

# UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO  
FACULTAD DE POSGRADO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y  
POSGRADO

INFORME DE INVESTIGACIÓN  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**

**TEMA:**

“Evaluación de biofertilizante a base de microalgas *Spirulina*  
(*Arthrospira platensis*) en cultivo de maíz suave (*Zea mays L.*)”

**AUTOR:**

Verónica Geoconda Guilcapi Ávalos

**DIRECTOR:**

M.Sc. Luis Eduardo Cagua Montaña Ph.D.

*Milagro, 2025*

## Derechos de Autor

Sr. Dr.

**Fabricio Guevara Viejó**

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Yo, **Verónica Geoconda Guilcapi Ávalos**, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de **Magíster en Biotecnología**, como aporte a la Línea de Investigación **Desarrollo sostenible** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Proyecto de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

**Milagro, 8 de agosto de 2025**

---

**Verónica Geoconda Guilcapi Ávalos**

**C.I.: 0603968769**

## Aprobación del Tutor del Trabajo de Titulación

Yo, **Luis Eduardo Cagua Montaña**, en mi calidad de tutor del trabajo de titulación, elaborado por **Verónica Geoconda Guilcapi Ávalos**, cuyo tema es **Evaluación de un biofertilizante a base de microalgas *Spirulina (Arthrospira platensis)* en cultivo de maíz suave (*Zea mays L.*)**, que aporta a la Línea de Investigación **Desarrollo productivo**, previo a la obtención del Grado **Magíster en Biotecnología**. Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo **APRUEBO**, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

**Milagro, 8 de agosto de 2025**



Firmado electrónicamente por:  
**LUIS EDUARDO CAGUA  
MONTAÑO**

Validar únicamente con FirmaEC

---

**M.Sc. Luis Eduardo Cagua Montaña Ph.D.**  
**C.I.: 0924773559**

## Aprobación del tribunal calificador

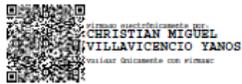


### VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO FACULTAD DE POSGRADO ACTA DE SUSTENTACIÓN MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA

En la Facultad de Posgrado de la Universidad Estatal de Milagro, a los seis días del mes de agosto del dos mil veinticinco, siendo las 15:00 horas, de forma VIRTUAL comparece el/la maestrante, ING GUILCAPI AVALOS VERONICA GEOCONDA, a defender el Trabajo de Titulación denominado "EVALUACIÓN DE UN BIOFERTILIZANTE A BASE DE MICROALGAS (ARTHROSPIRA PLATENSIS) SPIRULINA EN CULTIVO DE MAÍZ SUAVE (ZEA MAYS L.)", ante el Tribunal de Calificación integrado por: Mgs VILLAVICENCIO YANOS CHRISTIAN MIGUEL, Presidente(a), Dra. NORIEGA VERDUGO DELIA DOLORES en calidad de Vocal; y, Ph.D. VALENZUELA COBOS JUAN DIEGO que actúa como Secretario/a.

Una vez defendido el trabajo de titulación; examinado por los integrantes del Tribunal de Calificación, escuchada la defensa y las preguntas formuladas sobre el contenido del mismo al maestrante compareciente, durante el tiempo reglamentario, obtuvo la calificación de: **99.33** equivalente a: **EXCELENTE**.

Para constancia de lo actuado firman en unidad de acto el Tribunal de Calificación, siendo las 16:00 horas.



Mgs VILLAVICENCIO YANOS CHRISTIAN MIGUEL  
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Dra. NORIEGA VERDUGO DELIA DOLORES  
VOCAL



Ph.D. VALENZUELA COBOS JUAN DIEGO  
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL



ING GUILCAPI AVALOS VERONICA GEOCONDA  
MAGISTER

## DEDICATORIA

“A Dios, por el regalo de cada día”

“A la persona más luchadora y fuerte, que puedo conocer, yo”

“A mis padres Gloria y Raúl, por su amor incondicional y por ser el motor que me ha impulsado  
a alcanzar mis sueños”

“A mis hijos Sebastián y Benjamín, para que cada logro sea un ejemplo de lo que se puede  
lograr con esfuerzo”

“A mis hermanos Héctor, Geovanny y Sandra, por su apoyo y por ser el ejemplo de  
perseverancia que me ha guiado”.

**Verónica**

## AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento está dirigido a:

“Mis profesores, por sus enseñanzas para desenvolverme profesionalmente y haberme compartido sus conocimientos, en especial a aquellos que han facilitado este proceso”.

“A mi familia por motivarme cuando me veía vencida”.

“A mi esposo Roberto, por ser mi roca y mi inspiración”.

“A mi tutor por su dedicación y paciencia, M.Sc. Luis Cagua Ph.D”.

## Resumen

El uso indiscriminado de agroquímicos invita a reflexionar sobre el consumo seguro de productos agrícolas que hoy en día afectan la salud y al ambiente. Una de las alternativas sostenibles es el uso de los biofertilizantes a base de microorganismos, en este estudio se evaluó la concentración de la microalga *Arthrospira platensis* en un biofertilizante líquido al 30% y 60% y sin tratamiento, aplicado a plantas de maíz (*Zea mays L.*) la cianobacterias Spirulina es utilizada comúnmente en el área alimenticia, ambiental y agrícola. El cultivo puro de la cianobacterias *Arthrospira platensis*, se adquirió en la empresa BIOTECHPLANT en Milagro y se mantuvo bajo control la nutrición de la microalga y condiciones físico químicas propias de la Spirulina en un sistema cerrado. La aplicación de biofertilizante en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) mostró resultados favorables en comparación con un tratamiento sin estimulación para su desarrollo. Las plantas del tratamiento 2 (T2) presentaron mayor vigor y grosor en el tallo, alcanzando una altura promedio de 39,43 cm a los 60 días de evaluación. Además, la aparición radicular ocurrió a los 2 días después de la siembra, mientras que el coleóptilo emergió en un promedio de 2,7 días. En contraste, el tratamiento 1 (T1) mostró un retraso en la germinación, con un tiempo promedio de 4,4 días. Asimismo, la altura promedio de las plantas en este grupo fue de 30,27 cm y la aparición radicular ocurrió a los 3,3 días, evidenciando un menor desarrollo en comparación con T2. Al realizar la prueba de Tukey en relación a la variable emergencia radicular, el resultado muestra diferencias significativas: el tratamiento  $T0 \neq T1$ , así como  $T0 \neq T2$  en el número de días, el grupo 1 muestra una diferencia de medias de -2.0 y un valor  $p= 0.0128$  y en el grupo 2 la diferencia de medias es de -2.6667 y un valor  $p$  de 0.0032; y en el grupo 3,  $T1=T2$  con una diferencia de -0.667, es decir, que no presenta diferencia significativa alguna, ya que estos tratamientos estuvieron sometidos a un riego con diferente concentración de microalgas *Arthrospira platensis*, el tiempo de germinación fue de 5,2 días y una altura de 25,7 cm.

