



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“Efecto de *Arthrospira platensis* (espirulina) como bioestimulante en *Lactuca sativa* L. (lechuga),
Trujillo - 2024”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autores:

Angie Damary, Aguilar Aspiros
Gianella Nicole, Floríndez Castro

Asesor:

Dr. Julian Ricardo Díaz Ruiz
<https://orcid.org/0000-0002-1870-6648>

Trujillo - Perú

2024

JURADO EVALUADOR


Jurado 1 Presidente(a)	FELIX JAVIER ALVAREZ ALVAREZ	41195899
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	HANIEL JOSUE TORRES JOAQUIN	45772010
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	JULIAN RICARDO DIAZ RUIZ	
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

(Copie y pegue como imagen la hoja del reporte global)

 Página 2 of 81 - Descripción general de Integridad Identificador de la entrega tm:old::1:3133937574

2% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

0%		Fuentes de Internet
0%		Publicaciones
2%		Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Este logro va dedicado a mi madre, Nelly por su apoyo incondicional y su constante motivación, y a mi padre, Gilver, por su paciencia infinita y sus sabios consejos. Gracias, queridos padres, por confiar en mí y por siempre estar en cada capítulo nuevo de mi vida. Su gran amor me inspira a perseguir mis sueños con mucha dedicación.

Gianella Floríndez

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada momento de mi vida, iluminando mi camino incluso en las adversidades.

A mis padres, Maritza y José, por ser mi mayor inspiración para alcanzar mis metas, por su amor incondicional, sus sacrificios y las enseñanzas que han marcado mi vida.

A mi abuelita Valentina, por su amor inmenso, su calidez y la dedicación con la que siempre me ha cuidado.

A Giovanni, por su apoyo constante y por enseñarme que, con esfuerzo y determinación, todo es posible.

Angie Aguilar

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darnos la vida, la salud y la fortaleza necesarias para alcanzar esta meta.

Su presencia ha sido una luz que nos ha guiado a lo largo de este camino.

A nuestros padres, por su amor incondicional y apoyo constante. Gracias por confiar en nosotras, incluso en los momentos más desafiantes, y por ser nuestro pilar más firme.

A nuestros maestros, cuya guía y orientación enriquecieron profundamente nuestro aprendizaje. Gracias por compartir sus conocimientos y por ser una fuente constante de inspiración.

A la familia Cabanillas Ecurra, a Marvin y a todas las personas que nos brindaron su apoyo durante esta etapa. Gracias por ser parte de este capítulo tan significativo en nuestras vidas.

Las autoras

ÍNDICE

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	12
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	12
1.2. ANTECEDENTES.....	14
1.3. JUSTIFICACIÓN	17
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.4.1. Pregunta general.....	18
1.4.2. Preguntas específicas.....	18
1.5. OBJETIVOS	18
1.5.1. Objetivo general	18
1.5.2. Objetivos específicos.....	18
1.6. HIPÓTESIS	19
1.6.1. Hipótesis general	19
1.6.2. Hipótesis específicas	19
1.7. BASES TEÓRICAS.....	19
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....	28
2.1. TIPO DE ESTUDIO	28
2.2. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	28
2.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	30
2.4. ASPECTOS ÉTICOS DE LA INVESTIGACIÓN	30
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	32

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	44
REFERENCIAS	49
ANEXOS	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Clasificación taxonómica de Lactuca sativa L.</i>	20
Tabla 2. <i>Clasificación taxonómica de Spirulina platensis</i>	23
Tabla 3. <i>Análisis de varianza para altura de planta.</i>	32
Tabla 4. <i>Altura de planta con la aplicación de los tratamientos</i>	32
Tabla 5. <i>Análisis de varianza para cantidad de hojas</i>	33
Tabla 6. <i>Cantidad de hojas con la aplicación de los tratamientos</i>	33
Tabla 7. <i>Análisis de varianza para longitud de planta.</i>	34
Tabla 8. <i>Longitud de planta con la aplicación de los tratamientos</i>	34
Tabla 9. <i>Análisis de varianza para peso de biomasa fresca</i>	35
Tabla 10. <i>Peso de biomasa fresca con la aplicación de los tratamientos</i>	35
Tabla 11. <i>Análisis de varianza para longitud de raíces</i>	36
Tabla 12. <i>Longitud de raíces con la aplicación de los tratamientos</i>	36
Tabla 13. <i>Promedio de los parámetros morfológicos según la aplicación de los tratamientos</i>	41
Tabla 14. <i>Parámetros fisicoquímicos del suelo iniciales</i>	43
Tabla 15. <i>Parámetros químicos del suelo tras la aplicación de los tratamiento</i>	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Altura de la planta con los diferentes tratamientos en la semana 10 previa cosecha.</i>	37
Figura 2. <i>Cantidad de hojas con los diferentes tratamientos en la semana 10 previa cosecha.</i>	38
Figura 3. <i>Longitud de planta con los diferentes tratamientos.</i>	38
Figura 4. <i>Peso fresco de biomasa con los diferentes tratamientos.</i>	39
Figura 5. <i>Longitud de raíces con los diferentes tratamientos.</i>	40
Figura 6. <i>Parámetros de crecimiento evaluados con los diferentes tratamientos</i>	40
Figura 7. <i>Porcentaje de eficiencia de los tratamientos</i>	42

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. <i>Ficha de observación para la recolección de datos</i>	68
Anexo 2. <i>Operacionalización de variables.</i>	71
Anexo 3. <i>Matriz de consistencia.</i>	72
Anexo 4. <i>Diseño completamente al azar (DCA).</i>	74
Anexo 5. <i>Colección de fotografías</i>	75
Anexo 6. <i>Resultados de los análisis de suelo.</i>	79
Anexo 7. <i>Información de equipos utilizados</i>	82

RESUMEN

El excesivo uso de fertilizantes inorgánicos en la agricultura ha ocasionado efectos nocivos al ambiente, por ello, se busca desarrollar productos alternativos que ofrezcan nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas sin dañar la calidad del suelo. Por ese motivo, este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de *Arthrospira platensis* como bioestimulante en *Lactuca sativa* L. La investigación realizada es de tipo aplicada, de diseño experimental con un enfoque cuantitativo y alcance correlacional, la muestra estuvo constituida por 16 plántulas de *Lactuca sativa* L. La técnica de recolección de datos fue la observación, teniendo como instrumento la ficha de observación. El experimento se realizó en un ambiente no controlado mediante un diseño completamente al azar (cuatro tratamientos con cuatro repeticiones), las concentraciones utilizadas fueron: 0.00%, 0.04%, 0.08% y 0.12%, los resultados se procesaron mediante análisis estadístico ANOVA, evidenciando que la concentración 0.04% ofrece a la planta mejores resultados morfológicos logrando mayor altura de las hojas (33.35 cm), longitud total (46 cm) y raíces (12.35 cm), cantidad de hojas (22), y peso de biomasa total (148.68 g). De esta manera se concluye que el uso de bioestimulante a base de *Arthrospira platensis* otorga efectos significativos en el crecimiento de *Lactuca sativa* L..

PALABRAS CLAVES: *Arthrospira platensis*, *Lactuca sativa* L., bioestimulante, cambios morfológicos, concentraciones

ABSTRACT

The excessive use of inorganic fertilizers in agriculture has caused harmful effects to the environment, therefore, we seek to develop alternative products that offer nutrients necessary for the development of plants without damaging the quality of the soil. For this reason, this study aimed to evaluate the effect of *Arthrospira platensis* as a biostimulant on *Lactuca sativa L.* The research carried out is of an applied type, with an experimental design with a quantitative approach and correlational scope, the sample consisted of 16 *Lactuca sativa L.* seedlings. The data collection technique was observation, using the observation sheet as an instrument. The experiment was carried out in an uncontrolled environment using a completely randomized design (four treatments with four repetitions), the concentrations used were: 0.00%, 0.04%, 0.08% and 0.12%, the results were processed through ANOVA statistical analysis, evidencing that the 0.04% concentration offers the plant better morphological results, achieving greater leaf height (33.35 cm), total length (46 cm) and roots (12.35 cm), number of leaves (22), and total biomass weight (148.68 gr). In this way, it is concluded that the use of biostimulant based on *Arthrospira platensis* provides significant effects on the growth of *Lactuca sativa L.*

KEYWORDS:

Arthrospira platensis, *Lactuca sativa L.*, biostimulant, morphological changes, concentrations

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En los últimos años, el mundo ha venido enfrentando las devastadoras consecuencias del uso indiscriminado de fertilizantes químicos, que con el pasar del tiempo han impactado negativamente en el ambiente y la salud de los seres vivos (Yapa et al., 2022). Se estima que para el año 2050 el crecimiento agrícola sería de entre un 60 a 70 % (FAO, 2021). Para poder satisfacer las necesidades alimentarias de una población continuamente creciente que alcanzaría los 9700 millones de personas en el mundo (Banco mundial, 2023). Por consiguiente, se emplearían fertilizantes en exorbitantes cantidades para cubrir dicha demanda en menor tiempo (PNUMA, 2022).

Un claro ejemplo de esto es el continente asiático, la FAO, (2021) afirma que este continente en 2020 logró alcanzar cifras de aproximadamente 110 millones de toneladas solo en consumo de fertilizantes inorgánicos. Esta suma representa un aproximado de 32 millones de ha de suelo que se expondrán a acidificación, erosión, salinidad y pérdida de nutrientes, consecuencia de su aplicación indiscriminada (ONU, 2022). Por otro lado, Sudamérica es un importante consumidor de fertilizantes inorgánicos, los países que sobresalen en el consumo de fertilizantes por kg. ha⁻¹ cultivable son: Brasil, Argentina, Colombia, Chile y Perú (FAO, 2024).

El Perú es un país que importa el 89.5% de los fertilizantes utilizados para sus campañas agrícolas (MINAGRI, 2022). Desde la coyuntura vivida a causa del Covid-19 durante los años 2020 – 2021 y el comienzo de confrontación entre Rusia y Ucrania en 2022, se observaron variaciones significativas en los precios de los fertilizantes a nivel nacional. En momentos críticos, estos precios se incrementaron hasta cinco veces su valor habitual, lo que resultó en

un aumento del costo de la canasta básica familiar (Indecopi, 2023). A nivel regional, La Libertad sobresale ampliamente en el sector agrícola, por ello, también se ve expuesto a los riesgos económicos y las consecuencias del uso inadecuado de fertilizantes inorgánicos (BCRP, 2023).

Se considera que los bioestimulantes y biofertilizantes son alternativas sostenibles y rentables económicamente en comparación con los fertilizantes químicos (Suchithra et al., 2022). Los bioestimulantes son productos compuestos de sustancias o microorganismos que facilitan los procesos naturales de las plantas y el suelo (IFA, 2024). Recientemente, las cianobacterias y microalgas han ganado atención debido a su alta concentración de nutrientes y metabolitos bioactivos que benefician el crecimiento vegetal y mejoran la resistencia al estrés tanto biótico como abiótico (Arahou et al., 2023) posicionándose como una excelente materia prima para la elaboración de bioestimulantes.

La *Arthrospira platensis* (Espirulina), una cianobacteria comúnmente conocida como microalga verde-azulada, posee un potencial notable en la mejora de la calidad del suelo, la aceleración del crecimiento vegetal, el fortalecimiento ante el estrés y la reducción del impacto ambiental en la agricultura (Chabili et al., 2024). Tanto en su forma fresca como seca, esta pequeña especie puede ser aprovechada para la elaboración de bioestimulantes agrícolas, aplicándose mediante métodos como la aspersión foliar, el riego o la inmersión de semillas antes de la siembra (Deepika y Mubarak, 2020). Estudios recientes han corroborado los beneficios de esta práctica, observando mejoras sustanciales en las hortalizas, incluyendo un aumento en la cantidad de hojas, un desarrollo radicular más robusto, así como un incremento en el peso y la altura de las mismas (Miranda et al., 2024).

La *Lactuca sativa L.* (lechuga) es una de las hortalizas frescas más significativas en la agricultura, a menudo requiriendo aplicaciones de fertilizantes químicos para mejorar su calidad y aumentar la productividad (Santoro et al., 2023). Debido a su rápido tiempo de producción, la lechuga es un sujeto popular para estudios científicos (Melini et al., 2023). Algunos de los parámetros fisiológicos comúnmente medidos en estos estudios incluyen la longitud de los brotes, la extensión de las raíces, el peso y el número de hojas, así como el peso total de la planta (Puglisi et al., 2020). Estas mediciones proporcionan información valiosa sobre el crecimiento y desarrollo de la planta, ayudando a comprender mejor cómo responder a diferentes prácticas de cultivo y tratamientos de fertilización (Xu et al., 2024).

1.2. Antecedentes

En el estudio de Seğmen y Özdamar, (2023) desarrollado en Turquía, se investigó el efecto de la aplicación de pulverización foliar de diferentes concentraciones de *Arthrospira platensis* en el crecimiento y desarrollo del *Capsicum annuum* (Pimiento), el biostimulante se preparó a base de polvo de *Arthrospira platensis* diluida con agua destilada, la aplicación llevada a cabo fue de 3 veces en periodos de 21 días posterior a plantación. Logrando obtener resultados favorables, con la concentración de 0.2% (m/v) se obtuvo un aumento de frutos y clorofila, por otra parte, con la concentración del 0.4% (m/v) se logró el peso más alto (26,50 g) y el ancho (23,52 mm) de fruto, mientras que la longitud del fruto más larga (21,55 cm) se logró con la concentración del 0.6% (m/v).

De igual manera en el campus de la universidad de Irak Al-Khafaji y Al-jubouri, (2023) evaluaron el crecimiento y calidad de *Lactuca sativa L.* luego de la aplicación del extracto acuoso de *Arthrospira platensis*, este se aplicó foliarmente al 0.15% (m/v). Los resultados mostraron un aumento significativo en la altura de la planta (44.33 cm), el tamaño de las hojas

exteriores (24), y el peso total de la planta (916.7 g) en comparación con el control. En la investigación de Shedeed et al. (2022) en Egipto estudio el crecimiento el rendimiento y la capacidad fotosintética el extracto de *Spirulina platensis* en *Lupinus luteus* (Tremosilla) a diferentes concentraciones 0,25% (v/m); 0,5% (v/m); y 1,0% (v/m). Obteniendo como resultados que la más baja 0,25% fue la más favorable en la mejora de todas las métricas de crecimiento y el nivel fitohormona. Por otro lado, con la concentración 0,25%, la capacidad fotosintética, el contenido de nutrientes mejoraron. Sin embargo, el crecimiento se inhibió significativamente en la concentración más alta (1,0%).

Por otro lado, Al Dayel y El Sherifl., (2022) utilizaron polvo de *Arthrospira platensis* de la empresa Earth Circle Organics en EE. UU. Al aplicar este polvo al 0.2% (m/v) en el cultivo de *Curcuma longa* (cúrcuma), lograron resultados positivos en el crecimiento y desarrollo de los rizomas. Nogueira et al., (2022) utilizaron *Arthrospira platensis* obtenida de una empresa llamada "JH" en Brasil, diluida en agua, y observaron efectos positivos en el crecimiento de la planta de *Anacardium occidentale* (anacardo) las concentraciones de 0.04% (m/v) y 0.08% (m/v) promovieron un aumento en la longitud de la raíz, la longitud de la parte aérea, el número de hojas, el diámetro y el área foliar. La investigación se llevó a cabo con un diseño completamente al azar, empleando un esquema factorial de 4x2 con 3 repeticiones, totalizando 24 unidades experimentales.

