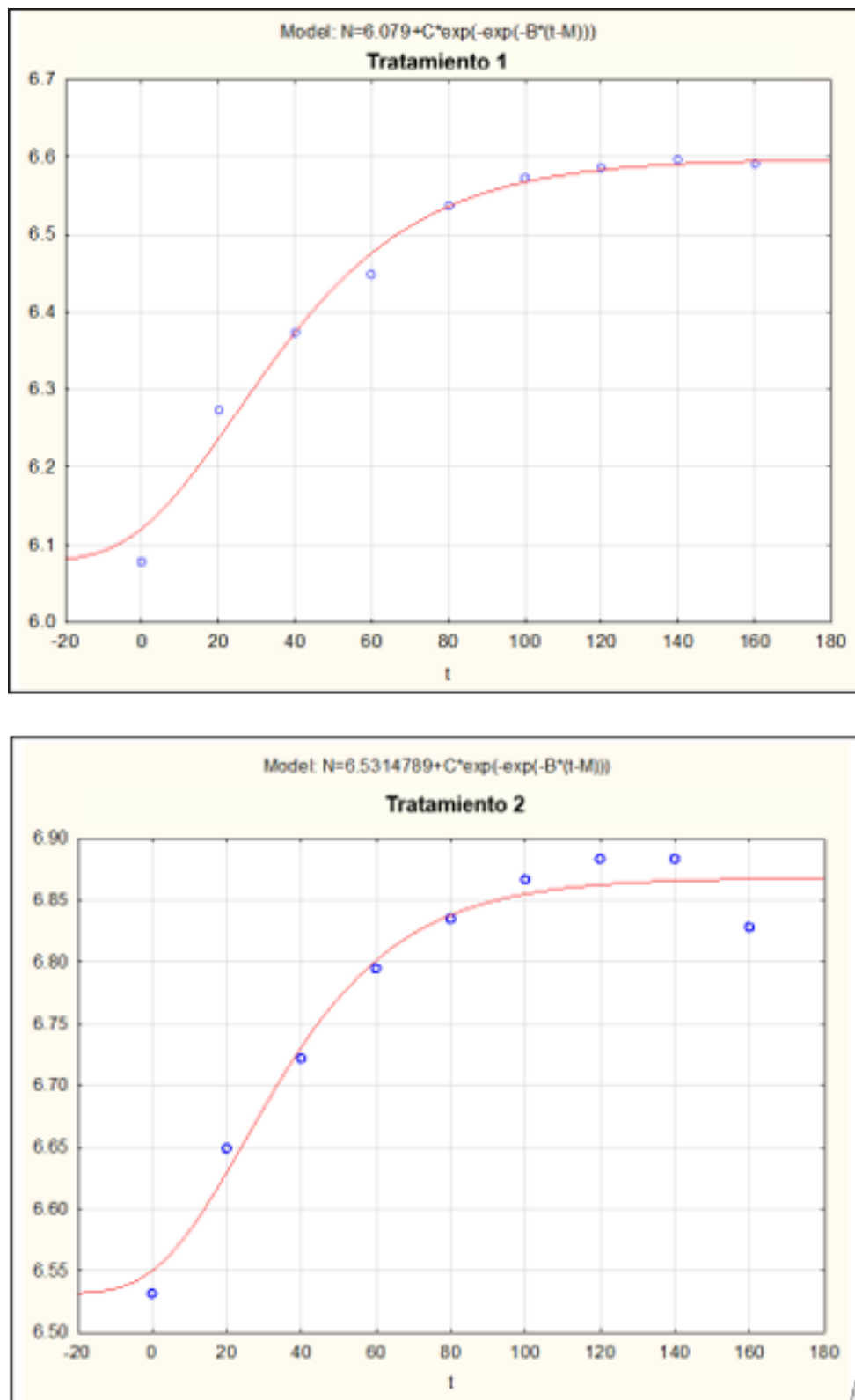


Tabla 7

pH diario del agua del control y de cada tratamiento con C. vulgaris

Tiempo (días)	Control	Tratamiento 1	Tratamiento 2
1	8,3	8,3	8,6
2	7,9	7,8	7,9
3	8,1	8,1	8,2
4	8,1	8,0	8,0
5	7,8	7,7	7,8
6	8,2	8,1	8,0
7	8,0	8,1	7,8
8	7,8	8,1	7,8

En cuanto a la temperatura, sus variaciones fueron leves entre tratamientos e igualmente en función al tiempo de cultivo; siendo su rango entre 23,3 °C y 24,0 °C (Tabla 8).

3.6. Correlación entre los parámetros fisicoquímicos y la máxima densidad poblacional con respecto a la remoción de arsénico

El nivel de concentración del arsénico guardó correlación positiva con el pH y positiva baja con la temperatura del agua de cultivo; fue negativa baja con el tiempo de generación y negativa alta con la Máxima Densidad Poblacional. Por otro lado, se observa que la Máxima Densidad Poblacional guardó correlación negativa con el pH y la temperatura (Figura 21).