**Palabras claves:** Biofertilizante, microalga, Spirulina, *Arthrospira platensis*, Maíz (*Zea mays L.*)

## Abstract

The indiscriminate use of agrochemicals invites us to reflect on the safe consumption of agricultural products that nowadays affect health and the environment. One of the sustainable alternatives is the use of biofertilizers based on microorganisms. In this study, the concentration of the microalga *Arthrospira platensis* in a liquid biofertilizer at 30% and 60% and without treatment, applied to corn plants (*Zea mays L.*) was evaluated. The cyanobacterium *Spirulina* is commonly used in the food, environmental and agricultural areas. The pure culture of the cyanobacterium *Arthrospira platensis* was acquired from the company BIOTECHPLANT in Milagro City and maintained under controlled physicochemical conditions such as microalgae nutrition and physicochemical conditions typical of *Spirulina* under a closed system. The application of the biofertilizer in the cultivation of corn plants (*Zea mays L.*) gave good results because it was compared with a treatment to which no stimulation was given for its development. The plants of treatment 2 (T2) showed vigor and thickness in the stem, reaching an average height of 39.43 cm until 60 days of evaluation. The root sprout was at 2 days after sowing and the coleoptile emerged at 2.7 days, compared to treatment T1 at 30% where the germination time was 4.4 days, the average plant height reached 30.27 cm and the root sprouted at 3.3 days. When performing the Tukey test, it gives us a result with high significant differences: The treatment T0  $\neq$  T1, as well as T0  $\neq$  T2, in the number of days. Group 1 shows a mean difference of -2.0 with a p-value of 0.0128, while in Group 2, the mean difference is -2.6667 with a p-value of 0.0032. In Group 3, T1 = T2 with a difference of -0.667, meaning there is no significant difference, as these treatments were subjected to irrigation with different concentrations of the microalga *Arthrospira platensis*. The germination time was 5.2 days, and the plant height reached 25.7 cm.

**Keywords:** Biofertilizer, microalgae, *Spirulina*, *Arthrospira platensis*, Corn (*Zea mays L.*)

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> Composición bioquímica de la <i>Espirulina Platensis</i> .....	13
<b>Tabla 2</b> Clasificación taxonómica del género <i>Arthrospira</i> .....	19
<b>Tabla 3</b> Tratamientos para la evaluación y desarrollo del cultivo de maíz ( <i>Zea mays L.</i> ) ....	27
<b>Tabla 4</b> Esquema del análisis de varianza para la Evaluación de un biofertilizante a base de microalgas ( <i>Arthrospira platensis</i> ) Spirulina en cultivo de maíz suave ( <i>Zea mays L.</i> ).....	28
<b>Tabla 5</b> Resultado tiempo de germinación del cultivo de maíz ( <i>Zea mays L.</i> ).....	32
<b>Tabla 6</b> Altura del tallo del cultivo de maíz ( <i>Zea mays L.</i> ) .....	33
<b>Tabla 7</b> Tiempo de emergencia radicular .....	35

UNEMI

## ÍNDICE

Resumen .....	vii
Introducción .....	1
<b>CAPÍTULO I: El Problema de la Investigación .....</b>	<b>3</b>
1.1. Planteamiento del problema .....	3
1.2. Delimitación del problema.....	4
1.3. Formulación del problema.....	5
1.4. Preguntas de investigación .....	5
1.5. Objetivos: .....	6
1.5. Hipótesis.....	6
1.6. Justificación .....	8
1.7. Declaración de las variables (Operacionalización) .....	9
<b>CAPÍTULO II: Marco Teórico Referencial .....</b>	<b>10</b>
2.1. Antecedentes Referenciales .....	10
2.2. Marco Conceptual.....	11
2.2.3.2 Estructura de la <i>Espirulina platensis</i> .....	12
2.3. Marco Teórico.....	15
2.3.2 Tipos de biofertilizantes.....	15
2.3.3 Uso de biofertilizantes en el Ecuador .....	16
2.3.6.1 Biología de las microalgas .....	19
2.3.6.2 Cultivo de microalgas .....	21
<b>CAPÍTULO III: Diseño Metodológico.....</b>	<b>23</b>
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	23
3.2. La población y la muestra .....	23
3.3. Los métodos y las técnicas .....	23
3.3.1.1 Producción del biofertilizante.....	24
3.4. Procesamiento estadístico de la información .....	27
3.5 Variables y métodos de evaluación .....	28
<b>CAPÍTULO IV: Análisis e Interpretación de Resultados .....</b>	<b>30</b>
4.1. Análisis e Interpretación de Resultados .....	30
<b>CAPÍTULO V: Conclusiones, Discusión y Recomendaciones .....</b>	<b>38</b>
5.1. Discusión .....	38
5.2. Conclusiones .....	39
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>41</b>

## Introducción

La importancia de los biofertilizantes a base de microalgas en la actualidad surge por la aparición de enfermedades como el cáncer entre otras, que posiblemente se deba a la bioacumulación y biomagnificación presentes en los productos agrícolas y animales, cuando los ingerimos. La agricultura moderna y el desarrollo de la biotecnología ha motivado a nuestros agricultores a emplear tecnificación en sus cultivos y a reducir la dependencia de agroquímicos como una alternativa sostenible al ambiente, este año nuestro País sufrió grandes amenazas debido a la sequía y la minería ilegal que concientizó al productor, motivando el uso de biofertilizantes y bioestimulante en sus cultivos. Los microorganismos que son la base de ellos biofertilizantes ayudan a las plantas a ser más resistentes a condiciones adversas como la sequía, cambio climático y las enfermedades, estos eventos son más frecuentes en nuestro País debido al uso extensivo de agroquímicos, si bien es cierto, los agroquímicos no actúan de manera selectiva y poseen más de un ingrediente activo.

La *Spirulina (Arthrospira platensis)*, es un alga verdeazulada con un alto contenido proteico en su membrana celular que va entre el 60 – 70% superando a otras fuentes vegetales incluso a la carne, contiene otras fuentes de proteína vegetal y aminoácidos esenciales que ni el cuerpo humano la produce motivo por el cual es usada en la nutrición. En la agricultura la *Spirulina* aporta como suplemento para los animales y aporta nutrientes esenciales a las plantas que a través de este estudio fue posible identificar: un aumento de vigor y grosor en el tallo, fortalecimiento del sistema radicular y una reducción del tiempo de germinación de las plantas. Otros estudios han demostrado que en el café reduce su tiempo de latencia en la germinación, porque estas plantas tardan hasta 45 días en emerger, lo que optimiza tiempo y recursos.

La propagación de la biomasa de la *Arthrospira platensis* se realiza por sistemas semiabiertos y cerrados, en esta investigación se realizó mediante un fotobiorreactor el cual fue

controlado con parámetros físico-químicos como es la nutrición de la cianobacterias que se realizó a través de soluciones de micro y macronutrientes, cada tres días para no perder la concentración de células vivas y pierda efectividad el bioformulado en las plantas de maíz (*Zea mays L.*). Se utilizó 2 diferentes concentraciones y el tratamiento T0 no contuvo bioestimulante, los resultados de estas concentraciones fueron evaluadas mediante el diseño estadístico ANOVA y posteriormente se aplicó el método de Tukey para crear intervalos de confianza entre las medias de los niveles de los tratamientos, el resultado de esta prueba es que existen diferencias significativa en la variable de emergencia radicular de las plantas que es una de las variables de investigación, pues la variable muestral fue mayor al valor calculado, el resultado de esta prueba es que T0=T1 tiene una diferencia de medias de -2 valor  $p= 0.0128$  y T0=T2 tiene una diferencia de -2.67 con un valor  $p= 0.032$  y entre el grupo T1=12 no hay diferencia significativa.

