ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.1797

Effect of *Arthrospira platensis* (spirulina) as a biostimulant in *Lactuca sativa L.* (lettuce), Trujillo – 2024

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 change.

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

Aguilar-Aspiros, Angie Damary[1], Florindez-Castro, Gianella Nicole[2], Julián Diaz-Ruiz[3],
n00196857@upn.pe Universidad Privada del Norte, Cajamarca Perú
n00171942@upn.pe Universidad Privada del Norte, Cajamarca Perú
julian.diaz@upn.pe Universidad Privada del Norte, Cajamarca Perú

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 clave*-- Arthrospira platensis, Lactuca sativa L., bioestimulante, concentraciones.**

I. Introducción

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 [1]. Se estima que para el año 2050 el crecimiento agrícola sería de entre un 60 a 70 % [2]. Para poder satisfacer las necesidades alimentarias de una población continuamente creciente que alcanzaría los 9700 millones de personas en el mundo [3]. Por consiguiente, se emplearían fertilizantes en exorbitantes cantidades para cubrir dicha demanda en menor tiempo [4].

Un claro ejemplo de esto es el continente asiático, este continente en 2020 logró alcanzar cifras de aproximadamente 110 millones de toneladas en consumo de fertilizantes inorgánicos [2]. 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 [5]. 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 [6].

El Perú es un país que importa el 89.5% de los fertilizantes utilizados para sus campañas agrícolas [7]. 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 [8]. 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 [9].

Se considera que los bioestimulantes y biofertilizantes son alternativas sostenibles y rentables económicamente en comparación con los fertilizantes químicos [10]. Los bioestimulantes son productos compuestos de sustancias o microorganismos que facilitan los procesos naturales de las plantas y el suelo [11]. 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 [12], 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 [13]. 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 [14]. 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 estas [15].

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 [16]. Debido a su rápido tiempo de producción, la lechuga es un sujeto popular para estudios científicos [17]. 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 [18]. 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 [19].

En el estudio de [20], 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). Se encontró que la concentración del 0.4% (m/v) resultó en el peso del fruto más alto (26,50 g) y el ancho más alto (23,52 mm), mientras que la longitud del fruto más larga (21,55 cm) se logró con la concentración del 0.6% (m/v). De igual manera [21], evaluó el efecto del extracto acuoso de *Arthrospira platensis,* aplicado foliarmente al 0.15% (m/v), en el cultivo de lechuga. 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. Mientras que en la investigación de [22] la concentración más baja, 0,25% fue la más favorable en la mejora de todas las métricas de crecimiento y el nivel fitohormona.

Por otro lado [23], 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. Asimismo, En la investigación [24], 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, [25] 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, [26] utilizó *Arthrospira platensis* en 4 genotipos de cañas de azúcar a las 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, [27] comparó tres tipos de biofertilizantes orgánicos: Biol, Espirulina y Sumakcrop (extracto de algas). 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. De igual modo para [28] que, tras aplicar los tratamientos denominados I y II para *Chlorella vulgaris* y *Spirulina platensis* respectivamente, en concentraciones de 25% (T1), 50% (T2), 75% (T3) y 100% (T4), 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.

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 [29]. Por ello, la presente investigación se enfoca en desarrollar un método sostenible para mejorar la producción agrícola, específicamente en el cultivo de lechuga fertilizada con espirulina. Este enfoque busca reducir la dependencia de fertilizantes químicos costosos, mejorar el rendimiento y la calidad del cultivo, y aumentar su valor comercial. Además, la espirulina se destaca por su fácil producción y bajo impacto ambiental, lo que favorece su implementación sin altos costos operativos. La viabilidad del proyecto se sustenta en su complejidad manejable, permitiendo una estimación precisa de tiempos y recursos, y contribuyendo a una agricultura más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Finalmente, esta investigación tuvo como objetivo general: evaluar el efecto de la *Arthrospira platensis* como bioestimulante en el cultivo de *Lactuca sativa L.*, Trujillo – 2024, además se planteó como objetivos específicos: identificar los parámetros de crecimiento de *Lactuca sativa L.*, determinar la dosis adecuada de *Arthrospira platensis* como bioestimulante y analizar las propiedades químicas del suelo. De esta forma la hipótesis fue: existirán efectos significativos

en el uso de *Arthrospira platensis* como bioestimulante en el crecimiento de *Lactuca sativa L.*

II. METODOLOGIA

Esta investigación presentó un enfoque cuantitativo, ya que mediante la medición numérica y los análisis estadísticos se logró dar respuesta a la hipótesis [30]. 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 [31]. Por otro lado, tuvo un diseño experimental y su finalidad fue manipular la variable independiente de la investigación [32]. Así mismo, este estudio presentó un alcance correlacional, puesto que, su propósito fue conocer el nivel de relación presente entre las variables [33].