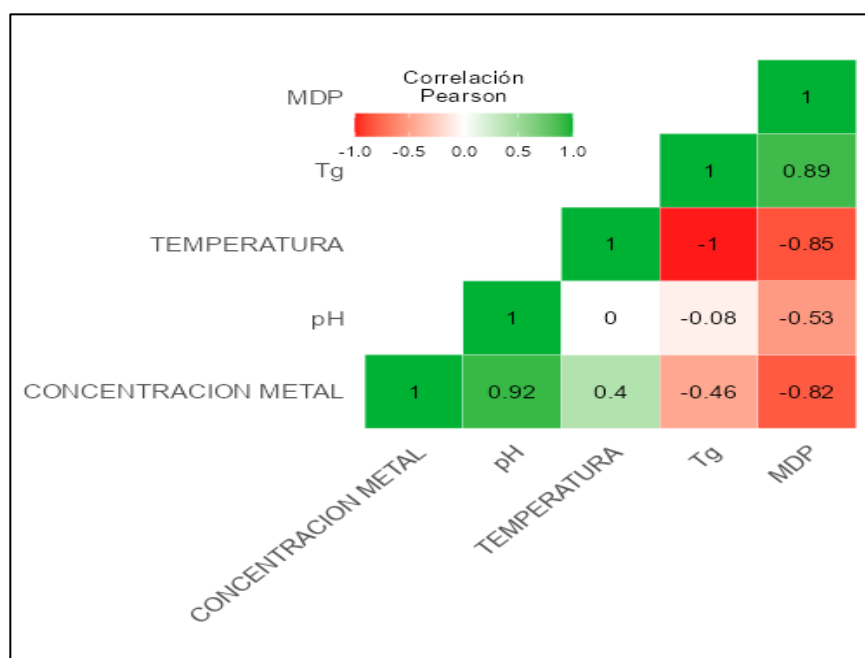
Tabla 8

Temperatura diaria del agua del control y en cada tratamiento con C. vulgaris

Tiempo (días)	Control	Tratamiento 1	Tratamiento 2
1	23,4	23,3	24,0
2	23,9	23,4	23,5
3	23,7	23,4	23,5
4	23,6	23,5	23,5
5	24,0	23,7	23,9
6	23,8	23,0	23,0
7	23,9	23,9	23,8
8	23,7	23,4	23,6

Figura 21

Mapa de calor de Correlación entre los parámetros fisicoquímicos y la máxima densidad poblacional con respecto a la remoción de arsénico



CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN

La hipótesis planteada en el proyecto señalando que, a mayor concentración de *C. vulgaris* inmovilizadas en perlas de alginato habrá una mayor remoción de arsénico en aguas de pozo los sauces, se cumplió porque la remoción más alta se dio en la mayor concentración, aunque el análisis de variancia no evidenció diferencias significativas entre los niveles de arsénico del agua luego de la aplicación del estímulo, lo cual se estaría explicando porque la remoción del arsénico es indiferente en las concentraciones de *C. vulgaris* inmovilizadas en perlas de alginato experimentadas.

Sin embargo, porcentualmente la diferencia es notoria por cuanto la reducción de la concentración de arsénico en el tratamiento 2 fue de 45,24 %, mientras que en el tratamiento 1 fue de 15,47 %, hecho que estuviese ligado al mayor crecimiento celular que observó este tratamiento y que le habría permitido una mayor absorción del arsénico, siendo corroborado por la correlación negativa de la concentración de arsénico con el tiempo de generación y con la Máxima Densidad Poblacional. Sin embargo, es necesario señalar que el nivel de concentración final (0,0086 mg/L), fue inferior al LMP (Decreto Supremo N°004-2017-MINAM).

La situación antes señalada, es concordante con los resultados obtenidos por Vega (2019), quien encontró que la mayor remoción de cromo se logró con concentraciones altas de *Chlorella sp.* (86%), señalando la importancia de la densidad de microalgas en el proceso de absorción, aunque con un metal diferente. Esta importancia de la densidad de microalgas para el proceso de reabsorción de metales es destacada por diversos autores como Oliveira (2003), Sala et al. (2010), Perenguez y Valdés (2017). En esta misma dirección, coincide con Batra (2019) sobre la remoción de arsénico por *C. vulgaris*, en densidades mayores; asimismo, guarda relación

semejante con Perenguez y Valdés (2017) quienes lograron una remoción de cadmio del 59,67% en soluciones acuosas con 20 ppm, usando perlas de alginato con *Chlorella sp.*

Por otro lado, es probable que la concentración del metal incida en el nivel de su absorción por parte de la microalga, pues Arias (2017) encontró que las perlas de alginato con *Chlorella sp.* removieron cromo a niveles significativos, siendo más efectivas a concentraciones bajas (10 ppm), lo cual se ha presentado en el presente caso, donde con una concentración mucho más baja de arsénico (0.01209 mg/L), se logró una remoción significativa. Esta característica también ha sido observada en estudios realizados por otros autores como Cuizano y Nabarro (2008), Kumar et al., (2013) y Batra (2019).