Las variables evaluadas en esta investigación fueron el tiempo de germinación y emergencia y el brote radicular de la planta, siendo más óptimo el tratamiento bajo la concentración del 60% de Spirulina 1g/mL.

## CAPÍTULO I: El Problema de la Investigación

### 1.1. Planteamiento del problema

El sector agrícola busca soluciones sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, especialmente en lo que respecta al uso de fertilizantes químicos. Reducir la dependencia de los agroquímicos y promover prácticas agrícolas más sostenibles mediante el uso de biofertilizantes se ha convertido en un desafío global.

Como señalan Walling y Vaneeckhaute (2020) en su artículo de investigación, el uso de fertilizantes sintéticos está vinculado a la emisión de gases de efecto invernadero como el óxido nitroso ( $N_2O$ ), el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y el metano ( $CH_4$ ), todos ellos implicados en el cambio climático. El  $N_2O$ , en particular, tiene un potencial de calentamiento global notablemente alto, incluso mayor que el del  $CO_2$ , y permanece en la atmósfera durante mucho tiempo, alrededor de 121 años, como informa Kudeyarov (2020).

La humanidad está en una encrucijada y su futuro dependerá de las decisiones que se tomen en los próximos años. En este contexto, es importante recordar algunas de las afirmaciones del reciente informe del Panel de Expertos (Cambridge University Press, 2021), presentado en Cataluña, España. En este informe se afirma lo siguiente:

- “No cabe duda de que la actividad humana ha provocado un aumento de la temperatura de la atmósfera, los océanos y las zonas terrestres. Se han producido cambios rápidos y generalizados en la atmósfera, los océanos, la criosfera y la biosfera”.

- “Muchos cambios en el sistema climático están directamente relacionados con el calentamiento global. Estos incluyen el aumento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos de calor extremo, las olas de calor marinas, las fuertes precipitaciones, las sequías agrícolas y ecológicas en diversas regiones, así como una mayor proporción de ciclones tropicales intensos y la reducción del hielo marino, la capa de nieve y el permafrost del Ártico”.

- “Se espera que el calentamiento global continúe intensificando el ciclo global del agua, afectando su variabilidad, las precipitaciones monzónicas y la severidad de los eventos húmedos y secos”.

Las advertencias emitidas por los expertos son claras y requieren nuestra atención urgente. La acción rápida de los gobiernos podría determinar el destino de las comunidades que representan y, en última instancia, el futuro de nuestro planeta en su conjunto. Uno de los desafíos agronómicos más importantes que enfrenta el mundo es destacado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2021).

En 2019 se realizó un análisis para cuantificar el uso de fertilizantes inorgánicos y los resultados fueron alarmantes al observarse su aumento a lo largo del tiempo. Según el IPCC, desde 1961, la disponibilidad de alimentos por persona ha aumentado en más de un 30%, aumento que ha ido acompañado de un notable incremento en el uso de fertilizantes nitrogenados, que ha aumentado cerca de un 800%, y en el consumo de recursos hídricos para riego, que ha aumentado en más de un 100% (Mbow et al., 2019). Esta tendencia está muy extendida y se espera que siga creciendo desproporcionadamente durante las próximas décadas.

Como alternativa a la reducción del uso de químicos, se sugiere la implementación total o parcial de biofertilizantes. Según el autor Aghili et al. (2014), estos biofertilizantes son productos que contienen microorganismos vivos o componentes derivados de organismos, como bacterias, hongos y algas, que promueven las propiedades químicas y biológicas del suelo. Además, contribuyen a restaurar la fertilidad del suelo y a estimular el crecimiento de las plantas, como destaca la publicación de Abdel-Raouf N (2012).

## 1.2. Delimitación del problema

**CAMPO:** Biotecnología  
**ÁREA:** Agrícola  
**LÍNEA:** Desarrollo Productivo  
**LUGAR:** Riobamba  
**TIEMPO:** 3 meses

### 1.3. Formulación del problema

La agricultura moderna enfrenta el desafío de producir alimentos de manera sostenible, reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos sintéticos que pueden tener impactos ambientales negativos y altos costos de producción. En este contexto, los biofertilizantes a base de microalgas, como *Arthrospira platensis* (Spirulina), emergen como una alternativa prometedora debido a su capacidad de aportar nutrientes, compuestos bioactivos y mejorar la salud del suelo y la planta. Sin embargo, existe una brecha de conocimiento específica en cuanto a la eficacia y el rendimiento de un biofertilizante formulado con Spirulina en el cultivo de maíz suave (*Zea mays* L.) bajo condiciones locales o específicas de cultivo, y la determinación de las concentraciones y métodos de aplicación más óptimos para maximizar sus beneficios agronómicos. Actualmente, no se tiene plena certeza sobre cómo este tipo de biofertilizante afecta directamente los parámetros de crecimiento, rendimiento y calidad del maíz suave en comparación con las prácticas de fertilización convencionales.

### 1.4. Preguntas de investigación

¿Cuál es el efecto de diferentes concentraciones de biofertilizante con *Arthrospira platensis* en la aplicación del cultivo?

¿Existen diferencias significativas en el crecimiento, tiempo de emergencia del maíz suave (*Zea mays* L.) entre los tratamientos con diferentes concentraciones de *Arthrospira platensis* y el tratamiento 0?

¿Cuál es la concentración óptima de biofertilizante a base de *Arthrospira platensis* para acelerar el proceso de crecimiento y posteriormente un rendimiento de maíz (*Zea mays L.*)?

¿Cómo afecta la aplicación de biofertilizante a base de *Arthrospira platensis* al tiempo de crecimiento radicular de la planta de maíz (*Zea Mays L.*)?

## **1.5 Objetivos:**

### **1.5.1 Objetivo general**

Evaluar un biofertilizante a partir de microalgas (*Arthrospira platensis*) Spirulina en diferentes concentraciones y su efectividad en plantas de maíz (*Zea mays L.*).

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Evaluar el crecimiento vegetativo a través de la medición de la longitud del tallo de las plantas de maíz (*Zea mays L.*).
- Evaluar el desarrollo radicular de las plantas tratadas con diferentes concentraciones de biofertilizantes.
- Determinar el biofertilizante más óptimo que garantice un tiempo más corto para la germinación de las semillas de maíz (*Zea mays L.*).
- Determinar el tratamiento más efectivo que le da mayor crecimiento a las plantas de maíz (*Zea mays L.*).

## **1.5. Hipótesis**

H1: El uso de biofertilizantes a base de microalgas mejora el desarrollo del cultivo de maíz (*Zea mays L.*).

H0: El uso de biofertilizantes a base de microalgas no mejora el desarrollo del cultivo de maíz (*Zea mays L.*).