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 (8°03'44.53"S - 79°03'22.95"W) 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 (Fig. 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 trasplantadas 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 pretratamiento, 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 bioestimulante a base de *Arthrospira platensis* se recolecto muestras de suelo para el análisis postratamiento, 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.

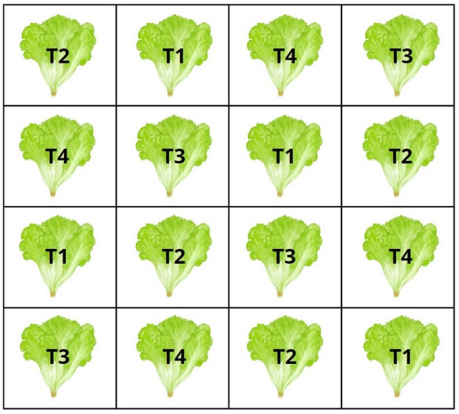
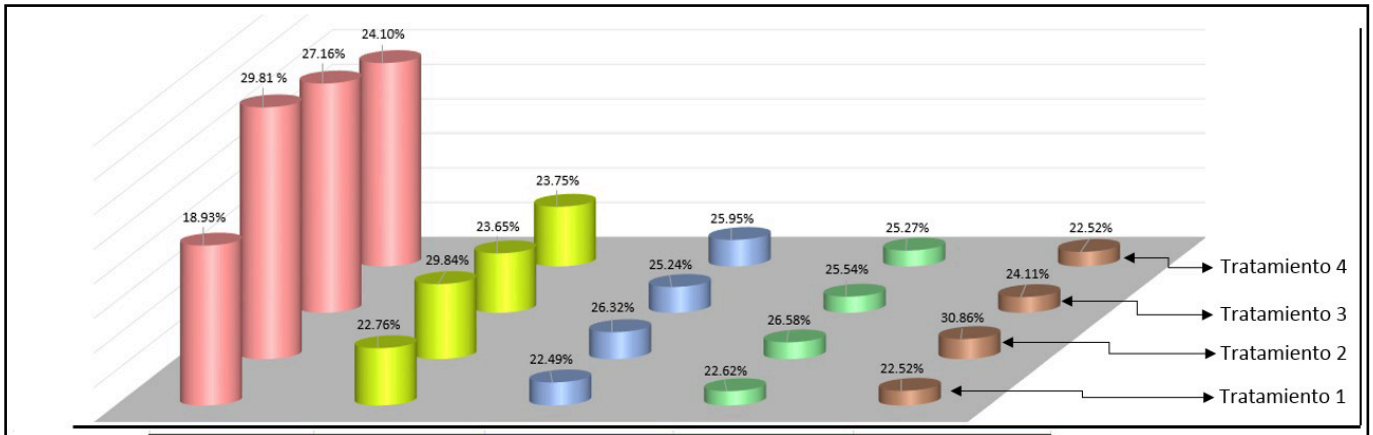


Fig. 1 Diseño completamente al azar (DCA).

La técnica que fue utilizada en esta investigación para la recolección de datos fue la observación, según [34], 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 [35]. Una vez recolectada la información se utilizó el software ANOVA para realizar el análisis estadístico, posterior a ello se evalúo las comparaciones de medias utilizando la prueba de Tukey y el nivel de significación de p-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.



	Peso de Plantas (g)	Largo de Planta (cm)	Altura de la Planta (cm)	Cantidad de hojas (#)	Largo de Raiz (cm)
Tratamiento 4	117.74	34.58	15.39	9.25	8.50
Tratamiento 3	132.70	34.43	14.97	9.35	9.10
Tratamiento 2	145.68	43.45	15.61	9.73	11.65
Tratamiento 1	92.52	33.13	13.34	8.28	8.50

Fig. 2 Parámetros de crecimiento evaluados con los diferentes tratamientos.

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. [36]. 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.