Es necesario también señalar que, respecto a la capacidad de remoción de metales pesados por alginato de calcio, no hay concordancia con el estudio realizado por Triviño (2018) quien concluyó que el alginato de calcio, por sí solo, tiene una alta capacidad de remoción de plomo, más que las perlas con *Chlorella*, pues en el presente estudio las perlas de alginato de calcio sin *C. vulgaris* removieron una cantidad mínima de arsénico, en comparación con el tratamiento donde se encapsularon la densidad más alta de microalgas, lo cual podría deberse a la afinidad de este compuesto por el metal que en el caso del autor mencionado fue plomo y en el presente estudio ha sido arsénico o también a condiciones experimentales específicas (Sanches et al. 2008; Sameera et al. 2011).

En lo que se refiere al diámetro de las cápsulas, se ha observado que este aumentó con el paso del tiempo en los tratamientos, lo cual probablemente se debió

al crecimiento de la población algal, presentándose mayor en el tratamiento 2, que experimentó el mayor desarrollo poblacional de *C. vulgaris*.

Respecto al número de cápsulas por gramo, se ha encontrado que este disminuyó con el aumento de la concentración del alga (Tratamientos), lo cual está relacionado con el aumento del diámetro, lo que lógicamente incrementa el volumen de las cápsulas y consecuentemente su peso. Esto lo explica también, el mapa de calor de la correlación de Pearson, que estableció una correlación negativa del número de cápsulas con el diámetro (-0,79), con la concentración de células (-0,62) y con el tiempo (-0,59).

En relación con el crecimiento de *C. vulgaris* encapsulada en perlas de alginato, se observó que el mayor crecimiento poblacional correspondió al tratamiento 2 desde el inicio del cultivo, lo cual se debió a que, al haber una mayor densidad poblacional, la multiplicación de las células aumentó la población total, debiéndose hacer notar que esta llegó a su nivel asintótico el sexto día de cultivo, mientras que en el tratamiento 1 ocurrió en el séptimo día. Este buen crecimiento poblacional de *C. vulgaris* encapsulada en perlas de alginato es concordante con la afirmación de Forero et al. (2015) quienes sostuvieron que la inmovilización de microalgas en esferas de alginato de calcio permitió un crecimiento más eficiente de *Chlorella vulgaris*. Situación que puede deberse a la estabilidad proporcionada por el alginato, que favorece la proliferación de las microalgas al tiempo que facilita su interacción con el contaminante (Sanchez et al. 2008; Tantte 2018).

La curva de crecimiento de Gompertz permitió identificar que, en la concentración de $1,20 \times 10^6$ cel/mL de *C. vulgaris*, no se presentó la fase de adaptación, lo que si ocurrió en la concentración de $3,40 \times 10^6$ cel/mL, lo cual se

explicaría porque en la concentración menor, el alga habría contado con mayor espacio disponible en el interior de las perlas de alginato de calcio para iniciar su crecimiento rápidamente, mientras que en la concentración mayor, la disponibilidad de espacio fue menor y tuvo que pasar por un proceso de adaptación para iniciar su crecimiento.

Con respecto a la cinética de crecimiento de *C. vulgaris*, el tratamiento 2 ostentó la mayor velocidad de crecimiento (B), lo cual guardó relación con el menor tiempo de duplicación celular, que permitió un rápido incremento de la población algal y que se vio reflejada en la máxima densidad poblacional lograda en este tratamiento.

El pH del agua de cultivo osciló de 7,9 a 8,3, señalando un medio alcalino, que se encuentra por encima del nivel óptimo de desarrollo de *C. vulgaris*, que según Gómez-Luna et al. (2021) es de 7.

La temperatura del agua de cultivo estuvo entre 23,3 °C y 24,0 °C, encontrándose dentro del nivel adecuado para su desarrollo considerado de 20 °C a 28 °C (Serra-Maia et al., 2016).

CONCLUSIONES

- La concentración poblacional de *C. vulgaris* encapsulada en perlas de alginato de calcio afectó positivamente la remoción del arsénico del agua de pozo, siendo mayor en la densidad poblacional más alta.
- La mayor velocidad de crecimiento, menor tiempo de generación y la máxima densidad poblacional se alcanzó en las perlas de alginato con la mayor concentración de *C. vulgaris* ($3,40 \times 10^6$ cel/mL).
- El número de cápsulas por gramo guardó correlación negativa con el diámetro (-0,79), con la concentración de células (-0,62) y con el tiempo (-0,59).
- La curva de crecimiento de *C. vulgaris* no presentó fase de adaptación en la concentración menor ($1,20 \times 10^6$ cel/mL), pero si ocurrió en la concentración mayor ($3,40 \times 10^6$ cel/mL).

RECOMENDACIONES

- Dado que el tratamiento 2 mostró una mayor eficiencia en la remoción de arsénico, se recomienda seguir optimizando las condiciones de cultivo, incluyendo la concentración de *C. vulgaris*, la composición de las perlas de alginato, y el tiempo de exposición para maximizar la bioadsorción de arsénico.
- Considerando la capacidad de *C. vulgaris* para remover arsénico, sería valioso evaluar su eficacia en la remoción de otros metales pesados, como plomo, mercurio o cadmio, lo que podría ampliar su aplicabilidad en diferentes contextos de biorremediación.