**Tabla 1 Operacionalización de variables**

Variable	Definición conceptual	Tipo de variable	Dimensiones/Indicadores	Instrumento de medición	Escala de medición
<b>Variable Independiente</b>					
<b>Aplicación de biofertilizante</b>	Presencia y dosificación de un producto elaborado a base de microalgas <i>Arthrospira platensis</i> administrado al cultivo de maíz suave con el fin de promover su desarrollo.	Cualitativa - nominal  Cuantitativa - razón	<p><b>Tipos de tratamiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Control (sin biofertilizante)</li> <li>- Biofertilizante a base de Spirulina (diferentes de concentraciones/dosis)</li> <li>-Tratamiento sin fertilizante</li> </ul> <p><b>Concentración/Dosis:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-g de biomasa/L de agua</li> <li>-Kg de biomasa/#planta</li> </ul> <p><b>Frecuencia de aplicación:</b></p> <p>Cada 3 días y en etapas fenológicas de la planta de maíz.</p> <p><b>Método de aplicación:</b></p> <p>Foliar en etapas fenológicas y Riego incorporación al suelo</p>	Ficha de tratamiento y Dosis	<p><b>Nominal:</b> para tipos de tratamiento</p> <p><b>Razón:</b> Concentración/dosis</p>
<b>Variables dependientes</b>					
<b>Parámetros de crecimiento</b>	Medidas morfológicas y fisiológicas que reflejan el desarrollo vegetativo y la biomasa de las plantas de maíz.	Cualitativa y cuantitativa - razón	<p><b>Altura de planta:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Desde la base del tallo, hasta el ápice de la hoja más alta.</li> <li>- Diámetro de tallo, una altura estándar</li> </ul> <p><b>Tiempo de emergencia de la ra:</b></p> <p>Medida a una altura estándar (Base del entrenudo)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- flexómetro</li> <li>-cinta métrica</li> </ul>	<b>Razón:</b> Días/cm ,Kg, mm

---

**Tiempo de  
emergencia  
radicular:**

Medida de la longitud  
radicular, a las 7 am  
c/día

---

## **1.6. Justificación**

La necesidad de desarrollar y utilizar biofertilizantes basados en microalgas en la agricultura surge de la creciente demanda de prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes. Aunque los fertilizantes químicos tradicionales han logrado aumentar el rendimiento de los campos, han provocado graves problemas ambientales, como la contaminación del agua y del suelo, la pérdida de biodiversidad y la degradación de ecosistemas enteros.

Las microalgas representan una alternativa prometedora porque contienen nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes como hierro, zinc y manganeso, que son esenciales para el crecimiento de las plantas. Además, los compuestos bioactivos presentes en estas microalgas no solo estimulan el desarrollo vegetativo, sino que también fortalecen el sistema inmunológico de las plantas, haciéndolas más resistentes al estrés abiótico y biótico gracias a las hormonas vegetales (como auxinas, giberelinas y citoquininas), así como a diversas vitaminas y antioxidantes.

A diferencia de los fertilizantes químicos, los biofertilizantes derivados de microalgas son naturales y biodegradables, lo que reduce su impacto ambiental y promueve una agricultura más sostenible. Estos biofertilizantes también pueden ayudar a las plantas a adaptarse a las condiciones climáticas cambiantes, como el aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones.

En resumen, los biofertilizantes basados en microalgas representan una opción prometedora y sostenible para la agricultura moderna. Su capacidad para mejorar la salud del suelo, aumentar la productividad de los cultivos y minimizar el impacto ambiental los convierte en una herramienta valiosa para abordar los desafíos actuales de la producción de alimentos.

### **1.7. Declaración de las variables (Operacionalización)**

#### **Variables independientes**

- a. Concentración del biofertilizante

#### **Variables dependientes**

- a. Tiempo de germinación
- b. Altura de la planta
- c. Tiempo de emergencia de la raíz

## CAPÍTULO II: Marco Teórico Referencial

### 2.1. Antecedentes Referenciales

La evolución biotecnológica de los biofertilizantes en Ecuador ha sido dinámica, combinando investigación científica, aplicación práctica en la agricultura y un fuerte compromiso con la sostenibilidad y la educación. Gracias a esto, los biofertilizantes se han consolidado como una alternativa viable y efectiva para estimular la producción agrícola del país (Solis-Charcopa, 2017).

La biotecnología, como disciplina científica, se basa en recursos biológicos para crear bienes y servicios en diversos campos. En los últimos tres años, el uso de métodos biotecnológicos en medicina, particularmente en el desarrollo de vacunas contra la COVID-19, ha demostrado claramente el potencial transformador de esta ciencia para la sociedad. Sin embargo, el alcance de la biotecnología también se extiende a sectores como la agricultura, la restauración ambiental y la industria, como destaca la revista Forbes Ec (2022).

Países como Brasil, México y Argentina han integrado la bioeconomía en sus estrategias de desarrollo, implementando planes de acción concretos. A su vez, varios países de la región, incluido Ecuador, se han centrado en investigar y comprender el impacto que la bioeconomía puede tener en su progreso nacional. Esto no quiere decir que en Ecuador no haya avances en biotecnología. De hecho, la industria agrícola nacional tiene un gran potencial para beneficiarse del desarrollo de nuevas variedades y del cultivo in vitro de especies, la identificación molecular de variedades y el diagnóstico de enfermedades o plagas. Además, se están realizando esfuerzos para conservar especies de interés y producir bioensayos, nutracéuticos, prebióticos y otros negocios emergentes en el país, todos ellos con importantes oportunidades de crecimiento.

## **2.2. Marco Conceptual**

### **2.2.2 *Microalgas***

Las microalgas y las cianobacterias tienen la notable capacidad de integrarse al suelo como materia orgánica, constituyendo así una valiosa fuente de enzimas, como la fosfatasa, así como de ácidos y álcalis extracelulares que se activan en los espacios periplásmicos de la pared celular. Esta incorporación al suelo no sólo promueve una serie de procesos adicionales, sino que también aumenta la actividad enzimática, facilitando la liberación de nutrientes esenciales para las plantas (McGriff E M. R., 1972). Los biofertilizantes elaborados a partir de cianobacterias y microalgas son capaces de transferir nutrientes esenciales, como el fósforo, desde su forma inorgánica a través de procesos biológicos (Tello, 2016). Por esta razón, en los últimos años se han implementado consorcios de cianobacterias como biofertilizantes, los cuales han demostrado ser muy beneficiosos en el cultivo del arroz.

### **2.2.3 *Espirulina***

La espirulina también se considera una microalga de color azul verdoso que realiza procesos fotosintéticos y tiene una estructura filamentosa y multicelular de forma helicoidal. Las dos especies más importantes son *Spirulina maxima* y *Spirulina platensis*, mencionadas por el autor en su estudio (Tarazona P, 2018). La espirulina crece en el agua y se puede cosechar y procesar debido a su alto contenido de macro y micronutrientes. Las personas que viven cerca de lagos alcalinos donde la espirulina se produce de forma natural la utilizan como suplemento dietético (González, 2018). Un ejemplo es la población africana que vive cerca del lago Chad, en la región de Kanem, una población que sufre altos índices de desnutrición y utiliza espirulina en un alimento llamado dihé, un pastel nutritivo. Este fenómeno fue redescubierto por una misión científica europea y popularizado, menciona en su revista científica (González, 2018).

#### **2.2.3.1 Estructura de la Espirulina**

En cuanto a su morfología, *Spirulina platensis* presenta una estructura filamentosa compuesta por tricomas cilíndricos multicelulares dispuestos en forma de hélice abierta. Esta característica se detalla en el libro de Vonshak (2002). Además, diversos factores ambientales, como la temperatura y las condiciones físicas y químicas, influyen en la geometría de dicha hélice, como mencionan los autores en su publicación (Witton, 2016). En este microorganismo se encuentran en el sistema tilacoide la clorofila a, los carotenos y los ficobilisomas, que contienen ficocianina. La espirulina también exhibe varias inclusiones periféricas asociadas a este sistema, incluyendo gránulos de cianoficina, cuerpos poliédricos, gránulos de poliglucano, gránulos de lípidos y gránulos de polifosfato, como lo describe Salazar (2002).