En Egipto, Ismaiel et al (2022) estudió el crecimiento y las propiedades del suelo luego de la aplicación de *Spirulina platensis* en *Pisum sativum* L. (Arvejas) cultivadas en un suelo arcilloso-limoso. Las arvejas mostraron mejoras significativas en su longitud de los brotes, el número de hojas, el área foliar y el número de ramas, por otro lado, también mejoraron las propiedades fisicoquímicas del suelo como el aumento de ph a un suelo ácido 6,8 a un suelo alcalino 7,6. Por otro lado Ghallab et al., (2024) utilizó *Arthrospira platensis* en 4 genotipos de

cañas de azúcar al concentraciones de 0%, 0,1%, 0,2% y 0,3%, el estimulante fue preparado con el extracto de Espirulina obtenida del centro Nacional de Investigación en Egipto, el estimulante fue añadido de manera foliar tres veces después de la siembra a los 60, 90 y 120 días. Los resultados que obtuvieron en los 4 genotipos mostraron que los mejores resultados en longitud de tallo, número y diámetro de tallo se obtuvieron con la concentración de 0.2%.

En Sudamérica, Coronel (2022) en su tesis sobre el efecto del uso de *Arthrospira platensis* en cultivos de Lechuga, comparó tres tipos de biofertilizantes orgánicos: Biol, Espirulina y Sumakrop (extracto de algas). Dicho estudio se llevó a cabo en 12 predios de comunidades campesinas de Fajardo, en la provincia de Pichincha, en Ecuador. Tras realizar análisis morfológicos, nutricionales y fisiológicos se reveló que el tratamiento con *Spirulina platensis* en concentración 0.25% (v/v) fue el que arrojó mejores resultados en todas las variables de estudio. Los valores aproximados para las características morfológicas fueron: Peso fresco foliar de 783.50 gr; peso fresco de raíz 24.06 gr; longitud de raíz de 21.30 cm; área foliar de 718.92 cm². Para los parámetros fisiológicos los resultados obtenidos fueron: Nivel de NO₃ 375 mg/L, materia orgánica 8.39 %, proteína 2.104 %, fibra 67.15 %. Para evaluar la significancia estadística de estos resultados, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software Infostat, empleando un diseño completamente aleatorio.

Dineshkumar et al. (2020), llevaron a cabo su experimento en la Universidad Annamalai, India. Utilizaron extracto de biofertilizantes a base de *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris* para la mejora en el crecimiento del frijol verde (*Vigna radiata* L.). Los tratamientos denominados I y II para *Chlorella vulgaris* y *Spirulina platensis* respectivamente, fueron aplicados en concentraciones de 25% (T1), 50% (T2), 75% (T3) y 100% (T4) en ambos casos, dichas concentraciones fueron aplicadas mediante pulverización foliar en tres ocasiones, la primera durante la primera semana a partir de la siembra, la segunda durante la primera

semana del segundo mes y la tercera, durante la última semana del segundo mes. Finalmente se obtuvo como resultado que la aplicación de *Spirulina platensis*, en sus distintas concentraciones favorece significativamente en los parámetros de crecimiento del frijol verde, incluyendo la longitud de raíz, crecimiento de brotes y peso de la planta.

1.3. Justificación

En tal sentido, debido a la necesidad de satisfacer las demandas alimentarias de la población, se ha recurrido frecuentemente al uso indiscriminado de fertilizantes químicos en la producción agrícola, lo que a largo plazo deteriora la estructura y calidad de los suelos (Villena et al., 2022). Por ello, la presente investigación se orienta hacia el desarrollo de una alternativa sostenible que permita a los productores agrícolas mantener un óptimo rendimiento de los cultivos sin comprometer la calidad del suelo. Particularmente, el cultivo de lechuga fertilizada con espirulina representa una oportunidad significativa desde el punto de vista económico, dado que su implementación no solo reduciría la dependencia de fertilizantes químicos costosos, sino que también optimizaría el rendimiento y calidad del producto final, incrementando su valor comercial. Además, la espirulina es un recurso de fácil producción y bajo impacto ambiental, lo que facilita su adopción en el sector agrícola sin incurrir en elevados costos operativos.

Esta investigación es viable debido al nivel manejable de complejidad que implica su ejecución. Además, permite una estimación precisa del tiempo y los costos de los recursos necesarios para su desarrollo. Como resultado, se busca generar conocimientos sobre un método alternativo para mejorar la producción agrícola sin causar contaminación en los suelos, contribuyendo así a una agricultura más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

1.4. Formulación del problema

1.4.1. Pregunta general

¿Qué efecto tiene el uso de *Arthrospira platensis* como bioestimulante en el cultivo de *Lactuca sativa L.*, Trujillo – 2024?

1.4.2. Preguntas específicas.

- ¿Cuáles son los parámetros de crecimiento de *Lactuca sativa L.* L luego de la aplicación de *Arthrospira platensis* como biofertilizan?
- ¿Cuál es la concentración adecuada de *Arthrospira platensis* como bioestimulante en el cultivo de *Lactuca sativa L.*?
- ¿Cuáles son las propiedades químicas del suelo pre y post tratamiento con el bioestimulante de *Arthrospira platensis*?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la *Arthrospira platensis* como bioestimulante en el cultivo de *Lactuca sativa L.*, Trujillo – 2024

1.5.2. Objetivos específicos

- Identificar los parámetros de crecimiento de *Lactuca sativa L.* L., altura de planta, largo de planta y raíz, cantidad de hojas y peso de planta.
- Determinar la concentración adecuada de *Arthrospira platensis* como bioestimulante.
- Analizar las propiedades químicas: pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio, del suelo pre y post tratamiento.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

El bioestimulante a base *Arthrospira platensis* tiene efectos significativos en el crecimiento de *Lactuca sativa* L.

1.6.2. Hipótesis específicas

- Se identificó mejoras en los parámetros de crecimiento de *Lactuca sativa* L. L., altura de planta, largo de planta y raíz, cantidad de hojas y peso de planta.
- La contracción 0.04% de *Arthrospira platensis* como bioestimulante brindó beneficios prometedores al cultivo de lechuga.
- Los análisis de suelo post tratamiento mostraron resultados favorables.

1.7. Bases Teóricas

1.7.1. *Lactuca sativa* L.

1.7.1.1. Origen

El origen de la *Lactuca sativa* L. se remonta a épocas antiguas, presuntamente a culturas como la egipcia, griega, sumeria y romana, extendiéndose aceleradamente en la región mediterránea y al oeste de Asia (FEN, 2020). El género *Lactuca* comprende alrededor de 100 especies, distribuidas de la siguiente manera: 10 en América del Norte, 17 en Europa, 33 en África Oriental y cerca de 40 en Asia (Sepúlveda, 2021). Su clasificación taxonómica está comprendida como a continuación lo detalla Mitma, (2021):

Tabla 1.

Clasificación taxonómica de la Lactuca sativa L.

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Asterales</i>
Familia	<i>Asteraceae</i>
Subfamilia	<i>Cichorioideae</i>
Tribu	<i>Lactuceae</i>
Género	<i>Lactuca</i>
Especie	<i>Lactuca sativa L.</i>

1.7.1.2. Morfología

La *Lactuca sativa L.* habitualmente desarrolla un sistema radicular escasamente profundo, que puede medir hasta 30 centímetros de longitud (Martínez, 2019) lo cual se ve influenciado por el mecanismo de siembra y germinación durante las primeras semanas de desarrollo de la plántula. Un tallo corto cuya medida oscila entre 2 a 5 centímetros (Mitma, 2021), cuyo grosor depende de la cantidad de hojas que desarrollará la lechuga. Las hojas crecen dispuestas en forma de roseta, con cantidades, medidas y tonalidades diversas que pueden variar entre colores verde, rojo y púrpura de acuerdo a la variedad de la lechuga (Villacrés, 2023).

La variedad utilizada en el desarrollo de esta investigación fue la lechuga Black Seeded Simpson (*Lactuca sativa L. var. crispata*), o comúnmente conocida

como lechuga crespa (Germisemillas, 2023); esta variación de lechuga presenta hojas rizadas y sueltas (no forman cabeza), de un color verde claro en las hojas maduras (externas) y un color amarillo verdoso en las hojas tiernas (internas). Al final del ciclo de vida de la lechuga, ocurre la fase reproductiva o también llamada la etapa de espigado, en donde la planta desarrolla un tallo floral, lo cual es indeseable para la comercialización de la lechuga, esta etapa puede ser desencadenada por factores como estrés hídrico y condiciones ambientales (Ildikó et al, 2023).

1.7.1.3. Condiciones de crecimiento

Los tipos de suelo óptimos para el crecimiento de la lechuga son los suelos franco-arenosos/limosos, enriquecidos con nitrógeno y óptimo contenido de materia orgánica. Así mismo, el pH adecuado fluctúa entre 5.5 a 6.7, este es un factor crucial para el adecuado crecimiento de las plántulas de lechuga, complementado por un sistema de drenaje eficiente que prevenga los empozamientos de agua (Paucar, 2022), los cuales son perjudiciales para el correcto desarrollo de la planta. Por otro lado, la temperatura debe mantenerse en un rango promedio de 15 °C a 18 °C (Sepúlveda, 2021) ya que las temperaturas fuera del intervalo mencionado interfieren de manera negativa en el crecimiento adecuado de las plántulas. De igual manera, los fotoperiodos óptimos de luminosidad se comprenden entre 16 y 18 horas al día, dado que mejora el crecimiento de las plantas de *Lactuca sativa L.* (Ildikó et al, 2023).

Durante la etapa experimental de esta investigación, se garantizó que las condiciones de crecimiento de las plántulas de lechuga fueran las más adecuadas

conforme a lo indicado en las fuentes consultadas. La siembra se llevó a cabo en un suelo de tipo franco limoso, con un pH de 6.32 y un nivel de materia orgánica del 2.26%, así mismo, las condiciones climáticas de las temporadas de siembra, crecimiento y cosecha se encontraron dentro del rango de temperatura óptima para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

1.7.1.4. Valor nutricional

La *Lactuca sativa L.*, es un alimento de bajo contenido calórico, que aporta entre 17 a 19 kcal por cada 100 gramos (FEN, 2020) por ello su consumo es muy demandado. Además, es reconocida por su excelente fuente de nutrientes, entre las que destacan el hierro, proteínas y vitaminas A, K y C, así mismo, en ejemplares con tonos de hoja más oscura se concentra la presencia de betacaroteno y provitamina A (Melini et al, 2023). Según Paucar, (2022), el consumo de lechuga fresca favorece a la hidratación del organismo debido al alto porcentaje de agua contenido en la planta, que oscila entre el 90% y el 95%.

1.7.2. *Spirulina platensis*

1.7.2.1. Clasificación y características

Esta cianobacteria procariota filamentosa, posee forma helicoidal, presenta un color verde azulada, dado que cuenta con pigmentos como la clorofila y la ficocianina. También ella tiene la capacidad fotosintética, es por ello que continuamente se confunden con un alga (Cruz, 2022).

Según Fernandez et al., (2019) la *Spirulina platensis* tiene la siguiente clasificación:

Tabla 2.

Clasificación taxonómica de la Spirulina platensis

Reino	<i>Bacteria</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Filo	<i>Cyanobacteria</i>
Clase	<i>Cyanophyceae</i>
Orden	<i>Oscillatoriales</i>
Familia	<i>Microcoleaceae</i>
Género	<i>Arthrospira</i>
Especie	<i>Arthrospira platensis</i>

1.7.2.2. Origen

El origen evolutivo de las cianobacterias se remonta hace millones de años en los primeros periodos de la tierra (Petrescu, & Ungureanu, 2022). Posterior a ello, los Aztecas la recolectaban del lago Texcoco, ellos la conocían como Tecuitlatl que alude a excremento de piedras, debido a que era como fango verde azulado que brotaba de las aguas, ellos la dejaban secar al sol para ser almacenada y consumirla posteriormente, la especie encontrada en el lago fue *Arthrospira máxima* (Pérez & Arredondo, 2023). Al otro lado del mundo en África en el lago Chad, los Kanembous la recolectaban *Arthrospira platensis* para su consumo en escasez de alimentos, ellos la llamaban Dihé (Malpartida et al, 2022) Estos lagos se caracterizan por su alcalinidad, salinidad y temperaturas favorables para el desarrollo de la *Arthrospira*.

1.7.2.3. Usos

Actualmente tiene diferentes utilidades. Es considerado como un superalimento ya que es muy versátil y rico en proteínas, cuenta 60 - 70 % de su peso de proteínas, además de vitaminas y minerales (Wang et al, 2023). A su vez, se utiliza el extracto o el polvo en la industria cosmética para el mejoramiento de la piel gracias a sus propiedades bioactivas (Ragusa et al., 2021). Asimismo, pueden ser utilizados para generar energía como precursores de biocombustibles ejemplo de ello el biodiesel (Muños et al, 2021). Además, pueden ayudar en la biorremediación de aguas con metales (Chulee et al, 2022). Agregando a lo anterior también puede reducir la contaminación agropecuaria (Vargas & Albarracín, 2022). Ahora bien, también, puede servir de base para la elaboración de biofertilizantes y bioestimulantes, ya que además de mejorar las condiciones del suelo, aportan en la producción de hormonas vegetales que contribuyen a mejorar el crecimiento de las plantas (Kumar & Singh, 2020).

1.7.2.4. *Arthrospira platensis* en la agricultura

Las cianobacterias se han convertido en una alternativa ecológica para la agricultura debido a sus grandes propiedades que benefician los cultivos (Marin et al, 2024). La *Arthrospira platensis* posee alto contenido de proteínas, las cuales brindan aminoácidos esenciales como la leucina, lisina y metionina, las cuales son absorbidos por los estomas y cutículas de las hojas de las plantas, estas estimulan el crecimiento y las protegen contra sequías salinidad y plagas (Nuñez et al., 2020). También al momento de descomponerse la biomasa de *Arthrospira platensis* de una manera gradual brinda macronutrientes y micronutrientes al suelo, como nitrógeno, fósforo, potasio entre otros (López et al., 2020).

Por otro lado, *Arthrospira platensis*, promueve el desarrollo de los tejidos vegetales en las plantas las cuales inducen al crecimiento de las mismas gracias a los compuestos bioactivos que poseen (Frassine et al., 2023). Esta contiene pigmentos como la clorofila que ayudan a los cloroplastos contra factores ambientales externos como la sequía salinidad y luz intensa; además promueven ATP y NADPH en la fotosíntesis para la producción de energía favoreciendo al crecimiento y el desarrollo de la planta (Jiménez, et al., 2024). De igual forma, contienen enzimas vegetales antioxidantes como los carotenoides que las protegen del estrés por metales pesados Cd y Pb ayudando a inhibir sus efectos y toxicidad (Gharib & Ahmed, 2023).