III. RESUTADOS

A. Parámetros de crecimiento de Lactuca sativa L.

En la tabla I, se registraron las alturas *Lactuca sativa L.* tras la aplicación de *Arthrospira platensis* durante las 10 semanas. Permitiendo presenta 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 en el crecimiento de *Lactuca sativa L.*

TABLA I
ANÁLISIS DE VARIANZA

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			

B. Parámetros de crecimiento de Lactuca sativa L.

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

TABLA II
PRUEBA DE TUKEY

Tratamientos	Medias	n	E.E.	Agrupación	
T2	15.61	4	0.21	A	
T4	15.47	4	0.25	A	
T3	14.97	4	0.21	A	
T1	13.34	4	0.21		B

Diferencia de medias Tukey (Error: 0.05)

En la fig. 2, se presentan los datos extraídos tras la culminación de los tratamientos luego de las 10 semanas, 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 [37]. Además, posee compuestos bioactios que ayudan a formar y fortalecer los tejidos, estimulan la división celular y promueven su crecimiento [38]. De manera que la actúa sobre el suelo y la planta, mejorando su estructura y composición química [39], lo que en conjunto favorece el desarrollo y la fertilidad del cultivo *Lactuca sativa L.*

TABLA III
PROMEDIO DE LOS PARÁMETROS MORFOLÓGICOS SEGÚN LA APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Parámetros de crecimiento	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
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)	8.50	11.65	9.10	8.50
%	3.50	4.80	3.75	3.50
Cantidad (N° hojas)				
Hojas (N° hojas)	8.28	9.73	9.35	9.25
%	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

De igual modo, en la tabla III las características morfológicas se agrupo en tamaño, cantidad y peso según su unidad de medida logrando evidenciar que el tratamiento 2 destaca entre todos.

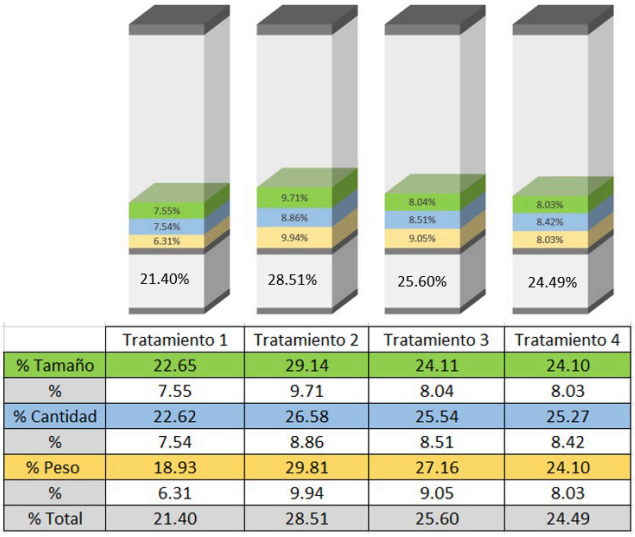
B. Dosis de Arthrospira platensis como bioestimulante.

En la fig. 3, se evidencia que el tratamiento que obtuvo mejores resultados fue el tratamiento 2, representando el porcentaje total de las unidades de medida de todas las características morfológicas evaluadas, obteniendo una eficiencia total del 42.68%.

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 [40]. 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 [41].

C. Analizar las propiedades químicas del suelo.

En la tabla IV, el suelo inicial presento bajas cantidades de MO, Ph, N, P y K con %2.26, [H]+6.31, %0.34, %1.33 y %0.073 respectivamente. Por otro lado, en la tabla V, se observa mejoras luego de la aplicación del bioestimulante a base *Arthrospira platensis,* siendo el tratamiento 3 el más representativo, presentando mejores resultandos en los parámetros MO %2.69, Ph [H]+ 7. 46 N% 0.39, P%1.37 y K% 0.084.



	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
% Tamaño	22.65	29.14	24.11	24.10
%	7.55	9.71	8.04	8.03
% Cantidad	22.62	26.58	25.54	25.27
%	7.54	8.86	8.51	8.42
% Peso	18.93	29.81	27.16	24.10
%	6.31	9.94	9.05	8.03
% Total	21.40	28.51	25.60	24.49

Fig. 3 Porcentaje de eficiencia de los tratamientos.

TABLA IV
PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL SUELO INICIALES.

Propiedades	Textura	MO	pH	N	P	K
	-	%	[H]+	%N	%P2O5	%K2O
Suelo inicial	Franco Limoso	2.26	6.32	0.34	1.33	0.076

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

TABLA V
PARÁMETROS QUÍMICOS DEL SUELO TRAS LA APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.