REFERENCIAS

- Abbas, S., Ismail, I., Mostafa, T., & Sulaymon, A. (2014). Biosorption of Heavy Metals: A Review. *Journal of Chemical Science and Technology*, 3(4), 74-102.
- Abu Al-Rub, F., El-Naas, M., Ashour, I., & Al-Marzouqi, M. (2006). Biosorption of copper on *Chlorella vulgaris* from single, binary and ternary metal aqueous solutions. *process biochemistry*, pp.457-464
- Arias A (2017). *Análisis de remoción de cromo por acción de la microalga Chlorella sp. Inmovilizada en perlas de alginato*. Universidad Politecnica Salesiana sede Quito. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13639/1/UPS-QT11400.pdf>
- Avila, J. (2015). Evaluación de la remoción de nitratos y fosfatos a nivel laboratorio por microalgas libres e inmovilizadas para el Tratamiento Terciario de Aguas Residuales Municipales [Tesis de licenciatura, Universidad de Ricardo Palma] Lima. https://www.researchgate.net/publication/277021476_Nitrate_and_phosphate_removal_from_free_and_immobilized_microalgae_from_wastewaters_for_Biological_Tertiary_Treatment_Thesis
- Barakat, M. A. (2011). New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, 4(4), 361-377. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.07.019>
- Batra, S (2019). Evaluación de la remoción de arsénico utilizando la microalga *Chlorella vulgaris* en aguas superficiales del río uchusuma, Tacna – Perú. [Universidad Privada de Tacna]. <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/1277/Bartra-ReynaShirley.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cervantes, C., Saldaña, A. E., Aguilar, F. A., Rodríguez, I. L., Cano, M. R., Rodríguez, M. A. y Sánchez, R. M. (2006). Interacciones microbianas con metales pesados. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 48(2), 203-210.
- Cuizano, N., & Nabarro, A. (2008). Biosorción de metales pesados por algas marinas: posible solución a la contaminación a bajas concentraciones, pp.120-124

- Chong, A., Wong, Y., & Tam, N. (2000). Performance of different microalgal species in removing nickel and zinc from industrial wastewater. *Chemosphere*, 251- 257
- Enriquez Castro, D. (2015). Nivel alto del arsénico y su repercusión en la salud. *Ciencia y Desarrollo*.pp.7-10.
- Forero Cujíño, M., Montenegro Ruiz, L., Pinilla Agudelo, G., & Melgarejo, L. (2016). Inmovilización de las microalgas *Scenedesmus ovalternus* (Scenedesmaceae) y *Chlorella vulgaris* (Chlorellaceae) en esferas de alginato de calcio. *Acta Biológica Colombiana*. 21. 437-442. 10.15446/abc. v21n2.51253.
- Gualtieri, P., & Barsanti, L. (2014). *Algae: anatomy, biochemistry, and biotechnology*. Taylor & Francis group.
- Hernández-Pérez, A., & Labbé, J. I. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, pp. 157-173.
- Kumar, R. M., Frankilin, J., & Raj, S. P. (2013). Accumulation of heavy metals (Cu, Cr, Pb and Cd) in freshwater micro algae (*Chlorella* sp.). *Journal of Environmental Science & Engineering*, pp.371-376.
- Mary Kensa, V. (2011). *Bioremediation - An overview* (Vol. 27).
- Mehrabadi, A., Craggs, R., & Farid, M. (2014). Tratamiento de aguas residuales de alta tasa de estanques de alga. *Biosource Technology*
- MINAM (2017). Decreto Supremo N°004-2017. Normas Legales-El Peruano. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Montaño, A., Bula, L., Angulo, E., & Mercado, I. (2017). Evaluación del uso de la microalga *Chlorella* sp., no viva en la remoción de cefalexina. *Memorias III Seminario Internacional de Ciencias Ambientales SUE-Caribe*, 107-110.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). Arsénico. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- Oliveira J (2003). *Estudio de la biosorción de cobre Cu (II) por perlas de Alginato de Calcio*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://core.ac.uk/download/pdf/323345026.pdf>

- Perenguez B & Valdes C (2017). *Análisis de remoción de cadmio por acción de la microalga *Chorella* sp. Inmovilizada en perlas de alginato*. Universidad Politecnica Saleciana sede Quito.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14211/1/UPS-QT11673.pdf>
- Priyadarshani, I., Sahu d. & Rath B (2011). Microalgal bioremediation: Current practices and perspectives. J Biochem Tech Vol. 3, N° 3. p. 299-304.India.
[https://www.researchgate.net/publication/259970073_Microalgal_Bioremediati on C urrent_Practices_and_Perspectives](https://www.researchgate.net/publication/259970073_Microalgal_Bioremediati_on_C urrent_Practices_and_Perspectives)
- Posten, C. (2009) Design principles of photo-bioreactors for cultivation of microalgae. Engineering in Life Science [en línea]. Vol. 9, N° 3. p. 165 – 177. Alemania.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/elsc.200900003>
- Roane, T. M., Pepper, I. L., & Gentry, T. J. (2015). Chapter 18 - Microorganisms and Metal Pollutants. En I. L. Pepper, C. P. Gerba, & T. J. Gentry (Eds.), Environmental Microbiology (Third Edition) (pp. 415-439). San Diego: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394626-3.00018-1>
- Richmond, A. (2004). Handbook of Microalgal Culture. En Biotechnology and Applied Phycology. Blackwell Sciense Ltd.
- Rodríguez, J., & Sánchez, J. (2003). Biorremediación: Fundamentos y aspectos microbiológicos. Industria y minería.
- Sala, L., García, S., González, J., Frascaroli, M., Bellú, S., Mangiameli, F., Salas, J. (2010). Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho. Real Sociedad Española de Química, 106(2), 114-120.
- Sameera, V., Naga Deepthi, C., Srinu Babu, G., & Ravi Teja, Y. (2011). Role of Biosorption in Environmental Cleanup. Journal of Microbial & Biochemical Technology, 3(1). <https://doi.org/10.4172/1948-5948.R1-001>
- Sánchez, E., Garza, M., Almaguer, V, Sáenz, I., & Liñán, A. (2008). *Estudio cinético e isotermas de adsorción de Ni (II) y Zn (II) utilizando biomasa del alga *Chlorella* sp. inmovilizada*. Ciencia UANL, 11.
- Hernández-Sampieri R. (2014). Metodología de la Investigación. Sexta Edición. Editorial McGraw-Hill.<https://www.esup.edu.pe/wp->