Según Xu et al., (2024) la *Arthrospira platensis* también protege a los cultivos de los daños oxidativos que puede producir el estrés salino, la cianobacteria reduce la acumulación de sodio, y fomentando la absorción de potasio para el equilibrio iónico. De la misma manera, la espirulina mejora la resistencia al estrés hídrico ya que posee algunas fitohormonas como auxinas y citoquininas, que ayudan a que las raíces se adapten y puedan retener más agua (Elnajar et al., 2024). También brinda protección contra patógenos a las plantas ya que poseen propiedades biocidas que inhibe las plagas (Pérez et al., 2020). Asimismo, esta cianobacteria cambia el pH del suelo debido a que es una especie alcalófila, lo cual ayuda contra la acidificación de los suelos (Guo et al., 2020).

1.7.2.5. Bioestimulante

Su procedencia se remonta a épocas antiguas, pero sin la denominación bioestimulante, el término se empezó a utilizar en los años 90, estos se elaboran a base de componentes naturales capaces de brindar mejoras a la planta y suelo (Salazar et al, 2021). Actualmente es considerada como una práctica novedosa y

respetuosa con el ambiente estas se pueden obtener de sustancias orgánicas, ácidos húmicos, extracto de algas y microorganismos, se aplica en cualquier etapa del desarrollo de los cultivos (Chamorro, 2024).

Los bioestimulantes favorecen el metabolismo y la fisiología de las plantas, asimismo brinda mayor accesibilidad de macronutrientes y micronutrientes en el suelo, son capaces de promover la capacidad microbiana mejorando así la salud del suelo (Rodríguez, et al., 2023). Por otro lado, protegen a los cultivos de las sequías, salinidad en los suelos, exposición a temperaturas muy frías o calientes, (Sun & Shahrajabian, 2023). En pocas palabras los biofertilizantes crean una barrera protectora contra los factores bióticos como abióticos que las plantas enfrentan hoy en día (Rodríguez, et al., 2021).

1.7.2.6. Formas de aplicación del bioestimulante

Tiene diversas formas de aplicación y en diferentes fases de desarrollo vegetativo. Se puede aplicar como recubrimiento de semillas para fortalecer el crecimiento radicular, (Fonseca et al., 2022). También se puede aplicar de manera foliar a las plántulas lo que puede ayudar en la fotosíntesis de las mismas (Supraja et al., 2020). De la misma manera se puede aplicar al suelo directamente que ayuda con la actividad microbiana y la absorción de nutrientes y finalmente como fertirrigación que se puede aplicar directamente a las raíces. El bioestimulante se puede combinar con otras cianobacterias o productos para una mejor eficiencia (Germin et al. 2022).

1.7.2.7. Aspersión foliar

Es una técnica comúnmente empleada en los cultivos debido a que tienen una respuesta rápida a los nutrientes a comparación con otros tratamientos (Parmar et al.,

2023). Esta técnica ayuda a poder complementar los nutrientes adquiridos directamente del suelo a través de las hojas de las plantas (Ishfaq et al., 2022). La aspersión o pulverización promueve que las plantas aprovechen mejor el agua disponible y también mejoran el desempeño del funcionamiento estomático, las cuales son pequeñas aberturas en las hojas las cuales son responsables del intercambio de gases y la regulación del agua (Arahou et al., 2023).

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de estudio

Esta investigación presentó un enfoque cuantitativo, ya que mediante la medición numérica y los análisis estadísticos se logró dar respuesta a la hipótesis (Samaniego, 2022), además, la finalidad de esta investigación fue de tipo aplicada, dado que, se sustentó en resolver problemas para obtener resultados a través de hallazgos planteados como objetivos (Arias y Covinos, 2021). Por otro lado, tuvo un diseño experimental y su finalidad fue manipular la variable independiente de la investigación. (Hernández y Mendoza, 2018), así mismo este estudio presentó un alcance correlacional, puesto que, su propósito fue conocer el nivel de relación presente entre las variables (Arias, 2020).

2.2. Población, muestra y muestreo

La población estuvo constituida por 100 plántulas de *Lactuca sativa* L. con aproximadamente 20 días, estas fueron obtenidas del vivero Hortifrutplant S.A.C. ubicado en la campiña de Moche, en la ciudad de Trujillo, departamento de La Libertad, Perú. La muestra fue seleccionada siguiendo criterios morfológicos, como el vigor de la planta y tamaño homogéneo usando el muestreo no probabilístico intensional, siendo compuesta por 16 plantas las que se sembraron en un jardín de vivienda ubicada en el distrito de La Esperanza, Trujillo (coordenadas), en un área de 3 m² con suelo franco limoso. Se plantaron a una profundidad de 3 cm, respetando una distancia de 25 cm entre cada una, y finalmente se regaron con 50 ml de bioestimulante según las concentraciones correspondientes.

Para iniciar la parte experimental se estableció un diseño completamente aleatorio (Figura 1), con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones cada uno (n=16). Los tratamientos 1, 2, 3 y 4 estuvieron constituidos por las concentraciones 0%, 0.04%, 0.08%, y 0.12% (m/v)

respectivamente, se utilizó biomasa deshidratada de *Arthrospira platensis* obtenida a través de Biotecnologías del Sur S.A.C., empresa que opera bajo el nombre comercial de Inti Pacha Microalgas en el departamento de Ica, Perú, la microalga deshidratada fue diluida con agua potable para la elaboración del bioestimulante, este se aplicó por aspersión foliar de manera manual con un atomizador. Los tratamientos comenzaron a aplicarse una vez sembradas las plántulas, posterior a ella se volvió a aplicar a los 20 y 40 días después de la siembra (DDS) fue aplicado por las mañanas, utilizando un volumen de aproximadamente 50 ml en cada aplicación.

Se recolectaron los datos semanalmente por 10 semanas, a partir de la plantación de las plántulas. Con ayuda de una regla graduada se midió la altura tomando como referencia el suelo de donde empiezan a brotar y se contabilizó de manera directa el número de hojas, plasmando las medidas y conteo en una ficha de registro, y en una guía de observación. Al finalizar el experimento el día 50, las plantas fueron cosechadas y llevadas al laboratorio. Se pesó en una balanza analítica (Ohaus®) la biomasa fresca de la planta en su totalidad, posterior a ello con una regla graduada de 60cm se midió la longitud total de la planta y raíces.

Por otro lado, para realizar el análisis de suelo pre tratamiento, se recolecto 500g de muestra a una profundidad de 0-15 cm, esta fue almacenada en una bolsa herméticas para posterior análisis. Luego de aplicar el biostimulate a base de *Arthrospira platensis* se recolecto muestras de suelo para el análisis pos tratamiento, las muestras fueron extraídas a una profundidad de 0-15 cm, se reunió una submuestra representativa de las 4 repeticiones de cada concentración 0.04%, 0.08% y 0.12%, incluyendo del control 0.00%. Posterior a ello se mezclaron para obtener solo 1 muestra por cada concentración, estas muestras pesaron 500g y fueron almacenadas en bolsas de plástico, para ser llevadas análisis correspondiente.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

La técnica que fue utilizada en esta investigación para la recolección de datos fue la observación, según Carrasco, (2023) esta técnica permitió obtener información a través del sentido de la vista, para observar constantemente al objeto de estudio, de esta manera lograr medir y anotar sus características. Además, esta técnica emplea, fichas de observación los cuales permiten anotar de manera sistemática los cambios que tiene el objeto de estudio a lo largo del tiempo (Tongo, 2021). Una vez recolectada la información se utilizó el software ANOVA para realizar el análisis estadístico, posterior a ello se evaluó las comparaciones de medias utilizamos la prueba de Tukey y el nivel de significación fue de $p\text{-valor} = 0.05$.

Por otro lado, el presente estudio cuenta con el respaldo de los docentes de la Universidad Privada del Norte (UPN), quienes dieron validez al instrumento utilizado durante el desarrollo de la investigación, dichos profesionales cuentan con amplia experiencia en el tema de estudio y complementarios que favorecieron al enriquecimiento de la investigación. Además, los análisis fueron llevados a cabo en laboratorios especializados, estos fueron: Laboratorio Físico Químico Ambiental Perú S.A.C., Laboratorio de Análisis Instrumental y Laboratorio de Microbiología y Parasitología, estos dos últimos pertenecientes a la facultad de ingeniería de la Universidad Privada del Norte, sede San Isidro – Trujillo.

2.4. Aspectos éticos de la investigación

Esta investigación valoró el trabajo de distintos autores y su aporte en el campo científico educativo, asegurándose que cada una de las fuentes consultadas y consideradas, fueron citadas y referenciadas acorde a la normativa y formato estipulado por la American Psychological Association (APA 7ma edición). Del mismo modo, se siguieron las pautas dispuestas en el Código de Ética del Investigador Científico UPN, cuyo objetivo es fortalecer los principios éticos de los investigadores durante el desarrollo de la investigación. Es

fundamental destacar la importancia del respeto hacia el trabajo de otros autores para prevenir el plagio, ya que dicha práctica continúa siendo un problema significativo en la actualidad. Así mismo, se consideró también el respeto hacia el ambiente y las responsabilidades de las personas hacia otros seres vivos y los ecosistemas, con el fin de evitar causar daños que puedan afectar la sostenibilidad de los medios en épocas futuras. Por último, cabe destacar que el desarrollo de la investigación se llevó a cabo en un ambiente propio, el cual fue adaptado para el cultivo.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Con el fin de dar respuesta al objetivo general, se inició determinando si existe efecto significativo en el uso de *Arthrospira platensis* como bioestimulante en el crecimiento de *Lactuca sativa L.*, para ello se comenzó analizando la varianza de los parámetros morfológicos.

Tabla 3.

Análisis de varianza para altura de planta.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Altura de planta	16	0.84	0.82	2.82	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12.67	3	4.23	24.24	<0.0001
Tratamientos	12.67	3	4.23	24.24	<0.0001
Error	2.10	12	0.17		
Total	14.80	15			

Nota: Resultados ANOVA de altura de la planta (cm).

En la tabla 3, se registraron las alturas *Lactuca sativa L.* tras la aplicación de *Arthrospira platensis* durante las 10 semanas. Permitiendo presentar el análisis de varianza el cual nos permitirá seleccionar la hipótesis. Debido a que el p-valor es menor de 0.05 permite corroborar la hipótesis, luego de la aplicación de *Arthrospira platensis* como bioestimulante existen efectos significativos en el crecimiento de *Lactuca sativa L.*

Tabla 4.

Altura de planta con la aplicación de los tratamientos.

Tratamientos	Medias	n	E.E.	Agrupación
Tratamiento 2 (0.04%)	15.61	4	0.21	A
Tratamiento 4 (0.12%)	15.39	4	0.21	A
Tratamiento 3 (0.08%)	14.97	4	0.21	A
Tratamiento 1 (0.00%)	13.34	4	0.21	B

Nota. Diferencia de medias Tukey (DMS= 0.87751, Error: 0.05).

En la tabla 4 se evidencia que los tratamientos 2, 3 y 4 que contenían concentraciones al 0.04%, 0.08, y 0.12% respectivamente de *Arthrospira platensis*, sí obtuvieron cambios estadísticamente diferentes al tratamiento 1 que no contenía ninguna concentración de *Arthrospira platensis*.

Tabla 5.

Análisis de varianza para cantidad de hojas.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Cantidad de hojas	16	0.86	0.83	2.60	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.26	3	1.42	25.13	<0.0001
Tratamientos	4.26	3	1.42	25.13	<0.0001
Error	0.68	12	0.06		
Total	4.93	15			

Nota: Resultados ANOVA de cantidad de hojas.

Observamos en la tabla 5, que sí existen efectos significativos entre la cantidad de hojas de las plantas tras la aplicar los tratamientos.

Tabla 6.

Cantidad de hojas con la aplicación de los tratamientos.

Tratamientos	Medias	n	E.E.	Agrupación
Tratamiento 2 (0.04%)	9.65	4	0.12	A
Tratamiento 3 (0.08%)	9.35	4	0.12	A
Tratamiento 4 (0.12%)	9.25	4	0.12	A
Tratamiento 1 (0.00%)	8.28	4	0.12	B

Nota. Diferencia de medias Tukey (DMS= 0.49882, Error: 0.05).

La tabla 6 muestra, que los tratamientos que contenían concentraciones de *Arthrospira platensis* tuvieron resultados estadísticos significativos a comparación del tratamiento 1 o testigo.

Tabla 7.

Análisis de varianza para longitud de planta.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Longitud de planta	12	0.82	0.78	6.07	
F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	270.64	3	90.21	18.46	0.0001
Tratamientos	270.64	3	90.21	18.46	0.0001
Error	58.65	12	4.89		
Total	329.29	15			

Nota: Resultados ANOVA de longitud de planta (cm).

Como denota la tabla 7, los tratamientos si tuvieron efectos significativos debido a que el p-valor es menor que 0.05. Evidenciando que sí existen efectos positivos tras la aplicación del bioestimulante en *Lactuca sativa* L..

Tabla 8.

Longitud de planta con la aplicación de los tratamientos.

Tratamientos	Medias	N	E.E.	Agrupación
Tratamiento 2 (0.04%)	43.45	4	1.11	A
Tratamiento 4 (0.12%)	34.58	4	1.11	B
Tratamiento 3 (0.08%)	34.43	4	1.11	B
Tratamiento 1 (0.00%)	33.13	4	1.11	B

Nota. Diferencia de medias Tukey (DMS= 4.64123, Error: 0.05).

Se puede apreciar en la tabla 8, que el tratamiento 2 (0.04%) nuestro resultados significativos a comparación de los demás tratamientos, de igual manera se puede afirmar que fue el tratamiento con mayor longitud de planta obteniendo una media de 47.45 cm.

Tabla 9.

Análisis de varianza para peso de biomasa fresca.

Variable	N	R²	R² Aj	CV	
Peso de biomasa	16	0.93	0.92	4.94	
F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	6273.45	3	2091.15	57.01	<0.0001
Tratamientos	6273.45	3	2091.15	57.01	<0.0001
Error	440.17	12	36.68		
Total	6713.62	15			

Nota: Resultados ANOVA de peso total de biomasa fresca (g)

Como se observa en la tabla 9, los tratamientos si tuvieron efectos significativos en la planta de *Lactuca sativus* debido a que el p.valor es > 0.05.

Tabla 10.

Peso de biomasa fresca con la aplicación de los tratamientos.

Tratamientos	Medias	n	E.E.	Agrupación
Tratamiento 2 (0.04%)	143.14	4	3.03	A
Tratamiento 3 (0.08%)	137.37	4	3.03	A
Tratamiento 4 (0.12%)	117.74	4	3.03	B
Tratamiento 1 (0.00%)	92.52	4	3.03	C

Nota. Diferencia de medias Tukey (DMS=12.71456, Error: 0.05).

La tabla 10, nos demuestra que el tratamiento 2 (0.04%) y 3 (0.08%) obtuvieron estadísticamente diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos, mostrando así mayor peso de biomasa fresca.

Tabla 11.