### **2.2.3.2 Estructura de la *Espirulina platensis***

Según Ciferri (2017), los gránulos de cianoficina, también llamados gránulos de reserva, juegan un papel fundamental en la naturaleza química de la espirulina y en el conjunto de pigmentos que posee. Además, los cuerpos poliédricos o carboxisomas contienen la enzima ribulosa-1,5-difosfato, que es esencial para la fijación de CO<sub>2</sub> en los organismos fotosintéticos. Por otra parte, Vincenzini (2006) señala que los gránulos de poliglucano, o gránulos de glucógeno, son polímeros de glucosa que se difunden fácilmente en el espacio intertilacoide. Por último, los gránulos lipídicos, que son depósitos de reserva compuestos principalmente de polihidroxibutirato (PHB), actúan como reservas de carbono y energía.

### **2.2.3.2 Composición química de la *Espirulina platensis***

#### **2.2.3.2.1 Proteínas**

Las dos especies principales de espirulina, *Spirulina platensis* y *Spirulina máxima*, tienen altos contenidos de proteínas, que varían entre el 60 y el 70 por ciento de su peso corporal menciona en su publicación el autor (Ávalos H, 2017). De los 16 aminoácidos encontrados en *spirulina platensis*, ocho son

esenciales. Como se puede observar en la tabla 1, los aminoácidos que se encuentran en mayores cantidades en la microalga, son: Las dos principales especies de espirulina, *Spirulina platensis* y *Spirulina maxima*, son ricas en proteínas, que representan entre el 60 y el 70 por ciento de su peso, según señala el autor (Ávalos H, 2017). De los 16 aminoácidos identificados en *Spirulina platensis*, ocho son esenciales para el organismo. En la Tabla 1, podemos observar que los aminoácidos presentes en mayor cantidad en esta microalga son:

**Tabla 2** *Composición bioquímica de la *Espirulina Platensis**

<u>Aminoácidos</u>	<u>Porcentaje (%)</u>
Ácido glutámico	17.4
Ácido aspártico	12.2
Leucina	10.9
Valina	7.5
Isoleucina	6.8

Según Chronakis (2001), las interacciones con el agua a alta temperatura y los enlaces de hidrógeno a baja temperatura son factores que promueven la agregación y solidificación de las proteínas presentes en la espirulina.

#### **2.2.3.2.2 Proteínas Ficobilinas**

Los pigmentos fotosintéticos más importantes en las cianobacterias son las ficobiliproteínas. Estos pueden aislarse fácilmente como complejos pigmento-proteína, son altamente solubles en agua y exhiben una fluorescencia notable, como señaló Glazer (2009).

Las ficocianinas son los pigmentos más abundantes en las cianobacterias, que son algas verdes y verdeazuladas. Según Guiry (2015), las ficobiliproteínas están compuestas por un núcleo llamado apoproteína, al cual se adhieren diversos cromatóforos. La forma en que varían

estos enlaces depende del color y de las propiedades de absorción de cada ficobiliproteína. Dentro del grupo de las ficobiliproteínas existen cuatro tipos de cromatóforos, también llamados ficobilinas. Los dos más comunes, presentes en la ficoeritrina, ficocianinas y aloficocianina, son los isómeros ficoeritrobilina y ficocianobilina (Ciferri, 2017).

Las ficobiliproteínas desempeñan un papel crucial como pigmentos fotosintéticos en las cianobacterias, funcionando como un reservorio de nitrógeno celular. En situaciones donde las células enfrentan limitaciones de nitrógeno, estas ficobiliproteínas se transforman en otras formas, como señala Grossman (1986).

Además, estas estructuras pueden descomponerse y utilizarse en la síntesis de otras proteínas y componentes nitrogenados esenciales para las células. Así, el porcentaje de ficobiliproteínas en un medio de cultivo puede representar hasta el 160% de las proteínas solubles de la célula (Grossman, 1986).

Los gránulos de cianoficina son copolímeros de alto peso molecular de ácido aspártico y arginina. En las cianobacterias, éstas se degradan rápidamente cuando comienza la fase de crecimiento, ya que también constituyen el material de reserva de nitrógeno y se acumulan durante la fase estacionaria de los cultivos. Deficiencia de nitrógeno (Kim S, 2015). Las cianobacterias tienen la capacidad de incorporar rápidamente nutrientes esenciales, acumularlos inmediatamente como material de reserva concentrado y movilización controlada de dichas reservas, estas habilidades les ayudan a hacer frente a los cambios del medio en el que se encuentran, según (Ciferri O, 2017).

#### ***2.2.4 Beneficios de la espirulina en el cultivo***

Según un estudio realizado por Farma-química Sur SL en 2016, se demostró la eficacia de la espirulina en plantas como *Solanum lycopersicum* (tomate) y *Capsicum annuum* (pimiento). Los resultados obtenidos revelan los siguientes elementos:

La espirulina activa el sistema de defensa de la planta, resultando en una mayor producción de frutos más grandes y de mejor calidad, con mayor resistencia al estrés ambiental.

Se observa una mayor tasa de germinación y productividad de enraizamiento cuando se aplica mediante fertirrigación.

Además, las plantas tienen mayores volúmenes de nutrientes esenciales como calcio, hierro, manganeso, zinc y selenio, lo que ayuda a equilibrar los niveles de nutrientes necesarios para un desarrollo óptimo.

## **2.3. Marco Teórico**

### **2.3.1 Biofertilizante**

Los biofertilizantes son productos que utilizan organismos vivos benéficos para proporcionar nutrientes al suelo o al agua a través de su actividad biológica (Tiwari M, 2014). Se recomienda su uso para mejorar la fertilidad del suelo aumentando la cantidad de materia orgánica presente. En este contexto, las cianobacterias y las microalgas juegan un papel fundamental, ya que su descomposición facilita la mineralización de nutrientes esenciales, como el nitrógeno y el fósforo, necesarios para el crecimiento de las plantas, como indica Hussain J en su publicación de 2011. Posteriormente, Corrales M. (2017) sustenta esta afirmación mediante un método de caracterización molecular aplicado a cianobacterias.

### **2.3.2 Tipos de biofertilizantes**

Los biofertilizantes se clasifican en bacterias y hongos según lo reportado por Oscar A. (2018), así como cianobacterias (Chatterjee S, 2017) y algas (Boraste A, 2009). Su presentación

puede ser en estado líquido o sólido (Camelo M, 2017), y las formulaciones pueden realizarse utilizando un solo tipo de microorganismo o una combinación de varios.

Entre los biofertilizantes más relevantes se encuentran aquellos a base de hongos micorrízicos y rizobacterias PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria). Dependiendo de dónde crezcan, estos microorganismos pueden clasificarse como simbióticos, endófitos o de vida libre. Criollo PJ (2012) estudió el potencial osmótico y el tamaño de las semillas en un cultivo de plántulas de maíz y concluyó que estos biofertilizantes tienen la capacidad de aumentar la biomasa, la absorción de nutrientes y la supervivencia y el tamaño de las raíces y los brotes en varias especies de plantas.