<content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

- Senthil Kumar, P., & Gunasundari, E. (2018). Bioremediation of Heavy Metals. En S. J. Varjani, A. K. Agarwal, E. Gnansounou, & B. Gurunathan (Eds.), 63 Bioremediation: Applications for Environmental Protection and Management (pp. 165-195). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7485-1_9
- Tantte, J. (2018). Evaluación de la capacidad depuradora de *Chlorella vulgaris* beyerinck inmovilizada en alginato para el tratamiento de aguas residuales. (Tesis de Investigación). Universidad Católica Sedes Sapientiae, Huacho.
- Tejada, C., Núñez, J., & Villabona, Á. (2015). Uso de biomásas para la adsorción de plomo, níquel, mercurio y cromo. ResearchGate. <http://dx.doi.org/10.21774/ingenium.v9i24.520>
- Tejada, C., Villabona, Á., & Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. Tecnológicas, 18(34), 109-1023.
- Thirumagal, J & Panneerselvam, A. (2014). Phycoremediation of malachite green and reduction of physico-chemical parameters from polluted water using *Chlorella pyrenoidosa*. <https://ijret.org/volumes/2014v03/i10/IJRET20140310041.pdf>
- Triviño, N. (2018). Evaluación de remoción de plomo por acción de perlas de alginato con *Chlorella* sp. Inmovilizada. [Universidad Politécnica Salesiana sede Quito]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16552/1/UPS-QT13595.pdf>
- Valdivia, B., Méndez - Zavala, A., Aguilar, C., Montañez, C., & Benavente, J. (2012). Tecnología de cultivo de microalgas en fotobiorreactores. Acta Química Mexicana.
- Valdez, C., Perengüez, Y., Mátyás, B., & Guevara, M. F. (2018). Analysis of removal of cadmium by action of immobilized *Chlorella* sp. micro-algae in alginate beads. F1000Research, 7, 54. <https://doi.org/10.12688/f1000research.13527.1>
- Vargas, M., Cabañas, D., Gamboa, M., & Domínguez, X. (2009). Evaluación de procesos de biosorción con cáscaras de naranja para la eliminación del

- colorante comercial Lanosol Navy CE en aguas residuales de la industria textil. Ingeniería, 13(3), 39-43.
- Vega, F (2019). Uso de microalgas (*Chlorella* sp. y *Scenedesmus* sp.) inmovilizadas con esferas de alginato para la remoción de cromo. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
<https://dspace.pucesi.edu.ec/bitstream/11010/304/1/1.%20TESIS.pdf>
- Vera, L., Uguña, M., García, N., Flores, M., & Vázquez, V. (2016). Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente - PDF. AFINIDAD LXXIII, 573.
<https://docplayer.es/29855522-Eliminacion-de-los-metales-pesados-de-las-aguasresiduales-mineras-utilizando-el-bagazo-de-cana-como-biosorbente.html>
- Verma, R., & Dwivedi, P. (2013). Heavy metal water pollution- A case study. (Recent Research in Science and Technology, Vol. 5.
- Villalobos, N., & Scholz, C. (2013). Microalgas en Estanques de Tilapia y su Potencial Biotecnológico, Ambiental e Industrial. Biocenosis. pp.50-55.
- Vullo, D. (2003). Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. Química Viva, 2(3), 96-99.