Análisis de varianza para longitud de raíces.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso de hojas	16	0.93	0.92	4.23	
F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	27.07	3	9.02	56.69	< 0.0001
Tratamientos	277.07	3	9.02	56.69	< 0.0001
Error	1.91	12	0.16		
Total	28.98	15			

Nota: Resultados ANOVA de peso fresco de hojas (g)

Como podemos apreciar en la tabla 11, los tratamientos muestran efectos significativos, debido a que el p-valor es inferior a 0.05. Por ello los tratamientos si afectan significativamente la longitud de la raíz.

Tabla 12.

Longitud de raíces con la aplicación de los tratamientos.

Tratamientos	Medias	n	E.E.	Agrupación
Tratamiento 2 (0.04%)	11.65	4	0.20	A
Tratamiento 3 (0.08%)	9.10	4	0.20	B
Tratamiento 4 (0.12%)	8.50	4	0.20	B
Tratamiento 1 (0.00%)	8.50	4	0.20	B

Nota. Diferencia de medias Tukey (DMS= 0.83754, Error: 0.05).

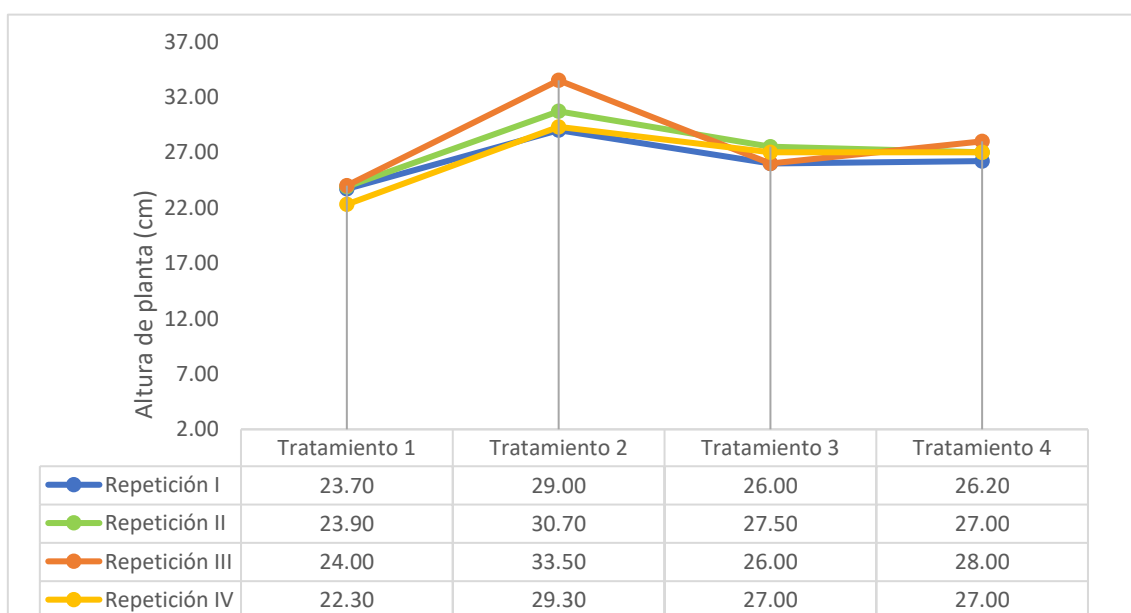
La tabla 12, muestra que el tratamiento 2 (0.04%) fue estadísticamente diferente que los demás, registrando la mayor longitud de raíz.

Tras el análisis estadístico con un nivel de significancia 5% de los 5 parámetros morfológicos de la planta, podemos afirmar que la hipótesis “Existirá efectos significativos en el uso de *Arthrospira platensis* como bioestimulante en el crecimiento de *Lactuca sativa L.*” es aceptada.

De la misma manera para dar respuesta al objetivo específico de identificar el efecto bioestimulante en los parámetros de crecimiento de *Lactuca sativa L.* durante 10 semanas, se fue anotando la altura y cantidad de hojas de las 16 unidades experimentales, para posteriormente tras la cosecha medir la longitud de la planta, raíces y pesar la biomasa fresca.

Figura 1.

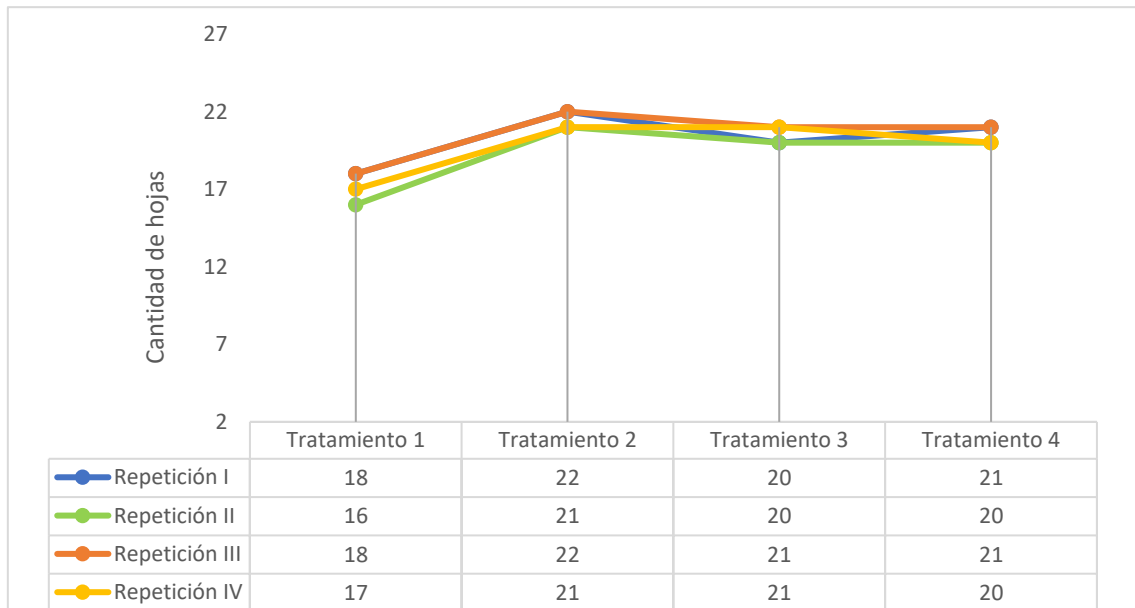
Altura de la planta con los diferentes tratamientos en la semana 10 previa cosecha.



En la figura 1 observamos el promedio de las 4 repeticiones, tras el seguimiento por 10 semanas del crecimiento de la altura de planta, mostrando que el tratamiento 2 es el que destaca sobre los demás tratamientos logrando alcanzar una altura de 33.5 cm.

Figura 2.

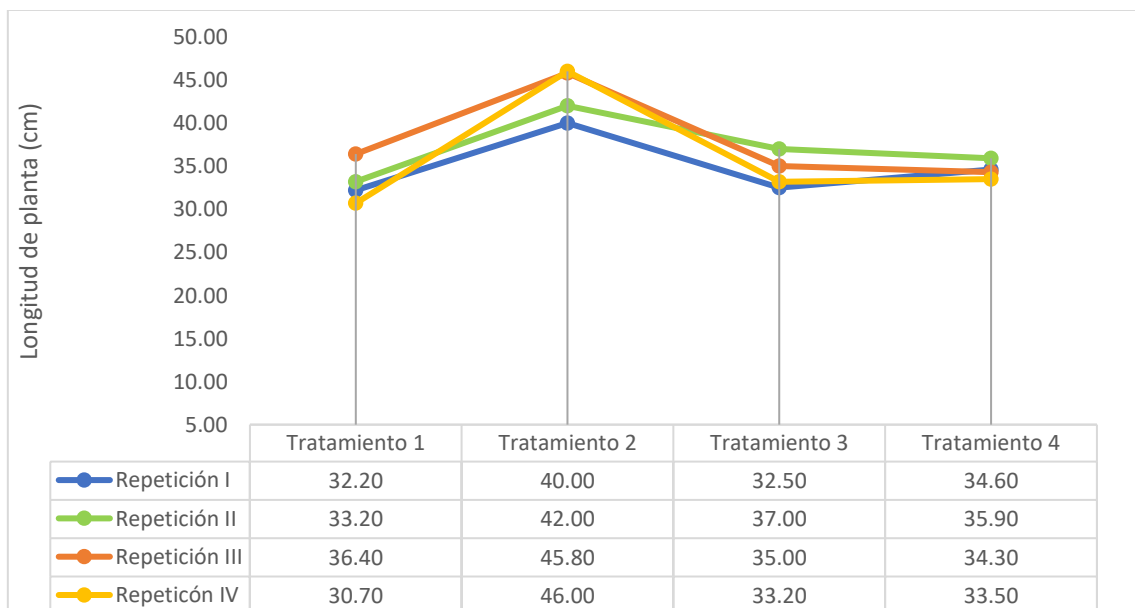
Cantidad de hojas con los diferentes tratamientos en la semana 10 previa cosecha.



De acuerdo al seguimiento por 10 semanas, de las 16 unidades experimentales, podemos observar en la figura 2 que el tratamiento que otorgó a la planta mayor cantidad de hojas fue el tratamiento 2 logrando a finalizar con 22 hojas en planta.

Figura 3.

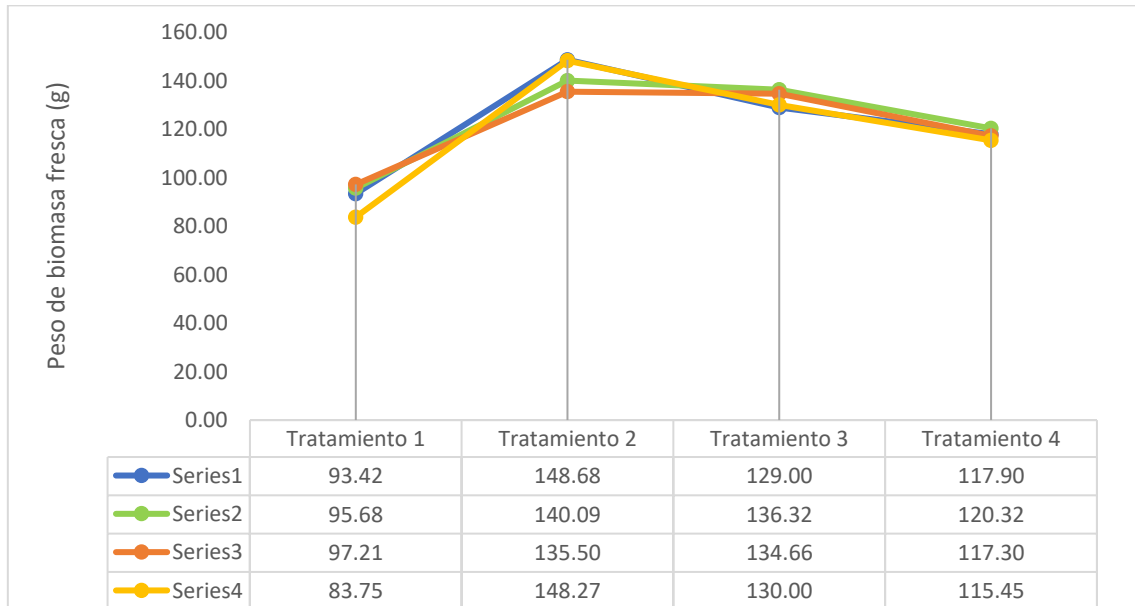
Longitud de planta con los diferentes tratamientos.



La figura 3 muestra la longitud de la planta tras la cosecha de las 16 unidades experimentales de *Lactuca sativa L.*, demostrando que el tratamiento 2 tuvo mayor efecto.

Figura 4.

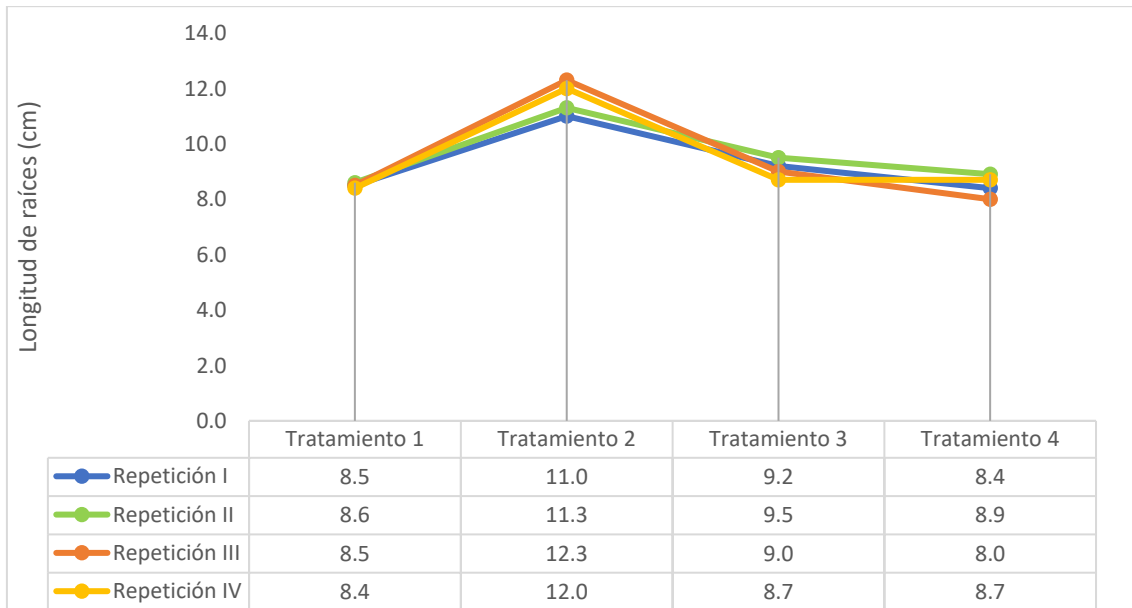
Peso fresco de biomasa con los diferentes tratamientos.



En la figura 4 podemos apreciar que el tratamiento 2 presentó pesos de biomasa total mayores a los demás tratamientos.

Figura 5.

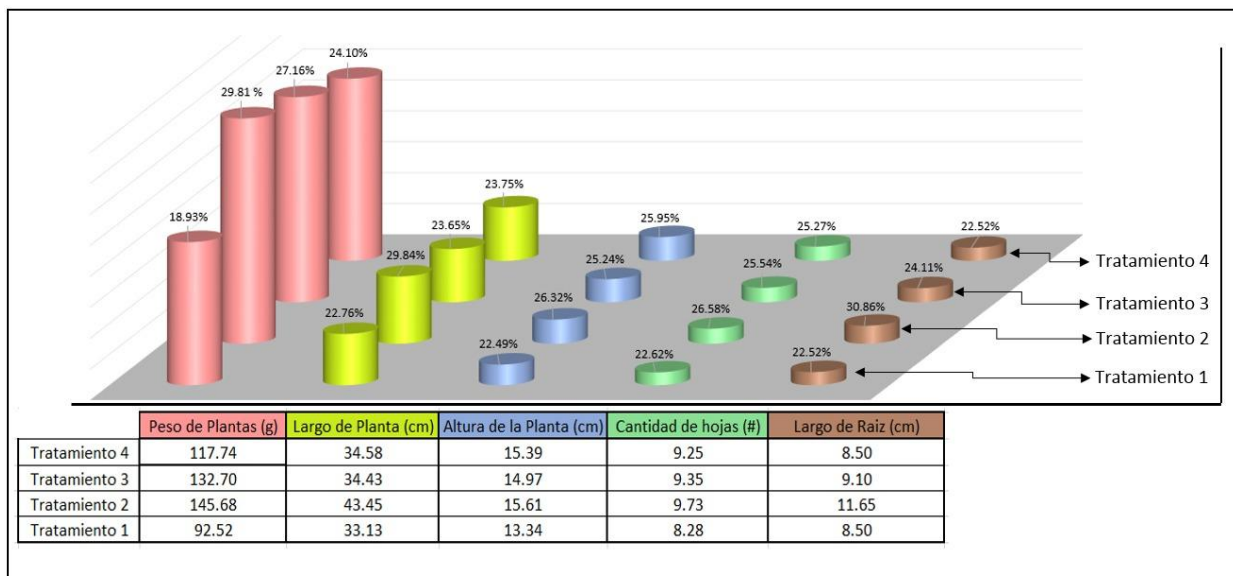
Longitud de raíces con los diferentes tratamientos.