Además, estos organismos aumentan la absorción de nutrientes, contribuyen a la fijación de nitrógeno y son eficaces en el control biológico, así como en la producción de sideróforos y fitohormonas. Las principales fitohormonas que generan son principalmente auxinas (86%), además de giberelinas, citoquinas y ácido abscísico. También promueven la producción de sustancias químicas en las plantas que inhiben el desarrollo de patógenos, aumentan la competitividad, inducen resistencia y mejoran la respuesta a factores externos que pueden causar estrés. Este descubrimiento fue corroborado por Egamberdiyeva (2004), quien mejoró las condiciones para un biofertilizante basado en bacterias promotoras del crecimiento.

Por otro lado, los biofertilizantes a base de algas, gracias a su composición fitoquímica, ofrecen una variedad de nutrientes, como cobre (Cu), manganeso (Mn), hierro (Fe), calcio (Ca), magnesio (Mg) y fitohormonas. Su aplicación, ya sea directamente o en forma de compost, tiene un efecto bioestimulante sobre los cultivos, como destaca el estudio de Sankar V. (2008).

### **2.3.3 Uso de biofertilizantes en el Ecuador**

La colaboración entre estas instituciones ha dado como resultado el desarrollo de un biofertilizante para maíz, ofreciendo una alternativa tecnológica limpia para la producción de maíz

autóctono, un gran desafío para el sector agrícola del país. Este innovador fertilizante ha sido registrado bajo el nombre FERTIBACTER MAÍZ y tiene el potencial de incrementar el rendimiento del cultivo de maíz en un 30%, al tiempo que reduce los costos de producción en un 21%. Su objetivo es incrementar los ingresos de los agricultores de la región Sierra. Estas pruebas fueron realizadas por INIAP y KOPIA en 2024.

### **2.3.4 Adaptación y mitigación del cambio climático en Ecuador**

Los efectos del cambio climático son cada vez más evidentes en todo el mundo (Watson, citado en Mendelsohn R, 1999). Sin embargo, la capacidad de adaptación y el grado de vulnerabilidad de cada nación son factores clave que influirán en su experiencia ante estos impactos, como lo destaca el estudio sobre variabilidad climática de Mertz O (2009). Por lo tanto, comprender la adaptación y la mitigación es esencial para identificar soluciones efectivas a este problema.

En Ecuador, se han propuesto diversas estrategias para mitigar los efectos del cambio climático, entre ellas la zonificación agroecológica, la optimización de las temporadas de cosecha y la implementación del sistema de riego NC-Ecuador (Parry T, 2007).

Sin embargo, antes de realizar cualquier inversión en tecnologías como el sistema de riego en Ecuador, es fundamental evaluar si los efectos del cambio climático tendrán repercusiones negativas significativas en la economía y el sector agrícola del país. En este sentido, Ecuador ya ha implementado varios programas orientados a la mitigación del cambio climático, como la promoción de sistemas silvopastoriles, la agroforestería, el manejo de ecosistemas vulnerables, el cuidado de animales y el uso de biodigestores para el manejo de estiércol en los sectores forestal y ganadero, iniciativas que han sido validadas por Viteri A (2012).

### 2.3.5 Alternativas ecológicas contra el cambio climático

Numerosos estudios indican que el cambio climático tendrá efectos tanto negativos como positivos en las poblaciones de todo el mundo (Calzadilla et al., 2013). Por otro lado, las investigaciones muestran que los países en desarrollo son los más vulnerables a estas transformaciones debido a sus características económicas (Berg A, 2013). Ecuador es un claro ejemplo: ya se están implementando políticas para mitigar los impactos del cambio climático en el sector agrícola (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012). Sin embargo, es fundamental que estas decisiones se basen en investigaciones de campo, como la evidencia sobre el uso de micorrizas como una alternativa ambientalmente amigable para reducir la dependencia de fertilizantes y químicos. El objetivo de esta investigación es llenar este importante vacío.

### 2.3.6 Microalgas

Taxonomía y caracterización *Arthrospira* Sitzenberger, conocida como ex (Gomont, 1892), es un género de cianobacterias procariotas filamentosas, multicelulares, de color azul verdoso, perteneciente al orden Oscillatoriales, según (Guiry M.D., 2015). Las especies pertenecientes a este género son seres autótrofos fotosintéticos cuyo pigmento principal es la ficocianina, que es la misma ficocianina, sustancia que les da el tono azul verdoso que las distingue según estudios realizados sobre la espirulina como alimento (Tarazona P, 2018).

Estas bacterias también contienen clorofila a, carotenoides y algunas de ellas pueden albergar un pigmento, la ficoeritrina, que da a las bacterias un tono rojo o rosado (FAO, 2008).

Estas están compuestas por filamentos cilíndricos multicelulares enrollados en forma de hélice, cuyas células pueden tener de 2.5 a 12  $\mu\text{m}$  de ancho, en ocasiones 16  $\mu\text{m}$ , y sus tricomas pueden alcanzar un ancho de 16  $\mu\text{m}$  (los filamentos) tienen una disposición en forma de hélice abierta y pueden alcanzar un tamaño de 100 a 200  $\mu\text{m}$  o incluso 500  $\mu\text{m}$  (Ramirez L, 2006), además cuentan con la existencia de paredes o septos entre las células corrobora esto.

### 2.3.6.1 Biología de las microalgas

Las cianobacterias y las microalgas son organismos microscópicos capaces de realizar actividades biológicas, incluida la fotosíntesis oxigenada, un proceso que implica la captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico mediante la absorción de luz. Esta absorción permite la generación de compuestos orgánicos. La clorofila actúa como agente principal en este proceso, constituyendo el componente principal. Durante la fotosíntesis, la molécula de pigmento absorbe la luz solar, utilizando esta energía para descomponer las moléculas de agua, que proporcionan los electrones necesarios para su función y la regeneración de la molécula de clorofila, de forma similar a lo que ocurre en las plantas (Kim S, 2015). Además, otros pigmentos presentes en estos organismos son los carotenoides, los cuales son muy diversos y cumplen una función específica relacionada con la prevención de la fotooxidación de la clorofila (Rowan K, 1989). En un contexto más específico respecto a las áreas de estudio, se destaca que las algas contienen un pigmento llamado ficobiliproteínas, entre las que se encuentran la ficocianina, la ficoeritrina y la aloficocianina. Estas moléculas son responsables de la representación cromática y la protección de la clorofila frente a la luz (Richmond A, 2013).

Debido a su edad, estos microorganismos han desarrollado diversas adaptaciones que les permiten sobrevivir en condiciones de alta salinidad y ambientes extremos, incluyendo sequías, variaciones de salinidad, temperatura y pH, entre otros (Zulpa et al., 2003). Las microalgas prosperan en ecosistemas acuáticos, tanto de agua dulce como terrestres, estableciendo relaciones simbióticas con otros organismos, como plantas de agua dulce, líquenes y otras plantas vasculares o no vasculares. Esta interacción ofrece beneficios significativos para la calidad del suelo, como señala Rueda (2020).

En términos de morfología, tanto las microalgas como las cianobacterias exhiben una morfología similar, representando estructuras unicelulares, coloniales y filamentosas, así como

representantes individuales de estas modalidades. Las microalgas exhiben una notable diversidad en su morfología celular y variaciones en las estructuras celulares que son idénticas a las estructuras de los cloroplastos (Negrin A. y J., 2017). Aunque ambos grupos mantienen relaciones estables, comparten una característica común: son organismos autótrofos.