Propiedades	MO	pH	N	P	K
	%	[H]+	%N	%P2O5	%K2O
Tratamiento 1	2.63	6.98	0.37	1.31	0.082
Tratamiento 2	2.67	7.06	0.30	1.21	0.075
Tratamiento 3	2.69	7.46	0.39	1.37	0.084
Tratamiento 4	2.50	7.17	0.34	1.36	0.080

En el suelo la *Arthrospira platensis* de una manera gradual brinda macronutrientes y micronutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, también estimulan la actividad microbiana [42]. Asimismo, esta cianobacteria cambia el ph del suelo debido a que es una especie alcalófila, lo cual ayuda contra la acidificación de los suelos [43].

V. DISCUCIÒN

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, [22] demostraron que *A. platensis* posee un efecto estimulante sobre los parámetros de crecimiento y la capacidad fotosintética en cultivos de *Lupinus* luteus (lupino amarillo). Por su parte, [23] 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 tal como se indican en los resultados mostrados, 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. De manera similar, [22] utilizaron ANOVA y evidenciaron diferencias significativas en los parámetros de crecimiento de *Lupinus luteus*, 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* 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, [23] 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 [28], quienes utilizando la prueba LSD de Fisher determinaron que la concentración máxima (100%) de *Arthrospira platensis* fue la más beneficiosa para *Vigna radiata L* (frijol verde), 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, 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 [27], 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, [27] 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 [21] 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 [24] quienes encontraron que las concentraciones de 0.04% y 0.08% ofrecieron los mejores resultados en *Anacardium occidentale*. No obstante, otros estudios han identificado dosis más elevadas como las más eficaces; por ejemplo, [20] que en *Capsicum annuum,* la aplicación de una concentración del 0.4% generó frutos de mayor peso 26.50 g, mientras que al aplicar 0.6% 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, 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 [25], 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 [23] quienes afirman que los cultivos presentan un mejor desarrollo en suelos con pH ligeramente ácido, entre 6.0 y 7.0. Por otro lado, [12] 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%.

V. CONCLUSIONES

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.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Agradecemos a todas las personas que colaboraron con su tiempo y conocimientos para la realización del proyecto.

REFERENCES

[1] N. Yapa et al., "Biofertilizantes: una tendencia emergente en la sostenibilidad agrícola," *Chiang Mai Journal of Science*, vol. 49, pp. 608-640, May 2022. [Online]. Available: https://doi.org/10.12982/CMJS.2022.050

[2] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, "La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050," Oct. 11, 2021. [Online]. Available: https://www.fao.org/wsfs/forum2050/wsfs-forum/es/

[3] Banco Mundial, "Agricultura y alimentos," Mar. 15, 2024. [Online]. Available: https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/overview

[4] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, "Efectos de plaguicidas y fertilizantes sobre el medio ambiente y la salud y formas de reducirlos," Dec. 8, 2022. [Online]. Available: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34463/JSUNEPPF_Sp.pdf

[5] Organización de las Naciones Unidas, "Los suelos, origen de los alimentos," Dec. 2, 2022. [Online]. Available: https://www.un.org/es/cr%C3%B3nica-onu/los-suelos-origen-de-los-alimentos

[6] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, "FAOSTAT," 2024. [Online]. Available: https://www.fao.org/faostat/es/#country/170

[7] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, "Mercado de fertilizantes inorgánicos," 2022. [Online]. Available: https://repositorio.midagri.gob.pe/jspui/handle/20.500.13036/1288

[8] Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, "Reporte de Mercado de Fertilizantes en el Perú," 2023. [Online]. Available: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5511128/4909571-reporte-de-mercado-de-fertilizantes-en-el-peru-2023.pdf?v=1701471612

[9] Banco Central de Reserva del Perú, "Caracterización del departamento de la Libertad," 2023. [Online]. Available: https://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Trujillo/la-libertad-caracterizacion.pdf

[10] M. Suchithra et al., "Effectiveness of green microalgae as biostimulants and biofertilizer through foliar spray and soil drench method for tomato cultivation," *South African Journal of Botany*, vol. 146, pp. 740-750, 2022. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.12.022

[11] International Fertilizer Association, "Biostimulants," 2024. [Online]. Available: https://www.fertilizer.org/science/innovation/plant-biostimulants/