La figura 5 muestra que de las 16 unidades experimentales, las 4 plantas que recibieron el tratamiento 2 fueron las que tuvieron mayor longitud de raíz.

Figura 6.

Parámetros de crecimiento evaluados con los diferentes tratamientos.



En la figura 6, se presentan los datos extraídos tras la culminación de los tratamientos, mostrando las características morfológicas con los respectivos tratamientos aplicados. De esta manera podemos apreciar que los valores más significativos corresponden al tratamiento 2 con una concentración de 0.04% de bioestimulante a base *Arthrospira platensis*. Esta cianobacteria constituye una fuente significativa de proteínas, vitaminas, aminoácidos esenciales y minerales para las plantas (Anvar y Nowruzi, 2021) Además, posee compuestos bioactivos que ayudan a formar y fortalecer los tejidos, estimulan la división celular y promueven su crecimiento (Frassine et al, 2023). De manera que la actúa sobre el suelo y la planta, mejorando su estructura y composición química (Siringi et al, 2022); lo que en conjunto favorece el desarrollo y la fertilidad del cultivo *Lactuca sativa L.*

De igual modo, para responder al objetivo específico de determinar la dosis más adecuada de *Arthrospira platensis* como bioestimulante, según los resultados observamos con una eficiencia del 42,68% (Figura 9) la dosis más adecuada correspondió al tratamiento 2 con una concentración de 0.04%.

Tabla 13.

Promedio de los parámetros morfológicos según la aplicación de los tratamientos

	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Tamaño (cm)				
Altura (cm)	13.34	15.61	14.97	15.39
%	5.50	6.43	6.17	6.34
Longitud Planta(cm)	33.13	43.45	34.43	34.58
%	13.65	17.91	14.19	14.25
Longitud Raíz (cm)	8.5	11.65	9.1	8.5
%	3.50	4.80	3.75	3.50
% Total	22.65	29.14	24.11	24.10
Cantidad (N° hojas)				
Hojas (N° hojas)	8.28	9.73	9.35	9.25
%	22.62	26.58	25.54	25.27
% Total	22.62	26.58	25.54	25.27

	Peso (g)			
Biomasa Fresca (g)	92.52	145.68	132.70	117.74
%	18.93	29.81	27.16	24.10
% Total	18.93	29.81	27.16	24.10

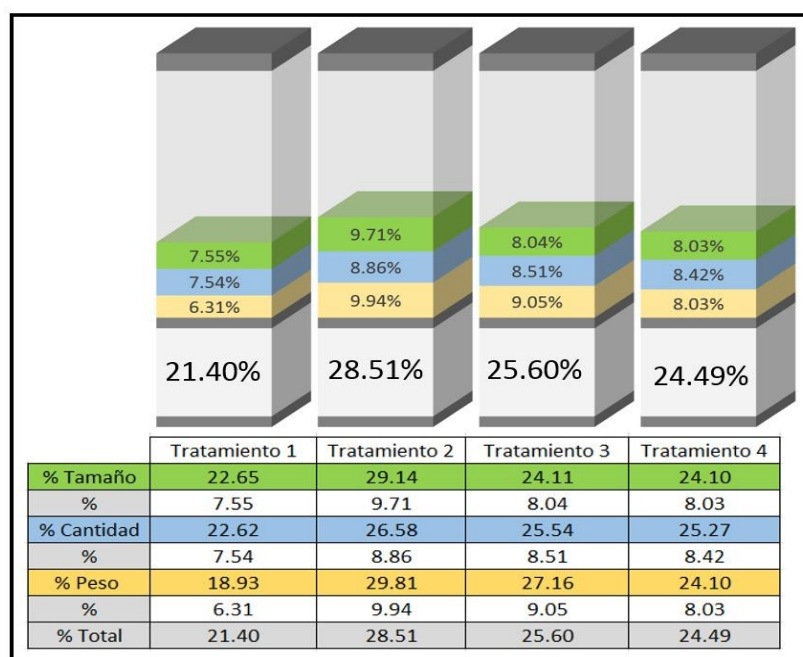
Nota. Parámetros ordenados con sus respectivas unidades de medición.

De igual modo, en la tabla 13. Las características morfológicas se agrupo en tamaño, cantidad y peso según su unidad de medida logrando evidenciar que el tratamiento 2 destaca entre todos. La *Arthrospira platensis* contiene pigmentos como la clorofila que ayudan a realizar la fotosíntesis para la producción de energía favoreciendo al crecimiento y el desarrollo de la plata (Jimenes et al, 2024). También posee algunas fitohormonas como la citoquinina y la auxina, que ayudan a que las raíces crezcan, se adapten y puedan retener más agua y adquirir mayores nutrientes (Elnajar et al, 2024)

Figura 7.

Porcentaje de eficiencia de los tratamientos.

Podemos evidenciar en la figura 7, que el tratamiento que obtuvo mejores resultados fue el tratamiento 2, representando el porcentaje total de las unidades de medida de las características evaluadas, obteniendo una eficiencia total del 42.68%.



Finalmente respondiendo al último objetivo específico se identificaron las propiedades químicas del suelo, correspondientes a los tratamientos 1, 2, 3 y 4.

Tabla 14.

Parámetros fisicoquímicos del suelo iniciales.

	TEXTURA	MO	pH	N	P	K
	-	%	[H] ⁺	%N	%P ₂ O ₅	%K ₂ O
Suelo inicial	Franco Limoso	2.26	6.32	0.34	1.33	0.076

Nota: MO=Materia Organica, pH= potencial de hidrógeno, N= Nitrógeno, P = Fósforo, K = Potasio

La tabla 14 muestra, como se encontró el suelo antes de trasplantar las plántulas de *Lactuca sativa* L. y antes de aplicar el biostimulante a base de *Arthrospira Platensis*.

Tabla 15.

Parámetros químicos del suelo tras la aplicación de los tratamientos.

	MO	pH	N	P	K
	%	[H] ⁺	%N	%P ₂ O ₅	%K ₂ O
Tratamiento 1	2.63	6.98	0.37	1.31	0.082
Tratamiento 2	2.67	7.06	0.30	1.26	0.075
Tratamiento 3	2.69	7.46	0.39	1.37	0.084
Tratamiento 4	2.65	7.17	0.34	1.36	0.080

Nota: MO=Materia Organica, pH= potencial de hidrógeno, N= Nitrógeno, P = Fósforo, K = Potasio

En la tabla 15 se observa, variaciones entre un tratamiento y otro, siendo el tratamiento 3 el más representativo, presentando mejores resultados en los parámetros NPK; por otro lado, el Ph resalta favorablemente en los tratamientos 2, 3 y 4 los cuales contienen bioestimulante a base de *Arthrospira Platensis*. En el suelo la *Arthrospira platensis* de una manera gradual

brinda macronutrientes y micronutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, también estimulan la actividad microbiana (López et al, 2020). Asimismo, esta cianobacteria cambia el ph del suelo debido a que es una especie alcalófila, lo cual ayuda contra la acidificación de los suelos (Guo et al, 2020)

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El uso excesivo de fertilizantes inorgánicos ha generado consecuencias perjudiciales tanto para la salud humana como para el medio ambiente. Esta situación ha impulsado la búsqueda de alternativas más sostenibles, como los bioestimulantes a base de microorganismos. En este contexto, diversos estudios han destacado el potencial de la cianobacteria *Arthrospira platensis* como biofertilizante. Por ejemplo, Shedeed et al. (2022) demostraron que *A. platensis* posee un efecto estimulante sobre los parámetros de crecimiento y la capacidad fotosintética en cultivos de *Lupinus luteus*. Por su parte, Al Dayel y El Sherif (2022) señalaron que esta cianobacteria puede inducir modificaciones químicas tanto en la planta como en el suelo, aportando beneficios morfológicos y químicos, respectivamente. De forma concordante, en la presente investigación se evidenció que, además de mejorar los parámetros morfológicos de *Lactuca sativa* L., también se registraron incrementos en los niveles de materia orgánica del suelo.

A partir de lo mencionado, y tras evaluar el efecto de *Arthrospira platensis* como biofertilizante en *Lactuca sativa* L., el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey (según los resultados presentados en las Tablas 3 a la 15) evidenciaron un efecto significativo de esta cianobacteria a una concentración del 0.04% sobre las características morfológicas de la planta. Específicamente, se observaron mejoras en la altura, longitud total, número de hojas,

peso de biomasa y longitud de raíces. Estos resultados fueron estadísticamente significativos, ya que el "p-valor" obtenido en todos los casos fueron inferiores al 5% en todos los casos.

De manera similar, Shedeed et al. (2022) utilizaron ANOVA y evidenciaron diferencias significativas en los parámetros de crecimiento de *Lupinus luteus* ($p < 0.05$), identificando mediante la prueba de Duncan que la concentración más efectiva de bioestimulante fue del 0.25%, la más baja evaluada en su estudio. Aunque el cultivo utilizado difiere del presente trabajo, también se observó que la concentración más baja de *Arthrospira platensis* (0.04%) resultó ser la más beneficiosa para *Lactuca sativa* L., lo que sugiere que dosis reducidas pueden ser suficientes para inducir mejoras morfológicas significativas en distintas especies vegetales.

Sin embargo, Al Dayel y El Sherif (2022) hallaron que la concentración intermedia del 2% fue la más eficaz en *Curcuma longa*, lo que podría atribuirse a su ciclo de cultivo más prolongado. Esta hipótesis, no obstante, se ve cuestionada por los resultados de Dineshkumar et al. (2020), quienes utilizando la prueba LSD de Fisher determinaron que la concentración máxima (100%) de *Arthrospira platensis* fue la más beneficiosa para *Vigna radiata* L., una especie con un tiempo de cultivo similar al de *Lactuca sativa* L. Esto sugiere que factores adicionales, como la fisiología de la especie o la forma de aplicación, podrían influir en la respuesta al bioestimulante más allá del tiempo de cultivo.

El primer objetivo específico de esta investigación consistió en identificar los parámetros de crecimiento en *Lactuca sativa* L. Los resultados obtenidos, presentados en las Figuras 1 a la 9, demostraron efectos significativos en variables como la altura de la planta (33.35 cm), longitud total (46 cm), longitud de raíces (12.35 cm), número de hojas (22) y peso de biomasa total (148.68 g). Al comparar estos valores con los reportados por Coronel (2022): peso fresco de las hojas (783.50 ± 12.27 g) y de la raíz (24.06 ± 2.47 g), longitud de la raíz

(21.30 ± 0.33 cm), se observa que, aunque los valores absolutos difieren, ambos trabajos coinciden en que el uso de *Arthrospira platensis* promueve significativamente el crecimiento del cultivo. Además, Coronel también reportó una mayor longitud de raíz (21.30 ± 0.33 cm frente a 12.35 cm en este estudio). Asimismo, los resultados obtenidos también se comparan favorablemente con los de Al-Khafaji y Al-Jubouri (2023), quienes registraron una altura de planta de 44.33 cm, número de hojas exteriores de 24, hojas interiores de 42 y peso total de planta de 916.7 g., esto podría atribuirse a diferencias en la concentración del biofertilizante, condiciones ambientales o tiempo de cultivo.

Por otro lado, en relación con el segundo objetivo específico, que consistió en determinar la dosis adecuada de *Arthrospira platensis* como bioestimulante, los resultados de este estudio indican que la concentración del 0.04% fue la más efectiva para mejorar las características morfológicas de *Lactuca sativa* L. Este hallazgo coincide con lo reportado por Nogueira et al. (2022), quienes encontraron que las concentraciones de 0.04% y 0.08% ofrecieron los mejores resultados en *Anacardium occidentale* (anacardo). No obstante, otros estudios han identificado dosis más elevadas como las más eficaces; por ejemplo, Seğmen y Özdamar (2023) reportaron que en *Capsicum annuum* (pimiento), la aplicación de una concentración del 0.4% (m/v) generó frutos de mayor peso (26.50 g), mientras que al aplicar 0.6% (m/v) se obtuvo el fruto de mayor longitud (21.55 cm). Estas diferencias podrían atribuirse a las variaciones en las especies vegetales estudiadas, así como a sus requerimientos fisiológicos particulares.

El tercer y último objetivo específico se centró en analizar las propiedades químicas del suelo tras la aplicación de los tratamientos. Los resultados obtenidos, presentados en la Tabla 18, indican una mejora significativa en dichas propiedades. Por ejemplo, el pH del suelo se modificó de 6.98 a 7.46, alcanzando un entorno ligeramente ácido, lo cual es favorable para el

crecimiento de *Lactuca sativa* L. Del mismo modo con lo reportado por Ismaiel et al. (2022), quienes observaron un cambio en el pH del suelo de 6.8 a 7.6 tras la aplicación de *Arthrospira platensis*. Coherentemente con lo reportado por Al Dayel y El Sherif (2022), quienes afirman que los cultivos presentan un mejor desarrollo en suelos con pH ligeramente ácido, entre 6.0 y 7.0. Por otro lado, Arahou et al. (2021) destacan que *Arthrospira platensis* puede mejorar la estructura del suelo gracias a su riqueza en materia orgánica y compuestos bioactivos que favorecen la retención de agua. Este efecto fue corroborado en el presente estudio, donde se observó un leve incremento en el contenido de materia orgánica, de 2.63% a 2.67%.

En relación con el primer objetivo específico, se concluye que el uso de *Arthrospira platensis* como bioestimulante generó efectos significativamente positivos en el crecimiento de *Lactuca sativa* L. Los parámetros morfológicos que evidenciaron esta mejora fueron: altura de hojas (33.35 cm), longitud total de planta (46 cm), longitud de raíces (12.35 cm), número de hojas (22) y peso de biomasa total (148.68 g). Estos resultados confirman que *A. platensis* tiene un impacto favorable en el desarrollo del cultivo.

Respecto al segundo objetivo, la aplicación de diferentes concentraciones del bioestimulante permitió determinar que la dosis más efectiva fue la correspondiente al tratamiento 2 (0.04%). Esta concentración generó una mejora del 28.51% en los parámetros morfológicos evaluados, superando en eficiencia a las concentraciones más elevadas, lo que evidencia que dosis reducidas pueden ser más beneficiosas para el crecimiento vegetal.