Los microorganismos autótrofos tienen una serie de características distintivas que los distinguen de otros tipos de organismos. Por ejemplo, las cianobacterias se clasifican como procariotas y comparten similitudes con las bacterias, como tener un único cromosoma circular ubicado en el citoplasma. Además, carecen de orgánulos altamente complejos y su pared celular está formada por peptidoglicano, un carbohidrato característico de las paredes celulares bacterianas. Por otro lado, las microalgas tienen una estructura que incluye cloroplastos y mitocondrias, y su pared celular es similar a la pared celular de las plantas superiores (Bellinger E., 2015).

Además, es importante señalar que la producción de proteínas por parte de las microalgas es una actividad biológica importante. En este sentido, se considera como una nueva alternativa biotecnológica, la cual se analiza en términos de su viabilidad en el manejo y aprovechamiento de residuos orgánicos generados por las actividades agrícolas. Esta opción se explora a menudo para transformar residuos orgánicos en recursos valiosos, tanto desde el punto de vista económico como en el sector alimentario e industrial, como se menciona en (Castrillón R., 2015).

**Tabla 3** Clasificación taxonómica del género *Arthrospira*

<b><u>Arthrospira (Guiry Guiry, 2015)</u></b>	
Dominio:	Prokaryota
Reino:	Eubacteria
Subreino:	Negibacteria
Filo:	Cyanobacteria
Clase:	Cyanophyceae
Subclase:	Oscillatoriophycidae
Orden:	Oscilltoriales
Familia:	Microcoleaceae
Género:	Arthrospira

### 2.3.6.2 Cultivo de microalgas

El autor Trentacoste E. (2015) destaca que la agricultura, especialmente el cultivo de algas, combina actividades agrícolas con métodos tradicionales, utilizando recursos como la luz solar, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el agua, así como macro y micronutrientes necesarios para la acuicultura, la calidad del agua y la gestión de residuos. Sin embargo, se han identificado obstáculos y limitaciones que dificultan su desarrollo, relacionados con métodos de cultivo inadecuados utilizados a gran escala. En respuesta a esto, se han desarrollado fotobiorreactores diseñados para escalas específicas.

Hay muchos parámetros generalmente aceptados a considerar en esta área, incluida la selección de especies, así como factores como la luz, la temperatura, el pH, el CO<sub>2</sub> y los

nutrientes. Estos son los principales elementos para la producción de biomasa por las algas (McGriff E. y M., 1972).

Por su parte, Giamporoni M. (2013) sostiene que la exposición de las microalgas a la luz es necesaria debido a su naturaleza de microorganismos fotosintéticos. Se ha observado que, en ausencia de nutrientes, la fotosíntesis aumenta; Sin embargo, la exposición prolongada a la luz solar puede provocar un retraso del crecimiento, conocido como fotoinhibición. En este sentido es necesario un equilibrio entre intervalos de luz y oscuridad.

Este fenómeno afecta tanto a la producción de nutrientes como al rendimiento de los cultivos. Un estudio realizado por Gómez G. (2006) sugiere implementar ciclos de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad para obtener resultados óptimos. De igual forma, Sánchez A. (2019) hace referencia específica al uso de fuentes de luz artificial, recomendando iluminación fluorescente de 36 W durante el mismo ciclo fotosintético.

Adicionalmente, la temperatura es un factor que influye en el desarrollo bioquímico de las microalgas, afectando las reacciones químicas y la fijación de carbono fotosintético en diversas estructuras físicas, tales como proteínas, lípidos e hidratos de carbono. El rango óptimo de temperatura para este proceso oscila entre 18 y 25 °C, aunque existen especies que pueden desarrollarse en condiciones más frías, como señala García L. (2007).

## CAPÍTULO III: Diseño Metodológico

### 3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación realizada es de naturaleza cuantitativa, ya que se recolectan datos durante un período de tiempo con el fin de obtener resultados sobre las etapas de germinación, crecimiento vegetativo y desarrollo del sistema radicular de los cultivos agrícolas cuando se aplica biofertilizante.

### 3.2. La población y la muestra

La población de estudio corresponde al cultivo de maíz (*Zea mays L.*) de tipo Chazo proveniente del cantón Guano, cultivadas en el laboratorio de bromatología de la ESPOCH, la muestra es estratificada expuesta bajo 3 tratamientos:

**Tabla 4** *N° de tratamientos y muestras experimentales*

<u>Tratamiento</u>	<u>N° Muestras</u>	<u>Descripción</u>
T <sub>0</sub>	3	Sin tratamiento
T <sub>1</sub>	3	(biofertilizante con espirulina al 30%) con 3 repeticiones
T <sub>2</sub>	3	(biofertilizante con espirulina al 60%) con 3 repeticiones

### 3.3. Los métodos y las técnicas

Este trabajo se realizó en el laboratorio de bromatología de la facultad de Salud de la ESPOCH, donde se implementó este ensayo.

#### 3.3.1 FASE DE LABORATORIO

### 3.3.1.1 Producción del biofertilizante

- **Obtención de las microalgas**

El cultivo puro de *Arthrospira platensis*, se adquirió de la empresa BIOTECHPLANT de la ciudad de Milagro, en volumen de 1 Litro.

- **Construcción del fotobiorreactor**

Al destruir el fotobiorreactor autopropulsado, que cuesta 30 litros, se obtienen cristales y gases de escape. Este sistema está conectado a los compartimentos del motor. un aireador que asegura la ausencia de recirculación repentina. El fotobiorreactor de vidrio también utiliza filtros para preparar el intercambio de gases. El área destinada a la fotosíntesis por microondas utiliza lámparas LED de 18W. La temperatura se controla mediante un termómetro sellado en el fotobiorreactor.

- **Preparación del medio de cultivo de Espirulina**

El medio base, dosificado para 1 L, contiene:

Bicarbonato al 10 gr/L

Sal 5gr/L

Macronutrientes 20 mL

Micronutrientes 2 mL

- **Escalamiento**

Se llevó a cabo el proceso de escalamiento, el cual consistió en transferir el cultivo puro de microalgas al fotobiorreactor con una capacidad total de 30 litros. A este se le incorporó el

medio base, completando el volumen con agua destilada hasta alcanzar los 30 litros necesarios. Se activaron los sistemas de aireación, iluminación y control de temperatura pertinentes.

Durante la fase inicial del escalamiento, se logró una concentración de  $1.8 \times 10^7$  células/mL. Este resultado fue cuantificado mediante el uso de una cámara de Neubauer de 1 mm, donde se realizó el conteo de células en UFC/mL de la dilución  $10^{-8}$  durante un periodo de tres días. Para su masificación, se añadieron 20 mL de macronutrientes y 2 mL de micronutrientes al cultivo.