[12]F. Arahou et al., "Spirulina-Based Biostimulants for Sustainable Agriculture: Yield Improvement and Market Trends," *BioEnergy Research*, vol. 16, pp. 1401–1416, 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/s12155-022-10537-8

[13]A. Chabili et al., "Una revisión exhaustiva de bioestimulantes basados en microalgas y cianobacterias para usos agrícolas," *Plants*, vol. 13, p. 159, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/plants13020159

[14]P. Deepika and D. MubarakAli, "Production and assessment of microalgal liquid fertilizer for the enhanced growth of four crop plants," *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, vol. 28, 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101701

[15]A. Miranda et al., "The Role of Cannabis and The Endocannabinoid System in Sleep Regulation and Cognition: A Review of Human and Animal Studies," *Behav Sleep Med*., vol. 2, pp. 217-233, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.1080/15402002.2023.2232497

[16]D. Santoro et al., "Transcriptomic profile of lettuce seedlings (Lactuca sativa L.) response to microalgae extracts used as biostimulant agents," *AoB PLANTS*, vol. 15, 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.1093/aobpla/plad043

[17]F. Melini et al., "Effect of microbial plant biostimulants on fruit and vegetable quality: current research lines and future perspectives," *Frontiers in Plant Science*, vol. 14, 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1251544

[18]I. Puglisi et al., "Effect of Microalgal Extracts from Chlorella vulgaris and Scenedesmus quadricauda on Germination of Beta vulgaris Seeds," *Plants*, vol. 9, p. 675, 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/plants9060675

[19]Q. Xu, T. Zhu, R. Zhao, Y. Zhao, Y. Duan, X. Liu, G. Luan, R. Hu, S. Tang, X. Ma, Y. Liu, S. Li, y X. Lu, "Arthrospira promotes plant growth and soil properties under high salinity environments," Frontiers in Plant Science, vol. 14, 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1293958.

[20]E. Seğmen and H. Özdamar, "Effects of foliar applications of commercial seaweed and spirulina platensis extracts on yield and fruit quality in pepper (Capsicum annuum L.)," *Cogent Food & Agriculture*, vol. 9, no. 1, 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2233733

[21]M. S. Al-Khafaji M. Al-Jubouri, and R. P. Ray, "Unraveling debris-enhanced local scour patterns around non-cylindrical bridge piers: experimental insights and innovative modeling," *Sustainability*, vol. 15, no. 22, p. 15910, 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/su152215910

[22]Z. Shedeed et al., "Arthrospira platensis Biofertilization for Enhancing Growth, Photosynthetic Capacity and Yield of Lupinus luteus," *Agriculture*, vol. 12, p. 781, 2022. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/agriculture12060781

[23]M. Al Dayel and F. El Sherif, "Arthrospira platensis foliar spraying curcuma longa has improved growth, yield, and curcuminoid biosynthesis gene expression, as well as curcuminoid accumulation," *Horticulturae*, vol. 8, p. 469, 2022, doi: 10.3390/horticulturae8060469.

[24]K. Nogueira et al., "Cashew Rootstock Production Using Spirulina Platensis Biomass," *Food/Feed Science and Technology*, vol. 65, 2022. [Online]. Available: https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022220042

[25]S. Ismaiel, F. Khedr, A. Metwally, y A. Soror, "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, vol. 9, no. 3, pp. 650–657, 2022. [Online]. Available: https://doi.org/10.14719/pst.1748.

[26]M. Ghallab, N. Bukhari, E.-A. Salem, M. El-Zaidy, A. El-Sheikh, y R. Raja, "Influence of Spirulina Extract on Physiological, Qualitative, and Productive Traits of Four Sugarcane Genotypes," Agronomy, vol. 14, no. 7, p. 1594, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/agronomy14071594.

[27]A. Coronel Quelal, "Comparación del efecto de tres biofertilizantes: Biol, Algas marinas y Espirulina (Arthrospira platensis), en la producción orgánica de lechuga (Lactuca sativa L.)," Tesis de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2022. [Online]. Available: https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/35926

[28]R. Dineshkumar, M. Duraimurugan, N. Sharmiladevi, L. Priya, A. Ahamed, A. Arumugam, y P. Sampathkumar, "Microalgal liquid biofertilizer and biostimulant effect on green gram (Vigna radiata L) an experimental cultivation," Biomass Conversion and Biorefinery, vol. 12, pp. 3007–3027, 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/s13399-020-00857-0.