Finalmente, en relación con el tercer objetivo específico, se observó que el uso de *Arthrospira platensis* también aportó beneficios significativos a las propiedades químicas del suelo. El tratamiento más efectivo para esta mejora fue el correspondiente a la concentración del 0.08% (tratamiento 3), que permitió obtener un pH ligeramente ácido (7.46), un incremento

en el contenido de materia orgánica (2.69%) y niveles óptimos de macronutrientes: nitrógeno (0.39%), fósforo (1.37%) y potasio (0.084%). Estos resultados sugieren que, además de promover el crecimiento vegetal, *Arthrospira platensis* contribuye a mejorar la calidad del suelo.

En los últimos años, la aplicación de biofertilizantes ha cobrado relevancia como una alternativa sostenible para disminuir la dependencia de fertilizantes químicos. Las microalgas representan una fuente valiosa de compuestos bioactivos que contribuyen a la mejora de la estructura y fertilidad del suelo, optimizan la nutrición vegetal, incrementan la tolerancia a factores bióticos y abióticos, y favorecen el crecimiento de las plantas. No obstante, la adopción a gran escala de biofertilizantes basados en microalgas está sujeta a la viabilidad económica de su producción y al desarrollo de tecnologías con un menor consumo energético. Asimismo, es indispensable profundizar en la investigación para determinar los efectos específicos de cada tipo de biomasa sobre los diferentes cultivos, con el objetivo de seleccionar las formulaciones más eficaces para su aplicación agrícola.

Una de las principales limitaciones de este estudio fue la falta de investigaciones previas en nuestro país sobre el uso de *Arthrospira platensis* en cultivos agrícolas. Esta ausencia de antecedentes dificultó la comparación de nuestros resultados con estudios similares a nivel local y nacional, lo que hizo más difícil poner nuestros hallazgos en un contexto más amplio. Aunque hay estudios internacionales que destacan los beneficios de *Arthrospira platensis* en la agricultura, las diferencias en las condiciones ambientales y culturales entre países dificultan su aplicación en nuestro contexto. Por lo tanto, esta limitación resalta la necesidad de realizar más investigaciones nacionales que ayuden a comprender mejor y aplicar *Arthrospira platensis* en los cultivos de nuestra región.

REFERENCIAS

- Anvar, A y Nowruzi, B. (2021). Propiedades bioactivas de la espirulina: Una revisión. *Bioactivos microbianos*, 4(1), 134-141. <https://doi.org/10.25163/microbbioacts.412117B0719110521>
- Al Dayel, M., y El Sherif, F. (2022) *Arthrospira platensis* foliar spraying curcuma longa has improved growth, yield, and curcuminoid biosynthesis gene expression, as well as curcuminoid accumulation. [Arthrospira platensis La pulverización foliar de Curcuma longa ha mejorado el crecimiento, el rendimiento y la expresión génica de la biosíntesis de curcuminoides, así como la acumulación de curcuminoides]. *Horticulturae*, 8(6), 469. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8060469>
- Al-Khafaji & Al-jubouri, (2023) Upgrading growth, Yield, And Folate Levels Of Lettuce Viasalicyclic Acid And spirulina, Vermicompost aqueous extracts. [Mejora Del Crecimiento, Rendimiento Y Niveles De Folato De Lechuga A Través De Extractos Acuáticos De Ácido Alicíclico Y Espirulina Y Vermicomposta]. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 54(1), 235-241. <https://doi.org/10.36103/ijas.v54i1.1696>
- Al-Khuzae, Z. (2022) Effect of Spraying with Organics NADA LAND and GROMAX on Some Plant Growth Characteristics of Radish *Raphanus sativus* L. [Efecto de la fumigación con Organics NADA LAND y GROMAX en algunas características de crecimiento de las plantas de rábano rapano sativus]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, (1060). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1060/1/012057>
- Alvarenga, C., França, F., Chartuni, E., Henriques, D. y Brant, S. (2020). Irrigation of radish cultivars in the region of Viçosa, Minas Gerais, Brazil. [Irrigación de cultivares de

rábano en la región de Viçosa, Minas Gerais, Brasil]. Revista de Ciencias Agronómicas, (51). <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200011>

Arahou, F., Hassikou, R., Arahou, M., Rhazi, L y Wahby, I. (2021) Influence of culture conditions on *Arthrospira platensis* growth and valorization of biomass as input for sustainable agriculture. [Influencia de las condiciones de cultivo en el crecimiento de *Arthrospira platensis* y valorización de la biomasa como insumo para la agricultura sostenible]. Aquacult Int, (29), 2009 - 2020. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00730-5>

Arahou, F., Lijassi, I., Wahby, A., Rhazi, L., Arahou, M., y Wahbyet, I. (2023). Spirulina-Based Biostimulants for Sustainable Agriculture: Yield Improvement and Market Trends. [Bioestimulantes a base de espirulina para la agricultura sostenible: mejora del rendimiento y tendencias del mercado]. BioEnergy Research 16, 1401–1416. <https://doi.org/10.1007/s12155-022-10537-8>

Arias, J. (2020). Diseño y metodología de la investigación (1ª ed.). Perú: Enfoques consulting. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26022w/Arias_S2.pdf

Arias, J. y Covinos, M. (2021). Diseño y metodología de la investigación. In Enfoques Consulting EIRL. <http://hdl.handle.net/20.500.12390/2260>

Banco central de reservas del Perú (2023) Caracterización del departamento de la Libertad. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Trujillo/la-libertad-caracterizacion.pdf>

Banco mundial. (2023). Agricultura y alimentos. <https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/overview>

- Bello, A., Saadaoui, I., y Ben, R. (2021). "Beyond the source of bioenergy": Microalgae in modern agriculture as a biostimulant, biofertilizer, and antiabiotic stress. ["Más allá de la fuente de bioenergía": las microalgas en la agricultura moderna como bioestimulantes, biofertilizantes y antiestrés abiótico]. *Agronomy*, (11), 1610; <https://doi.org/10.3390/agronomy11081610>
- Boros, I., Székely, G., Balázs, L., Csambalik, L., y Sipos L. (2023). Effects of LED lighting environments on lettuce (*Lactuca sativa* L. L.) in PFAL systems – A review. [Efectos de los ambientes de iluminación LED sobre lechuga (*Lactuca sativa* L. L.) en sistemas PFAL: una revisión]. *Scientia Horticulturae*, volume (321). <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112351>
- Bortolini, D., Maciel, G., Fernandes, I., Pedro, A., Rubio, F., Branco, I., y Haminiuk, C. (2022). Functional properties of bioactive compounds from *Spirulina* spp.: Current status and future trends. [Propiedades funcionales de compuestos bioactivos de *Spirulina* spp.: Estado actual y tendencias futuras]. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, volume (5). <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100134>
- Carrasco, E. (2023). Evaluación de cuatro dosis de thiocyclam hidrogenoxalato para el control de sogata (*Tagosodes orizicolus*) en arroz (*Oryza sativa*), Jahuanga, Uctubamba, 2022 (UPA-PITIA0039). [Tesis de titulación, Universidad Politécnica Amazónica]. Repositorio UPA. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.una.edu.ni/4528/1/tnh20m425a.pdf](https://repositorio.una.edu.ni/4528/1/tnh20m425a.pdf)

- Chabili, A., Minaoui, F., Hakkoum, Z., Douma, M., Meddich, A., y Loudiki, M. (2024) Una revisión exhaustiva de bioestimulantes basados en microalgas y cianobacterias para usos agrícolas. *Plants*, volumen (13), 159. <https://doi.org/10.3390/plants13020159>
- Chamorro, S. (2024) Evaluación agroeconómica y contenido nutricional de fréjol arbustivo (*Phaseolus Vulgaris* L.), bajo la aplicación de bioestimulantes en Chaltura. Chaltura, Ecuador. [Tesis de titulación, Universidad Tecnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16072>
- Chulle, L., Chico, J., y León, L. (2022) Evaluación del potencial de biorremoción de plomo en fotobiorreactor por *Spirulina platensis* y *Pseudomonas aeruginosa*. *Arnaldoa* 29. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992022000200267
- Coronel Quelal, Alex Nicolas (2022), Comparación del efecto de tres biofertilizantes: Biol, Algas marinas y Espirulina (*Arthrospira platensis*), en la producción orgánica de lechuga (*Lactuca sativa* L.). [Trabajo de titulación]. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, IASA I, Campus El Prado. <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/35926>
- Cruz, G. (2022) Manual para el cultivo artesanal de espirulina (*Arthrospira* spp.) en San Salvador Atenco, México [Tesis de licenciatura]. Universidad Autonoma Metropolitana Unidad Xochimilco <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/bitstream/123456789/26746/1/250170.pdf>.

- Deepika, P., y MubarakAli, D. (2020). Production and assessment of microalgal liquid fertilizer for the enhanced growth of four crop plants. [Producción y evaluación de fertilizante líquido de microalgas para el crecimiento mejorado de cuatro plantas de cultivo]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, volume (28).
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101701>
- Dineshkumar, R., Duraimurugan, M., Sharmiladevi, N., Priya, L., Ahamed, A., Arumugam, A., y Sampathkumar, P. (2020). Microalgal liquid biofertilizer and biostimulant effect on green gram (*Vigna radiata* L) an experimental cultivation. [Biofertilizante líquido de microalgas y efecto bioestimulante en gramo verde (*Vigna radiata* L) un cultivo experimental] *Biomass Conversion and Biorefinery*, volumen (12), 3007-3027.
<https://doi.org/10.1007/s13399-020-00857-0>
- Espinosa, A., Hernández, R y González, M. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas. *Biología Vegetal*, volumen (20), 257-282. de
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S207486472020000400257&lng=es&tlng=es.
- Elnajar, M., Aldesuquy, H, Abdelmoteleb M, y Eltanahy, E (2024). Mitigación del estrés hídrico en plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) mediante el cebado del grano en extracto acuoso de *Spirulina platensis*. *Biología Vegetal BM*, volumen (24), 233.
<https://doi.org/10.1186/s12870-024-04905-z>
- Fernandez, A., Alvitez, E., y Rodriguez, R. (2019) Taxonomía e importancia de "spirulina" *Arthrospira jenniferi* (Cyanophyceae: Oscillatoriaceae). *Arnaldoa* 26 (3): 1091-1104.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v26n3/a16v26n3.pdf>

Fonseca, Y, Almeida, N., Caldas, J., Morais, G., Silva, I., Riatto, V., Santos, W., Moutinho, F.

(2022) Effect of the seed coating with biomass of *Dunaliella salina* on early plant growth and in the secondary metabolites content of *Coriandrum sativum*. [Efecto del recubrimiento de semillas con biomasa de *Dunaliella salina* sobre el crecimiento temprano de las plantas y en el contenido de metabolitos secundarios de *Coriandrum sativum*. *Acad Bras Cienc.* 94 (4). <https://doi.org/10.1590/0001-3765202220201735>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021) FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/es/#country/170>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021) La agricultura mundial en International Fertilizer Association. (2024) Biostimulants. <https://www.fertilizer.org/science/innovation/plant-biostimulants/>

Frassine, D., Braglia, R., Scuderi, F., Redi, E., Gismondi, A., Di Marco, G., Rugnini, L., y Canini, A. (2023) Sustainability in Aquaponics: Industrial Spirulina Waste as a Biofertilizer for *Lactuca sativa* L. L. [Sostenibilidad en acuaponía: residuos industriales de espirulina como biofertilizante para plantas de *Lactuca sativa* L. L.]. *Plants*. *Plants* (Basel), 12(23), 4030. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10707910/#sec1-plants-12-04030>

Fundación Española de Nutrición (FEN), (2020) Lechuga. Guía de Verduras y Hortalizas. <https://fen.org.es/MercadoAlimentosFEN/pdfs/lechuga.pdf>

Ghallab, M., Bukhari, N., Salem, E.-A., El-Zaidy, M., El-Sheikh, A. y Raja, R. (2024). Influence of Spirulina Extract on Physiological, Qualitative, and Productive Traits of Four Sugarcane Genotypes. [Influencia del extracto de espirulina en los rasgos

- fisiológicos, cualitativos y productivos de cuatro genotipos de caña de azúcar].
Agronomía, 14 (7), 1594. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071594>
- Gemin, L., Mógor, A., de Oliveira, A., Bochetti de Lara, G., Y Mógor, G. (2022). Organic onion growth, yield and storage improved by foliar sprays of microalgae and fulvic acid as a natural biofertilizer. [Crecimiento, rendimiento y almacenamiento de cebolla orgánica mejorados mediante aspersiones foliares de microalgas y ácido fúlvico como biofertilizante natural. *Revista de biociencias*, 38 <https://doi.org/10.14393/BJ-v38n0a2022-58854>
- Gharib, F., y Ahmed E. (2023) *Spirulina platensis* improves growth, oil content, and antioxidant activity of rosemary plant under cadmium and lead stress [*Spirulina platensis* mejora el crecimiento, el contenido de aceite y la actividad antioxidante de la planta de romero bajo estrés por cadmio y plomo]. *Representante científico*, 13(1), 8008. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10192378/#CR2>
- Guo, S., Wang, P., Wang, X., Zou, M., Liu, C., y Hao, J. (2020). Microalgae as Biofertilizer in Modern Agriculture. [Microalgas como biofertilizantes en la agricultura moderna. *Biología de microalgas para alimentos, salud y productos de alto valor*. Springer, Singapur., 397 - 411. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0169-2_12
- Hernández, R. y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas: cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: Mc Graw Hill educación.
<http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/handle/54000/1292>
- Ildikó, F., Géza, S., László, B., László, C. y László, S., (2023) Effects of LED lighting environments on lettuce (*Lactuca sativa* L. L.) in PFAL systems – A review. [Efectos

de los ambientes de iluminación LED sobre lechuga (*Lactuca sativa* L. L.) en sistemas PFAL: una revisión]. *Scientia Horticulturae*, volumen (321).
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112351>

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. (2023) Reporte de Mercado de Fertilizantes en el Perú.
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5511128/4909571-reporte-de-mercado-de-fertilizantes-en-el-peru-2023.pdf?v=1701471612>

Ishfaq, M., Kiran, A., Rehman, H., Farooq, M., Ijaz, N., Nadeem, F., Azeem, I., Li, X., y Wakeel, A. (2022). Foliar nutrition: Potential and challenges under multifaceted agriculture [Nutrición foliar: potencial y desafíos en una agricultura multifacética]. *Environmental and Experimental Botany*, 200.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098847222001319>

Ismaiel, S., Khedr, F., Metwally, A., y Soror, A (2022). Efecto de los bioestimulantes en las características del suelo, el crecimiento de las plantas y el rendimiento de guisante (*Pisum sativum* L.) en condiciones de campo. *Plant Science Today*, 9 (3), 650–657.
<https://doi.org/10.14719/pst.1748>

Jiménez, E., Delgadillo, J., Gómez, X., López, P., Peón, A., y Jardínez, C. (2024). La complejidad del género *Arthrospira*. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 13(25).
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/12908>

Kapooore, R., Wood, E., y Llewellyn, C. (2021). Algae biostimulants: A critical look at microalgal biostimulants for sustainable agricultural practices. [Bioestimulantes de

algas: una mirada crítica a los bioestimulantes de microalgas para prácticas agrícolas sostenibles]. *Biotechnology Advances*, (49).