ANEXOS

ANEXO 1

Informe inicial del análisis químico del agua de pozo "Los sauces" – Pimentel



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 167036-2022
CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : BARÓN MONJA JAZRO JULINHO
DOMICILIO LEGAL : URBANIZACIÓN MIRAFLORES MZ. G LOTE 49 - CHICLAYO - LAMBAYEQUE - CHICLAYO
SOLICITADO POR : JAZRO JULINHO BARÓN MONJA Y GARY LYNN GALÁN HOLGUÍN
REFERENCIA : ANÁLISIS DE METALES
PROCEDENCIA : POZO LOS SAUCES - PIMENTEL - CHICLAYO
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2022-10-31
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2022-10-31 AL 2022-11-02
FECHA(S) DE MUESTREO : 2022-10-27
MUESTREO POR : EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
METALES TOTALES por ICP-MS: Plata, Aluminio, Arsénico, Bario, Berilio, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Mercurio, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Plomo, Antimonio, Selenio, Talio, Torno, Uranio, Vanadio, Zinc.	EPA Method 200.8 Revisión 5.4 (1994). Determination of trace elements in waters and wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.	ver lista	mg/L
METALES TOTALES por ICP-MS: Litio, Bismuto, Boro, Sodio, Magnesio, Silicio, Silice, Silicato, Fósforo, Potasio, Calcio, Titanio, Hierro, Galio, Germanio, Rubidio, Estroncio, Zirconio, Niobio, Indio, Estaño, Cesio, Lantano, Cerio, Terbio, Lutecio, Tanfallo, Wolframio	EPA Method 200.8, Revisión 5.4, 1994. Validado (Aplicado fuera del alcance), 2019. Determination of trace elements in waters and wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.	ver lista	mg/L

L.C.: límite de cuantificación.

Ing. Marilú Tello Paucar
Director Técnico
C.I.P. N° 219624
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod. FI002 / Versión 10 / FE: 05/2022

CONSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservación del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios: Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ricos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ricos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 1 de 2



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 167036-2022 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua de Pozo		
Matriz analizada	Agua Natural		
Fecha de muestreo	2022-10-27		
Hora de inicio de muestreo (h)	10:30		
Condiciones de la muestra	Refrigerada/ Preservada		
Código del Cliente	01		
Código del Laboratorio	22102520		
ENSAYO ACREDITADO ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)			
Ensayo	L.D.M.	Unidades	Resultados
Metales totales			
Litio (Li)	0.00006	mg/L	0.01687
Berilio (Be)	0.00001	mg/L	<0.00001
Boro (B)	0.0002	mg/L	0.8040
Sodio (Na)	0.003	mg/L	400.855
Magnesio (Mg)	0.004	mg/L	8.256
Aluminio (Al)	0.004	mg/L	0.007
Silicio (Si)	0.004	mg/L	19.480
Silice (SiO ₂)	0.008	mg/L	41.686
Silicato (SiO ₂)	0.01	mg/L	52.79
Fosforo (P)	0.002	mg/L	0.015
Potasio (K)	0.007	mg/L	0.486
Calcio (Ca)	0.004	mg/L	52.288
Titanio (Ti)	0.00005	mg/L	0.00053
Vanadio (V)	0.00004	mg/L	0.01294
Cromo (Cr)	0.0002	mg/L	<0.0002
Manganeso (Mn)	0.00001	mg/L	0.00389
Hierro (Fe)	0.00005	mg/L	0.04662
Cobalto (Co)	0.00006	mg/L	0.000031
Niquel (Ni)	0.00002	mg/L	0.00006
Cobre (Cu)	0.0001	mg/L	0.0004
Zinc (Zn)	0.00005	mg/L	0.00842
Gallio (Ga)	0.00002	mg/L	<0.00002
Germanio (Ge)	0.00002	mg/L	0.00025
Arsenico (As)	0.00001	mg/L	0.01209
Selenio (Se)	0.0002	mg/L	0.0005
Rubidio (Rb)	0.00002	mg/L	0.00062
Estroncio (Sr)	0.00001	mg/L	0.43280
Zirconio (Zr)	0.00002	mg/L	0.00028
Niobio (Nb)	0.00001	mg/L	0.00041
Molibdeno (Mo)	0.00005	mg/L	0.01048
Plata (Ag)	0.00002	mg/L	0.00130
Cadmio (Cd)	0.00002	mg/L	0.00004
Indio (In)	0.00002	mg/L	<0.00002
Estafio (Sn)	0.0004	mg/L	<0.0004
Antimonio (Sb)	0.0001	mg/L	0.0004
Cesio (Cs)	0.00002	mg/L	0.00013
Bario (Ba)	0.00002	mg/L	0.01838
Lantano (La)	0.000002	mg/L	0.000042
Cerio (Ce)	0.000004	mg/L	0.000085
Terbio (Tb)	0.00001	mg/L	<0.00001
Lutecio (Lu)	0.000001	mg/L	0.000001
Tantalio (Ta)	0.00001	mg/L	0.00016
Wolframio (W) Tungsteno	0.00002	mg/L	0.00019
Mercurio (Hg)	0.00002	mg/L	<0.00002
Talio (Tl)	0.00002	mg/L	0.00013
Plomo (Pb)	0.0001	mg/L	0.0009
Bismuto (Bi)	0.000004	mg/L	<0.000004
Torio (Th)	0.000005	mg/L	0.001660
Uranio (U)	0.000002	mg/L	0.012047

L.D.M. : Límite de detección del método

L.D.M.: límite de detección del método.