[29]M. Villena, C. Pabón, A. Mora, y H. López, Fertilización sostenible y Gestión Integral de Nutrientes, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), Gobierno de Chile, 2022. [Online]. Available: https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/4149a490-eec5-4413-a123-10218a8574ca/content.

[30]G. Samaniego, "Enfoque, tipo, diseño y método de investigación," *Mi asesor de tesis*, 2022. [Online]. Available: https://miasesordetesis.com/enfoque-tipo-disenometodo-de-investigacion/#Enfoque_cuantitativo

[31]J. Arias and M. Covinos, "Diseño y metodología de la investigación," *Enfoques Consulting EIRL*, 2021. [Online]. Available: http://hdl.handle.net/20.500.12390/2260

[32]R. Hernández and C. Mendoza, *Metodología de la investigación: las rutas: cuantitativa, cualitativa y mixta*, 5th ed. México: Mc Graw Hill, 2018. [Online]. Available: http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/handle/54000/1292

[33]J. Arias, *Diseño y metodología de la investigación*, 1st ed. Perú: Enfoques Consulting, 2020. [Online]. Available: https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26022w/Arias_S2.pdf

[34]E. Carrasco, "Evaluación de cuatro dosis de thiocyclam hidrogenoxalato para el control de sogata (Tagosodes orizicolus) en arroz (Oryza sativa), Jahuanga, Uctubamba, 2022," Tesis de titulación, Universidad Politécnica Amazónica, 2023. [Online]. Available: https://repositorio.upa.edu.pe

[35]A. Tongo, "Efecto de cuatro sustratos en el desarrollo de hijuelos de plátano (Musa paradisiaca l.), en condiciones de vivero; Otuccho, Cumba; Utcubamba, Amazonas, 2020," Tesis de titulación, Universidad Politécnica Amazónica, 2021. [Online]. Available: https://repositorio.upa.edu.pe

[36]Universidad Privada del Norte, "Código de Ética del Investigador Científico UPN," Resolución Rectoral Nº 104-2016-UPN-SAC, 2016. [Online]. Available: https://www.upn.edu.pe/sites/default/files/2020-06/codigo-etica-investigador-cientifico-upn.pdf

[37]A. Anvar, B. Nowruzi, "Propiedades bioactivas de la espirulina: Una revision". *Bioactivos microbianos,* vol 4, p. 134 - 142, 2021. [Online]. Available https://doi.org/10.25163/microbbioacts.412117B0719110521

[38]D. Frassine, R. Braglia, F. Scuderi, E. Redi, A. Gismondi,G. Di Marco, L. Rugnini, A. Canini, "Sustainability in Aquaponics: Industrial Spirulina Waste as a Biofertilizer for Lactuca sativa L. L.", *Plants. Plants (Basel),* vol 23, p. 4030. 2023 [Online]. Available: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10707910/#sec1-plants-12-04030

[39]J. Siringi, L. Turoop, F. Njonge, "Biostimulant effect of Spirulina (Arthrospira platensis) on lettuce (Lactuca sativa) cultivated under aquaponic system". *Journal of Biology,* vol 1, p. 24–33, 2022. [Online]. Available: https://doi.org/10.54647/biology18204

[40]E. Jiménez, J. Delgadillo, X. Gómez, P. López, A Peón, C. Jardínez, "La complejidad del género Arthrospira". *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, vol 25, 2024. [Online]. Available: https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/12908

[41]M. Elnajar, M. Aldesuquy, H. Abdelmoteleb, E. Eltanahy "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*, vol. 24, p. 233, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.1186/s12870-024-04905-z

[42]I. López, L. Martínez, G. Pérez, Y. Reyes, M. Núñez, J. Cabrera, "Las algas y sus usos en la agricultura. Una visión actualizada". *Cultivos Tropicales*, vol. 2, 2020. [Online]. Available: https://www.redalyc.org/journal/1932/193264539010/193264539010.pdf

[43]S. Guo, P. Wang, X. Wang, M. Zou, C. Liu, J. Hao, "Microalgae as Biofertilizer in Modern Agriculture. [Microalgas como biofertilizantes en la agricultura moderna. Biotecnología de microalgas para alimentos, salud y productos de alto valor". *Springer, Singapur,* p. 397 – 411, 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-981-15-0169-2_12