<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107754>

Kumar, A., Ramamoorthy, D., Kumar D., Kumar A., Kumar N., Kanak R., Marwein B., y Mohan K. (2022). Antioxidant and phytonutrient activities of *Spirulina platensis*.

[Actividades antioxidantes y fitonutrientes de *Spirulina platensis*]. *Energy Nexus*, 6.

<https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100070>

Kumar, A., y Singh, J. (2020) Manual de procesos y productos basados en microalgas.

Fundamentos y avances en energía, alimentos, piensos, fertilizantes y compuestos bioactivos. Chapter 17 - Microalgal bio-fertilizers, 445-463.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818536-0.00017-8>

Liriano, R., Pérez, J., Pérez, Y., Paceres, I. y Artiles, L. (2020). Efecto de dos bioproductos sobre algunos indicadores del crecimiento y productividad de *Raphanus sativus*. *Centro Agrícola*,

volumen (47), 28 - 37.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025357852020000100028&lng=es&tlng=es.

López, I., Martínez, L., Pérez, G., Reyes, Y., Núñez, M y Cabrera, J. (2020) Las algas y sus usos en la agricultura. Una visión actualizada. *Cultivos Tropicales*, 41(2).

<https://www.redalyc.org/journal/1932/193264539010/193264539010.pdf>

Malpartida, Y., Aldana, F., Sánchez, S., Gómez H., y Lobo, P. (2022). Nutritional value and bioactive compounds of spirulina: Potential food supplement. [El valor nutricional y

- compuestos bioactivos de la Espirulina: Potencial suplemento alimenticio]. Ecuadorian Science Journal, 6(1), 42-51. <https://doi.org/10.46480/esj.6.1.133>
- Marín, C., Estrada, J., Delgado, J., Zapata, P., y Peñuela, M. (2024). Cianobacterias y microalgas como fuentes potenciales de biofertilizantes: una revisión. Actualidades Biológicas, 46(120), 4606. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi/v46n120a06>
- Martínez, B. (2019). Evaluación del biosol generado en la producción de biogás, como biofertilizante en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). [Tesis de grado]. Repositorio UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/32fe81c4-458e-4c33-8e1f-4906d379d1bb>
- Medina-Lozano, I., Bertolín, J., y Díaz, A. (2021). Nutritional value of commercial and traditional lettuce (*Lactuca sativa* L. L.) and wild relatives: Vitamin C and anthocyanin content. [Valor nutricional de lechugas comerciales y tradicionales (*Lactuca sativa* L. L.) y parientes silvestres: contenido de vitamina C y antocianinas.] Food Chemistry, volume (359). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129864>.
- Melini, F., Melini, V., Luziatelli, F., Abou Jaoudé, R., Ficca, A., Ruzzi, M. (2023). Effect of microbial plant biostimulants on fruit and vegetable quality: current research lines and future perspectives. [Efecto de los bioestimulantes microbianos vegetales sobre la calidad de frutas y hortalizas: líneas de investigación actuales y perspectivas futuras]. Frontiers in Plant Science, volume (14). <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1251544>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2022) Mercado de fertilizantes inorgánicos. <https://repositorio.midagri.gob.pe/jspui/handle/20.500.13036/1288>

- Miranda, A., Peek, E., Ancoli-Israel, S., Young, J., Perry, W., Minassian, A. (2024) The Role of Cannabis and The Endocannabinoid System in Sleep Regulation and Cognition: A Review of Human and Animal Studies [Propiedades bioestimulantes del hidrolizado de cianobacterias relacionadas con las poliaminas]. *Behav Sleep Med*, volumen (2), 217-233. <https://doi.org/10.1080/15402002.2023.2232497>.
- Mitma, M. (2021). Efecto de tres concentraciones de microorganismos eficientes (EM-1) en el cultivo hidropónico de *Lactuca sativa* L. "lechuga" var. Crespa, Ayacucho 2020. [Tesis de grado]. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. <https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/0bb70e71-b816-4de2-9051-1f251a08f522/content>
- Muñoz, F., Pineda, F., Barrigas, D., y Pineda, C. (2021) Producción de espirulina (*Arthrospira platensis*): una revisión. *Biorrefinería*. 4 (4). <https://www.cebaecuador.org/wp-content/uploads/2022/01/16.pdf>
- Nogueira, K., Rocha, R., Forte, A., Santos, R., Alves, E., Nascimento, F., Peixoto, A., Souto, W., Franciraldo, J., Everthon, J. (2022). Cashew Rootstock Production Using *Spirulina platensis* Biomass. [Producción de portainjertos de anacardo a partir de biomasa de *Spirulina platensis*]. *Food/Feed Science and Technology*, volume (65). <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022220042>
- Núñez, M., Delgado, C., López, I., Martínez, L., Reyes, Y., Pérez, G., y Brito, D. (2020). Nuevo bioestimulante y su influencia en la producción del frijol común. *Cultivos Tropicales*, 41(4). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193266197008>.

Organización de las Naciones Unidas. (2022). Los suelos, origen de los alimentos.

<https://www.un.org/es/cr%C3%B3nica-onu/los-suelos-origen-de-los-alimentos>

Parmar, P., Kumar, R., Neha, Y., y Srivatsan, V., (2023) Microalgae as next generation plant growth additives: Functions, applications, challenges and circular bioeconomy based solutions. [Microalgas como aditivos para el crecimiento de plantas de próxima generación: funciones, aplicaciones, desafíos y soluciones basadas en la bioeconomía circular]. *Front. Plant Sci*, 14. <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1073546/full>

Paucar, M. (2022). Evaluación agronómica y morfológica de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) con cuatro niveles de fertilización en sector de Granja Totorillas, cantón Guamote, provincia Chimborazo [Tesis de grado]. Universidad Estatal de Bolívar.

Peréz, C., y Arredondo, B. (2023). Del tecuitlatl azteca a la Spirulina: un recurso biotecnológico. *Recursos Naturales y Sociedad*, 9 (2), 91-106. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2023.09.09.02.000>

Peréz, Y., López, I., y Reyes, Y. (202) Las algas como alternativa natural para la producción de diferentes cultivos. *Cultivos Tropicales*, 41 (2). <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v41n2/1819-4087-ctr-41-02-e09.pdf>

Petrescu, F., y Ungureanu, L. (2022). About the Cyanobacteria and Stromatolites. [Sobre las cianobacterias y los estromatolitos]. *OnLine Journal of Biological Sciences*, 22 (1), 87-111. <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2022.87.111>

- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2022). Efectos de plaguicidas y fertilizantes sobre el medio ambiente y la salud y formas de reducirlos. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34463/JSUNEPPF_Sp.pdf
- Puglisi, I., Barone, V., Fragalà, F., Stevanato, P., Baglieri, A., Vitale, A. (2020). Effect of Microalgal Extracts from *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus quadricauda* on Germination of *Beta vulgaris* Seeds. [Efecto de extractos de microalgas de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus quadricauda* sobre la germinación de semillas de *Beta vulgaris*]. *Plants* 2020, 9, 675. <https://doi.org/10.3390/plants9060675>
- Ragusa, I., Nardone, G., Zanatta, S., Bertin, W. y Amadio, E. (2021) Spirulina for Skin Care: A Bright Blue Future. [Espirulina para el cuidado de la piel: un futuro azul brillante]. *Cosmetics*, 8 (1), 7. <https://doi.org/10.3390/cosmetics8010007>
- Rodríguez, L., Guevara, F., La O-Arias, M., Reyes, L. Campos, R y Salas, M. (2020). Leaf growth and biomass accumulation in radish (*Raphanus sativus* L.) inoculated with rhizosphere microorganisms. [Crecimiento foliar y acumulación de biomasa en rábano (*Raphanus sativus* L.) inoculado con microorganismos rizosféricos]. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo*, volumen (52), 78 - 87. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852020000100028&lng=es&tlng=es.
- Rodriguez, T., Cajamarca, K., Barrezueta, S., Luna, A., y Villaseñor, D. (2023). Efectos de bioestimulantes en el crecimiento morfológico de plántulas de cacao en etapa de vivero. *Manglar*, 20(2), 117-122. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2414-10462023000200117#B24

- Rodríguez, Y., Martínez, J., y Gallardo, A., (2021). Los bioestimulantes. Una alternativa para el desarrollo agroecológico cubano. ECOVIDA. 11 (3).
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9439130>
- Samaniego, G. (2022) Enfoque, tipo, diseño y método de investigación.
https://miasesor detesis.com/enfoque-tipo-disenometodo-de-investigacion/#Enfoque_cuantitativo
- Santoro, D., Puglisi, I., Sicilia, A., Baglieri A., La Bella E., Lo Piero, A. (2023). Transcriptomic profile of lettuce seedlings (*Lactuca sativa* L.) response to microalgae extracts used as biostimulant agents. [Perfil transcriptómico de plántulas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en respuesta a extractos de microalgas utilizados como agentes bioestimulantes.] AoB PLANTS, volumen (15). <https://doi.org/10.1093/aobpla/plad043>
- Seğmen, E., y Özdamar, H. (2023). Effects of foliar applications of commercial seaweed and spirulina platensis extracts on yield and fruit quality in pepper (*Capsicum annuum* L.). [Efectos de aplicaciones foliares de extractos comerciales de algas marinas y spirulina platensis sobre el rendimiento y la calidad del fruto en pimiento (*Capsicum annuum* L.)]. Cogent Food & Agriculture, volume 9(1).
<https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2233733>
- Sepúlveda, G. (2021). Evaluación de la respuesta de lechuga (*Lactuca sativa*) cv. crespa verde a diferentes fuentes de fertilización mineral, orgánica y organomineral. [Tesis de grado] Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales.
<https://repository.udca.edu.co/handle/11158/4443>

- Shedeed, Z., Gheda, S., Elsanadily, S., Alharb, K., y Osman, M. (2022). *Arthrospira platensis* Biofertilization for Enhancing Growth, Photosynthetic Capacity and Yield of *Lupinus luteus*. [*Arthrospira platensis* Biofertilización para mejorar el crecimiento, la capacidad fotosintética y el rendimiento de *Lupinus luteus*]. *Agriculture*, volume (12), 781. <https://doi.org/10.3390/agriculture12060781>
- Siringi, J., Turoop, L., Njonge, F. (2023) Biostimulant effect of Spirulina (*Arthrospira platensis*) on lettuce (*Lactuca sativa*) cultivated under aquaponic system. [Efecto bioestimulante de la Espirulina (*Arthrospira platensis*) sobre lechuga (*Lactuca sativa*) cultivada bajo sistema acuaponico.]. *Journal of Biology*, volumen 7. 24–33. <https://doi.org/10.54647/biology18204>
- Suchithra, M., Muniswami, D., Sri, M., Usha, R., Rasheeq, A., Preethi, B., y Dinesh, R. (2022) Effectiveness of green microalgae as biostimulants and biofertilizer through foliar spray and soil drench method for tomato cultivation. [Efectividad de las microalgas verdes como bioestimulantes y biofertilizantes mediante aspersión foliar y drench en el cultivo de tomate]. *South African Journal of Botany*, volume (146). 740-750. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.12.022>
- Sun, W. y Shahrajabian, M (2023). The Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Microbial Biostimulant, Sustainable Approaches in Modern Agriculture. [La aplicación de hongos micorrízicos arbusculares como bioestimulantes microbianos, Enfoques sostenibles en la agricultura moderna]. *Plants*, 12 (17), 3101. <https://doi.org/10.3390/plants12173101>
- Supraja, K., Bunushree, B y Balasubramanian, P. (2020) Efficacy of microalgal extracts as biostimulants through seed treatment and foliar spray for tomato cultivation. [Eficacia

- de extractos de microalgas como bioestimulantes mediante tratamiento de semillas y pulverización foliar en el cultivo de tomate. *Industrial Crops and Products*. 151. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112453>
- Taladrid, I y Espinosa, M. (2021). Semillas de rabanitos (*Raphanus sativus* L): observaciones de su morfología bajo microscopía electrónica, germinación y utilidad para estudios de fitotoxicidad. *Polibotánica*, volume (51), 171-183. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.51.11>
- Tongo, A., (2021). Efecto de cuatro sustratos en el desarrollo de hijuelos de plátano (*Musa paradisiaca* L.), en condiciones de vivero; Otuccho, Cumba; Utcubamba, Amazonas, 2020 (UPA-PITIA0010). [Tesis de titulación, Universidad Politécnica Amazónica]. Repositorio UPA.
- Torres, L., Escobar, D., Soto, J., Daza, M., y Torres, P. (2021). Evaluación de la mineralización del nitrógeno en un suelo ácido bajo fertilización inorgánica y orgánica. *Ingeniería*, volumen (26), 197-212. <https://doi.org/10.14483/23448393.16954>
- Universidad Privada del Norte. (2016). Código de Ética del Investigador Científico UPN. Resolución Rectoral N° 104-2016-UPN-SAC. <https://www.upn.edu.pe/sites/default/files/2020-06/codigo-etica-investigador-cientifico-upn.pdf>
- Vargas, L y Albarracín, M. (2022) Revisión Sistemática de Literatura: Uso de la Spirulina en el tratamiento de aguas residuales de la producción y transformación pecuaria. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/b43fd798-76d0-4ded-a28c-60efdb2d8673/content>

- Villacrés, B. (2023). Evaluación de promotores de crecimiento en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). [Tesis de grado]. Repositorio UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/25e5a90a-5a66-4b14-900f-7e805b509ec3/content>
- Villena, M., Pabón, C., Mora, A. y López H. (2022). Fertilización sostenible y Gestión Integral de Nutrientes. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias ODEPA. Gobierno de Chile. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/4149a490-eec5-4413-a123-10218a8574ca/content>
- Wang, Y., Xu, B., Dong, C., y Sun, Y. (2023) The nutritional value of Spirulina and. Life Research. 6 (3), 15. <https://www.tmrjournals.com/public/articlePDF/20230722/a1adfc35751712e001076bc98f26f362.pdf>
- Xu, Q., Zhu, T., Zhao, R., Zhao, Y., Duan, Y., Liu, X., Luan, G., Hu, R., Tang, S., Ma, X., Liu, Y., Li, S., y Lu, X. (2023). *Arthrospira* promotes plant growth and soil properties under high salinity environments. [*Arthrospira* promueve el crecimiento de las plantas y las propiedades del suelo en ambientes de alta salinidad]. *Frontiers in plant science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1293958>
- Yapa, N., Lakmali, D., Zoysa, K., Silva, S., Manawadu, C., Herath, B, Madhushan, C., Perera, G., Ratnayakae, O., Kapilan, R., Rathnayake, A., Sirisena, A., Karunarathna, S y Bamunuarachchigeet, C. (2022) Biofertilizantes: una tendencia emergente en la sostenibilidad agrícola. *Chiang Mai Journal of Science*, volumen (49), 608-640. <https://doi.org/10.12982/CMJS.2022.050>

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de observación para la recolección de datos

Parámetros medidos por semanas

TRATAMIENTO	REPETICIONES	CARACTERÍSTICAS EVALUADAS EN CRECIMIENTO																					
		ALTURA DE LA PLANTA (cm)											CANTIDAD DE HOJAS										
		INTERVALO DE MEDICIÓN: SEMANAS											INTERVALO DE MEDICIÓN: SEMANAS										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
T1	I																						
	II																						
	III																						
	IV																						
T2	I																						
	II																						
	III																						
	IV																						
T3	I																						
	II																						
	III																						
	IV																						
T4	I																						
	II																						
	III																						
	IV																						

Parámetros medidos tras la cosecha

CARACTERÍSTICAS EVALUADAS POST COSECHA							
TRATAMIENTO	REPETICIONES	LONGITUD DE PLANTA (cm)	PROMEDIO	PESO DE LA BIOMASA (g)	PROMEDIO	LONGITUD DE RAICES (cm)	PROMEDIO
T1	I						
	II						
	III						
	IV						
T2	I						
	II						
	III						
	IV						
T3	I						
	II						
	III						
	IV						
T4	I						
	II						
	III						
	IV						



MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS – FICHA DE RECOLECCIÓN
DE DATOS

Título de la investigación:	Efecto de <i>Arthrospira platensis</i> (espirulina) como bioestimulante en <i>Lactuca sativa L.</i> (lechuga), Trujillo - 2024
Línea de investigación:	Desarrollo sostenible y Gestión Empresarial
Apellidos y nombres del experto:	Arévalo Pezo, Julio Alejandro
El instrumento de medición pertenece a la variable:	Características morfológicas de <i>Lactuca Sativa L</i>

Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una “x” en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable en estudio.

Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿Cada uno de los ítems del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
7	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
8	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
9	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de manera que se pueda obtener los datos requeridos?	X		

Sugerencias:



Ing. Julio Arévalo Pezo
ESPECIALISTA AMBIENTAL
R. CIP. 193206




MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS – FICHA DE RECOLECCIÓN
DE DATOS

Título de la investigación:	Efecto de <i>Arthrospira platensis</i> (espirulina) como bioestimulante en <i>Lactuca sativa L.</i> (lechuga), Trujillo - 2024
Línea de investigación:	Desarrollo sostenible y Gestión Empresarial
Apellidos y nombres del experto:	Tirado Zavaleta, Marvin Harold
El instrumento de medición pertenece a la variable:	Características morfológicas de <i>Lactuca Sativa L</i>

Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una “x” en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable en estudio.

Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿Cada uno de los ítems del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
7	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
8	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
9	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de manera que se pueda obtener los datos requeridos?	X		

Sugerencias:



Marvin H. Tirado Zavaleta
C.I.P. 343710

Anexo 2. Operacionalización de variables.

TÍTULO: “Efecto de *Arthrospira platensis* (Espirulina) como bioestimulante en *Lactuca sativa L.* (lechuga), Trujillo - 2024”

















VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
VARIABLE DEPENDIENTE: <i>Lactuca sativa L.</i>	La <i>Lactuca sativa L.</i> es una hortaliza que crece habitualmente en roseta, debido al corto desarrollo de su tallo (Boros et al., 2023), pese a contar con un valor nutricional poco elevado es de los cultivos más importantes debido a su alta demanda y consumo (Medina et al., 2021)	La variable será analizada al observar los cambios en los parámetros de crecimiento o morfológicos en la planta.	Características morfológicas	Altura de planta Cantidad de hojas Longitud de planta Peso fresco y seco	Directa
VARIABLE INDEPENDIENTE: <i>Arthrospira platensis</i>	La <i>Arthrospira platensis</i> es una cianobacteria también conocida como alga verdeazulada (Kumar et al., 2022) las cianobacterias pueden realizar notable cambios en la agricultura mejorando la producción y crecimiento de los cultivos (Shedeed et al., 2022).	La variable será examinada al determinar la dosis de biomasa aplicación de <i>Arthrospira platensis</i> como bioestimulante en concentraciones.	Concentración 1 Concentración 2 Concentración 3 Concentración 4	%	Razón

Anexo 3. Matriz de consistencia.

TÍTULO: “Efecto de *Arthrospira platensis* (Espirulina) como biofertilizante en *Lactuca sativa* L. (lechuga), Trujillo - 2024”

<p>Pregunta General: ¿Cuál es el efecto que tiene el uso de <i>Arthrospira platensis</i> como bioestimulante en <i>Lactuca sativa</i> L., Trujillo - 2024?</p>	<p>H0: No existirán efectos significativos en el uso de <i>Arthrospira platensis</i> como bioestimulante en el crecimiento de <i>Lactuca sativa</i> L.</p>	<p>Objetivo General: Evaluar el efecto de la <i>Arthrospira platensis</i> como bioestimulante en <i>Lactuca sativa</i> L., Trujillo - 2024.</p>	<p>Variable Dependiente: <i>Lactuca sativa</i> L..</p>	<p>Tipo de investigación: Aplicada</p> <p>Enfoque: Cuantitativo</p>	<p>Población: 100 Plantulas de <i>Lactuca sativa</i> L.</p>
	<p>H1: Existirán efectos significativos en el uso de <i>Arthrospira platensis</i> como bioestimulante en el crecimiento de <i>Lactuca sativa</i> L.</p>	<p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar los parámetros de crecimiento de <i>Lactuca sativa</i> L. • Determinar la dosis adecuada de <i>Arthrospira platensis</i> como bioestimulante • Analizar las propiedades químicas del suelo 	<p>Variable Independiente: <i>Arthrospira platensis</i></p>	<p>Alcance: Correlacional</p> <p>Diseño: Completamente al azar</p> <p>Técnica: Observación</p> <p>Instrumento: Ficha de Observación</p>	<p>Muestra: 16 plantas de <i>Lactuca sativa</i> L.</p>

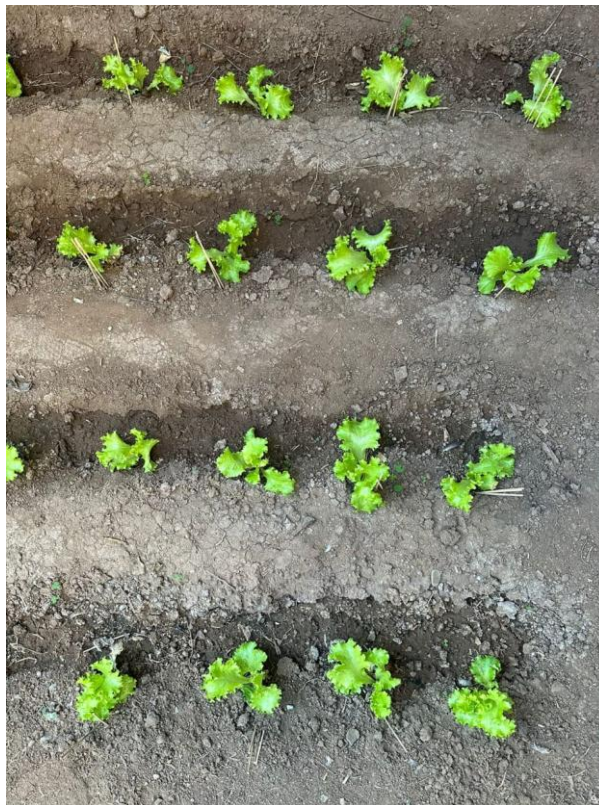
Anexo 4. Diseño completamente al azar (DCA).

 T2	 T1	 T4	 T3
 T4	 T3	 T1	 T2
 T1	 T2	 T3	 T4
 T3	 T4	 T2	 T1

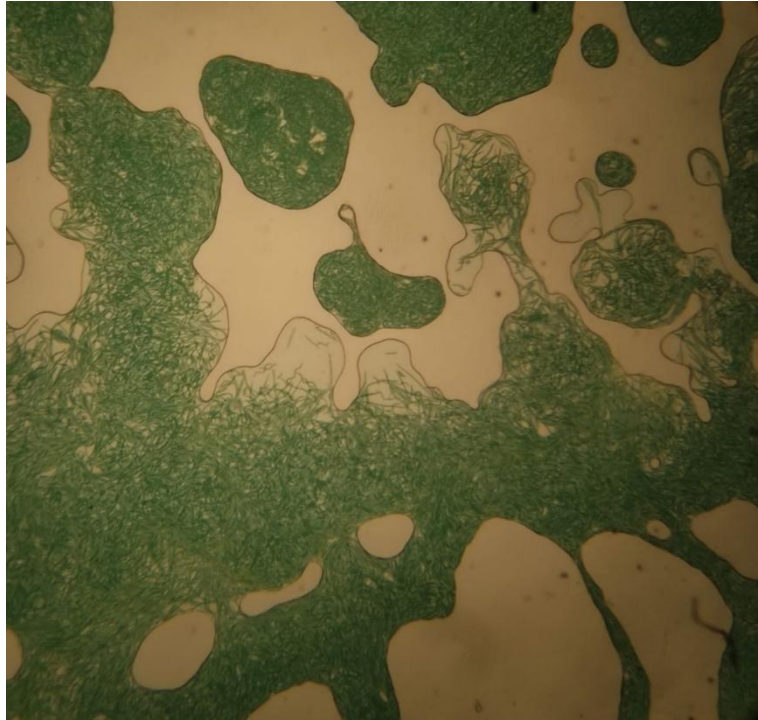
Anexo 5. Colección de fotograficas



Fotografía 1. *Preparación del sustrato*



Fotografía 2. *Unidades experimentales*



Fotografía 3. *Arthrospira platensis* vista en el microscopio



Fotografía 4. Preparación del bioestimulante



Fotografía 5. *Medición de altura*



Fotografía 6. *Conteo del número de hojas.*



Fotografía 7. *Medición de la longitud de planta*



Fotografía 8. *Pesado de biomasa fresca*

Anexo 6. Resultados de los análisis de suelo.

Resultado del análisis de suelo previo al cultivo.

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC: 20605355189


**INFORME DE ANÁLISIS
F.Q.A. PERÚ S.A.C.**

SOLICITANTE	: ANGIE AGUILAR ASPIROS	
	: GIANELLA FLORINDEZ CASTRO	
MUESTRA	: SUELO	
PROCEDENCIA	: Jardín de vivienda, La Esperanza Trujillo	
FECHA DE INGRESO	: 18 DE ABRIL DEL 2024	
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO		

CODIFICACIÓN		SUELO AGRÍCOLA
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO		
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
COLOR	-	MARRÓN OSCURO
OLOR	-	PROPIO DEL SUELO
TEXTURA	-	FRANCO LIMOSO
HUMEDAD	%	3.12
MATERIA ORGÁNICA	%	2.26
RELACIÓN C/N	-	1.67
ph	-	6.32
CONDUCTIVIDAD	mS/cm	1.36
NITRÓGENO TOTAL	%N	0.34
FÓSFORO	%P ₂ O ₅	1.33
POTASIO	%K ₂ O	0.076
ANÁLISIS METALES PESADOS		
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
CALCIO	%	1.81
MAGNESIO	%	0.12
ZINC	mg/kg	78
MANGANESO	mg/kg	59
HIERRO	mg/kg	180

*C.E.:Conductividad eléctrica, M.O.:Materia orgánica, P: fósforo, N: nitrógeno, K: potasio, Ca²⁺: iones calcio, Mg²⁺: iones magnesio, K⁺: iones potasio, Na⁺: iones sodio

TRUJILLO, 26 DE ABRIL DEL 2024



CARLOS ALBERTO VALQUI MENDOZA
INGENIERO QUÍMICO
CIP 122588

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

Resultados de los análisis de Suelo luego de los tratamientos.

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES

**INFORME DE ANÁLISIS
F.Q.A. PERÚ S.A.C.**

SOLICITANTE	: ANGIE AGUILAR ASPIROS
	GIANELLA FLORINDEZ CASTRO
MUESTRA	: SUELO
PROCEDENCIA	: Jardín de vivienda, La Esperanza Trujillo
FECHA DE INGRESO	: 18 DE SETIEMBRE DEL 2024
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

CODIFICACIÓN	T0	
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO		
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
TEXTURA	-	FRANCO LIMOSO
MATERIA ORGÁNICA	%	2.63
ph	-	6.98
NITRÓGENO TOTAL	%N	0.37
FÓSFORO	%P2O5	1.31
POTASIO	%K2O	0.082

* M.O.:Materia orgánica, P: fósforo, N: nitrógeno, K: potasio.

CODIFICACIÓN	T1	
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO		
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
TEXTURA	-	FRANCO LIMOSO
MATERIA ORGÁNICA	%	2.67
ph	-	7.06
NITRÓGENO TOTAL	%N	0.30
FÓSFORO	%P2O5	1.26
POTASIO	%K2O	0.075

* M.O.:Materia orgánica, P: fósforo, N: nitrógeno, K: potasio


CARLOS ALBERTO VALQUI MENDOZA
INGENIERO QUÍMICO
CIP 122588

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

- 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES

**INFORME DE ANÁLISIS
F.Q.A. PERÚ S.A.C.**

SOLICITANTE	: ANGIE AGUILAR ASPIROS GIANELLA FLORINDEZ CASTRO
MUESTRA	: SUELO
PROCEDENCIA	: Jardín de vivienda, La Esperanza Trujillo
FECHA DE INGRESO	: 18 DE SETIEMBRE DEL 2024
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

CODIFICACIÓN	T0	
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO		
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
TEXTURA	-	FRANCO LIMOSO
MATERIA ORGÁNICA	%	2.63
ph	-	6.98
NITRÓGENO TOTAL	%N	0.37
FÓSFORO	%P2O5	1.31
POTASIO	%K2O	0.082

* M.O.:Materia orgánica, P: fósforo, N: nitrógeno, K: potasio.

CODIFICACIÓN	T1	
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO		
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
TEXTURA	-	FRANCO LIMOSO
MATERIA ORGÁNICA	%	2.67
ph	-	7.06
NITRÓGENO TOTAL	%N	0.30
FÓSFORO	%P2O5	1.26
POTASIO	%K2O	0.075

* M.O.:Materia orgánica, P: fósforo, N: nitrógeno, K: potasio



CARLOS AMÉRICO VALQUI MENDOZA
INGENIERO QUÍMICO
CIP 122588

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

- 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

Anexo 7. Información de equipos utilizados

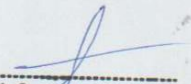
UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE



Relación De Equipos Calibrados

Para garantizar y asegurar la contabilidad de los resultados se adjunta la relación de equipos calibrados según su código de calibración.

NOMBRE DEL EQUIPO	MARCA	FECHA DE CALIBRACIÓN	CÓDIGO DE CALIBRACIÓN
MICROSCOPIO BINOCULAR	CARL ZEISS	17/04/2023	INFDSO-01276-2023
BALANZA ANALÍTICA	OHAUS	17/04/2023	LM-087-2023
ESTUFA ESTERILIZADORA	MEMMERT	03/04/2023	LMF-0315-2023


Julio Gurreñero Fernández
Supervisor de Lab. Minas y Ambiental
UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE

Firma del Supervisor de laboratorio de
Ing. Ambiental y Minas