Lima, 07 de Noviembre del 2022.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod. FI 002 / Versión 10 / FE.: 05/2022

DISCLAIMER: • Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservación de parámetros analizados con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. • Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios: Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Cleofinda Marín de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 2 de 2

ANEXO 2

Informe del análisis químico del agua durante la fase estacionaria del cultivo con *C. vulgaris*



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 167639-2022
CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Subterránea	Agua Subterránea	Agua Subterránea
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural
Fecha de muestreo	2022-10-30	2022-10-30	2022-10-30
Hora de inicio de muestreo (h)	14:00	14:00	14:00
Condiciones de la muestra	Refrigerada/ Preservada	Refrigerada/ Preservada	Refrigerada/ Preservada
Código del Cliente	Tratamiento Control	Tratamiento 01	Tratamiento 02
Código del Laboratorio	22112561	22112562	22112563
ENSAYO ACREDITADO ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)			
Ensayo	L.D.M.	Unidades	Resultados
Metales totales			
Litio (Li)	0.00006	mg/L	0.01757
Berilio (Be)	0.00001	mg/L	<0.00001
Boro (B)	0.0002	mg/L	0.7730
Sodio (Na)	0.003	mg/L	385.500
Magnesio (Mg)	0.004	mg/L	4.872
Aluminio (Al)	0.004	mg/L	0.011
Silicio (Si)	0.004	mg/L	20.211
Silice (SiO ₂)	0.008	mg/L	43.251
Silicato (SiO ₂)	0.01	mg/L	54.77
Fósforo (P)	0.002	mg/L	0.004
Potasio (K)	0.007	mg/L	0.819
Calcio (Ca)	0.004	mg/L	99.786
Titanio (Ti)	0.00005	mg/L	0.00083
Vanadio (V)	0.00004	mg/L	0.00961
Cromo (Cr)	0.0002	mg/L	0.0004
Manganeso (Mn)	0.00001	mg/L	0.00149
Hierro (Fe)	0.00005	mg/L	0.08079
Cobalto (Co)	0.000006	mg/L	0.000070
Níquel (Ni)	0.00002	mg/L	0.00098
Cobre (Cu)	0.0001	mg/L	0.0270
Zinc (Zn)	0.00005	mg/L	0.02915
Gallo (Ga)	0.00002	mg/L	<0.00002
Germanio (Ge)	0.00002	mg/L	0.00003
Arsénico (As)	0.00001	mg/L	0.00090
Selenio (Se)	0.0002	mg/L	0.0004
Rubidio (Rb)	0.00002	mg/L	0.00057
Estroncio (Sr)	0.00001	mg/L	0.08275
Zirconio (Zr)	0.00002	mg/L	0.00006
Niobio (Nb)	0.00001	mg/L	<0.00001
Molibdeno (Mo)	0.00005	mg/L	0.00903
Plata (Ag)	0.00002	mg/L	0.00100
Cadmio (Cd)	0.00002	mg/L	0.00004
Indio (In)	0.00002	mg/L	<0.00002
Estañio (Sn)	0.0004	mg/L	<0.0004
Antimonio (Sb)	0.0001	mg/L	0.0007
Cesio (Cs)	0.00002	mg/L	0.00005
Bario (Ba)	0.00002	mg/L	0.00214
Lantano (La)	0.00002	mg/L	0.000014
Cerio (Ce)	0.00004	mg/L	0.000015
Terbio (Tb)	0.00001	mg/L	<0.00001
Lutecio (Lu)	0.000001	mg/L	<0.000001
Tantalio (Ta)	0.00001	mg/L	<0.00001
Wolframio (W)/ Tungsteno	0.00002	mg/L	0.00003
Mercurio (Hg)	0.00002	mg/L	<0.00002
Talio (Tl)	0.00002	mg/L	<0.00002
Plomo (Pb)	0.0001	mg/L	0.0012
Bismuto (Bi)	0.000004	mg/L	<0.000004
Torio (Th)	0.000005	mg/L	0.000295
Uranio (U)	0.000002	mg/L	0.009534

L.D.M.: límite de detección del método.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

CONSERVACIONES: • Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización expresa de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para los muestreos reportados en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de estabilidad del parámetro analizado en un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio, luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD de presente informe comuníquese al correo laboratorio@sagpera.com. • Cualquier modificación no autorizada, invalida la información del contenido de la presente y la vigencia de este documento es legal y las calidades pueden ser procesadas de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios: Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Río Norte - Lima y Pasaje Chacra Río Norte de Tupper N° 2078 Urb. Chacra Río Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 429-6835 • Web: www.sagpera.com • Contacto Electrónico sagpera@sagpera.com

Página 2 de 3

ANEXO 3

Informe del análisis químico del agua durante la fase final del cultivo con *C. vulgaris*

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 167639-2022
CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Subterránea	Agua Subterránea	Agua Subterránea
Matriz analizada	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural
Fecha de muestreo	2022-11-04	2022-11-04	2022-11-04
Hora de inicio de muestreo (h)	14:00	14:00	14:00
Condiciones de la muestra	Refrigerada/ Preservada	Refrigerada/ Preservada	Refrigerada/ Preservada
Código del Cliente	Tratamiento Control	Tratamiento 01	Tratamiento 02
Código del laboratorio	22112564	22112565	22112566
ENSAYO ACREDITADO ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)			
Ensayo	L.D.M.	Unidades	Resultados
Metales totales			
Litio (Li)	0.00006	mg/L	0.01671
Berilio (Be)	0.00001	mg/L	0.00002
Boro (B)	0.0002	mg/L	0.7383
Sodio (Na)	0.003	mg/L	395.813
Magnesio (Mg)	0.004	mg/L	4.998
Aluminio (Al)	0.004	mg/L	0.011
Silicio (Si)	0.004	mg/L	20.060
Silicio (SiO ₂)	0.008	mg/L	42.929
Silicio (SiO ₂)	0.01	mg/L	54.26
Fósforo (P)	0.002	mg/L	0.067
Potasio (K)	0.007	mg/L	1.123
Calcio (Ca)	0.004	mg/L	116.755
Titanio (Ti)	0.00005	mg/L	0.00107
Vanadio (V)	0.00004	mg/L	0.01011
Cromo (Cr)	0.0002	mg/L	0.0005
Manganeso (Mn)	0.00001	mg/L	0.00229
Hierro (Fe)	0.00005	mg/L	0.01810
Cobalto (Co)	0.000006	mg/L	0.000072
Níquel (Ni)	0.00002	mg/L	0.00111
Cobre (Cu)	0.0001	mg/L	0.0023
Zinc (Zn)	0.00005	mg/L	0.01073
Gallo (Ga)	0.00002	mg/L	0.00006
Germanio (Ge)	0.00002	mg/L	0.00002
Arsenico (As)	0.00001	mg/L	0.01022
Selenio (Se)	0.0002	mg/L	0.0005
Rubidio (Rb)	0.00002	mg/L	0.00008
Estroncio (Sr)	0.00001	mg/L	0.00449
Zirconio (Zr)	0.00002	mg/L	0.00038
Niobio (Nb)	0.00001	mg/L	0.00034
Moibdeno (Mo)	0.00005	mg/L	0.00971
Plata (Ag)	0.00002	mg/L	0.00523
Cadmio (Cd)	0.00002	mg/L	0.00004
Indio (In)	0.00002	mg/L	0.00024
Estallo (Sn)	0.0004	mg/L	<0.0004
Antimonio (Sb)	0.0001	mg/L	0.0007
Cesio (Cs)	0.00002	mg/L	0.00010
Bario (Ba)	0.00002	mg/L	0.00206
Lantano (La)	0.000002	mg/L	0.000059
Cerio (Ce)	0.000004	mg/L	0.000059
Terbio (Tb)	0.00001	mg/L	0.00004
Lutecio (Lu)	0.000001	mg/L	0.000039
Tantalio (Ta)	0.00001	mg/L	0.00012
Wolframio (W) / Tungsteno	0.00002	mg/L	0.00033
Mercurio (Hg)	0.00002	mg/L	0.00003
Talio (Tl)	0.00002	mg/L	0.00067
Plomo (Pb)	0.0001	mg/L	0.0013
Bismuto (Bi)	0.000004	mg/L	0.00260
Torio (Th)	0.000005	mg/L	0.00332
Uranio (U)	0.000002	mg/L	0.01154

L.D.M.: límite de detección del método.

Lima, 07 de Diciembre del 2022.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras recibidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo a periodo de conservación del parámetro analizado con un máximo de 30 días desde la recepción de las muestras al laboratorio, luego serán eliminadas. • Para consultar la AUTENTICIDAD del presente informe comuníquese al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, hace o la nulidad del contenido de la presente y de sus documentos legales y/o cualquier papel por prestación de servicio a su.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacaritas Norte - Lima y Pasaje Clerodada N° 2078 Urb. Chacaritas Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-8905 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico: sagperu@sagperu.com

Página 3 de 3

ANEXO 4

Anova para determinar el efecto de las repeticiones del Arsénico del agua

	F	gl1	gl2	p
ARSENICO	0,225	2	5,97	0,805

ANEXO 5

Anova para determinar el efecto de los tratamientos del Arsénico del agua

	F	gl1	gl2	p
ARSENICO	0,412	1	9,83	0,536

ANEXO 6

Análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos, el tiempo y su interacción sobre el número de cápsulas

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Tratamientos	228,9	2	114,457	299,1	< ,001
Tiempo	657,3	8	82,160	214,7	< ,001
Tratamientos * Tiempo	88,6	16	5,540	14,5	< ,001
Residuos	20,7	54	0,383		

ANEXO 7

Análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos, el tiempo y su interacción en el diámetro de las cápsulas

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Tiempo	8,096	8	1,0120	77,85	< ,001
Tratamientos	9,623	2	4,8117	370,17	< ,001
Tiempo * Tratamientos	0,416	16	0,0260	2,00	0,030
Residuos	0,702	54	0,0130		

ANEXO 8

Análisis de varianza para determinar el efecto de las repeticiones, tiempo y su interacción sobre el crecimiento de C. vulgaris, cultivado con diferentes concentraciones celulares encapsuladas y un control

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Repeticiones	2	0,4	0,211	0,00	0,999
Error	45	17931,6	398,481		
Total	47	17932,1			

ANEXO 9

Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos, tiempo y su interacción en el crecimiento de C. vulgaris

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	1	1,38	1,38	1603,13	0,001
Tiempo	7	3,98	5,68	657,21	0,001
Tratamiento*Tiempo	7	2,05	2,94	34,01	0,001
Error	32	2,76	86		
Total	47	1,80			