- **Condiciones estándares del fotobiorreactor**

Las mediciones experimentales en laboratorio se establecieron iguales a la empresa BIOTECHPLANT y son las siguientes:

**Tabla 5** *Condiciones estándares del fotobiorreactor*

<b><u>Condiciones estándares BIOTECHPLANT</u></b>	
Luz	Focos fluorescentes de 2500 lm de 18W
Temperatura	28°C – 35°C
Bombeo	3.2 L/min * 30 min
Periodo de Luz	12 – 13 horas
Densidad celular	Inferior 3 cm profundidad disco Secchi
pH	9 Y 10.5

- **Cosecha de la Espirulina**

La cosecha se llevó a cabo cada tres días, filtrando un volumen de 10 litros. La concentración de biomasa se verificó cuando el disco de Secchi registró un valor inferior a 2 cm de profundidades. Se empleó una malla de nylon de 500  $\mu$ m para la recolección de

exopolisacáridos o lodos residuales de la espirulina, mientras que se utilizó una malla de 150  $\mu\text{m}$  para el filtrado de biomasa. Por cada 5 gramos de biomasa fresca, se añadieron 20 mL de macronutrientes y 2 mL de micronutrientes al tanque o fotobiorreactor.

- **Secado de la biomasa**

Se procedió a prensar la biomasa fresca de espirulina para eliminar la mayor cantidad posible de agua. Posteriormente, se realizó un lavado con agua en reposo y se repitió el proceso de filtrado y prensado. La biomasa obtenida se colocó en una jeringa de 10 mL para ser distribuida sobre una bandeja formando tiras. Esta se introdujo en un horno con fuga de aire a una temperatura de 40 °C durante 7 horas. En la última hora de secado, se incrementó la temperatura a 60 °C para eliminar cualquier microorganismo que pudiera haber surgido debido a una manipulación inadecuada. Finalmente, la biomasa se almacenó en un lugar oscuro a temperatura ambiente.

### **3.3.2 Fase de cultivo**

- **Preparación del cultivo de maíz (*Zea mays L.*)**

En recipientes desechables transparentes con capacidad de 500 mL, se incorporó tierra negra y se colocó una semilla de maíz (*Zea mays L.*) de la variedad Chazo, en la pared del vaso a una profundidad de 2 cm medida desde la base de la tierra.

Una vez preparado el biofertilizante, se procedió a su aplicación en cada uno de los tratamientos que fueron sembrados en los recipientes desechables transparentes. Estos cultivos se ubicaron en el laboratorio y se les etiquetó de la siguiente manera:

Tratamiento sin biofertilizante		T0
Tratamiento con biofertilizante con espirulina	al 30%	T1
Tratamiento con biofertilizante con espirulina	al 60%	T2

Una vez que los envases fueron debidamente etiquetados, se procedió a la adición de un inóculo correspondiente a cada tratamiento. Al primer tratamiento no se le aplicó biofertilizante, limitándose únicamente al uso de agua en reposo. En el tratamiento T1, se aplicó el biofertilizante que contiene la microalga *Arthrospira platensis* en una concentración del 30%. Por otro lado, en el segundo tratamiento T2, se empleó el biofertilizante elaborado a partir de la microalga *Arthrospira platensis* en una concentración del 60%. La aplicación de los tratamientos se realizó cada ocho días durante un periodo de 60 días, para, posteriormente, llevar a cabo la evaluación final.

### 3.4. Procesamiento estadístico de la información

#### 3.4.1 Diseño experimental

Las unidades experimentales en análisis fueron 9 muestras y se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con 3 tratamientos, 3 repeticiones y con 3 observaciones cada uno.

**Tabla 6** *Tratamientos para la evaluación y desarrollo del cultivo de maíz (Zea mays L.)*

N°	Tratamientos	Código	Descripción
1	T <sub>0</sub>	T0	Sin tratamiento (agua corriente)
2	T <sub>1</sub>	T1-30B	Biofertilizante con <i>Arthrospira platensis</i> al 30%
3	T <sub>2</sub>	T2-60B	Biofertilizante con <i>Arthrospira platensis</i> al 60%

#### 3.4.2 Análisis de la varianza

Con los resultados obtenidos se calculó la varianza para evaluar el biofertilizante con microalgas *Arthrospira platensis* en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*).

**Tabla 7** Esquema del análisis de varianza para la Evaluación de un biofertilizante a base de microalgas (*Arthrospira platensis*) *Spirulina* en cultivo de maíz suave (*Zea mays* L.)

<u>Fuentes de variabilidad</u>	<u>Grados de Libertad</u>
Total	9
Tratamientos	3
T1 ^ T2 vs T0	1
T1 vs T0	1
T2 vs T0	1
Error experimental	8
Promedio	X
CV	$\sqrt{(CME/E/X) \times 100}$

### 3.5 Variables y métodos de evaluación

#### 3.5.1 Concentración del biofertilizante

Se llevó a cabo una masificación de la microalga *Spirulina platensis* en un medio de cultivo líquido, utilizando un fotobiorreactor. Para evaluar el crecimiento algal, se empleó una cámara de Neubauer de 1 mm y se realizó el conteo de células expresado en UFC/mL a partir de una dilución de  $1 \times 10^{-8}$ .

El primer biofertilizante correspondiente al tratamiento 2 se preparó con una concentración del 30% de la biomasa producida, en un medio líquido inocuo; específicamente, se tomó 0.05 g de biomasa seca de *Spirulina Arthrospira platensis*, que fue diluida en 5 mL de agua estéril.

El segundo biofertilizante fue elaborado con una concentración del 60% de la biomasa producida, también en un medio líquido inocuo; esto implica que se duplicó la dosis, preparando 1 g de biomasa en 5 mL de agua estéril.

### **3.5.3 Tiempo de emergencia**

El tiempo de emergencia fue evaluado a partir de dos días después de la siembra. Se llevó a cabo una observación de tipo visual cada 12 horas en las plantas de todos los tratamientos, hasta que el coleóptilo de todas las plantas se expusiera a la luz solar. Se registró un único dato promedio por cada tratamiento.

### **3.5.4 Tiempo de germinación**

El tiempo de germinación se analizó desde el momento en que la semilla rompió su latencia. Este proceso se evaluó mediante la colocación de las semillas en vasos transparentes desechables a una profundidad de 2 cm, medidos desde la superficie del sustrato.

Posteriormente a la siembra, se llevaron a cabo riegos utilizando la dosis previamente indicada para cada tratamiento, con una frecuencia de cada tres días. La velocidad de progresión fue evaluada a través de estímulos visuales desde el primer día de siembra, observándose el desprendimiento de la semilla en el momento de la emergencia de la radícula.

### **3.5.4 Altura de la planta**

Este parámetro fue medido con un flexómetro. La medición se registró en centímetros y se realizó a intervalos de 5, 10, 15, 20, 25, 35, 45 y 60 días. Esta evaluación se llevó a cabo en dichos intervalos de tiempo debido a que se observaron brotes en la superficie desde el tercer día de siembra.

## CAPÍTULO IV: Análisis e Interpretación de Resultados

### 4.1. Análisis e Interpretación de Resultados

#### 4.1.1 Concentración del biofertilizante

En la fase de laboratorio, se llevó a cabo un escalado de 1/3 al volumen total obtenido, que asciende a 30 L. De este volumen, tras un período de 3 días, se filtró un total de 10 L, obteniéndose una biomasa de 20 mL a través del proceso de filtración. Posteriormente, esta biomasa fue sometida a un proceso de secado, resultando en 5 gramos de materia seca. La concentración empleada para la preparación del biofungicida fue del 30% y del 60%.

En otro estudio, se investigó la obtención de un biofertilizante a partir del residuo ultrafino de *Spirulina platensis* mediante degradación anaerobia (Albuja R. A. P. , 2011). Se realizaron experimentos con distintas concentraciones de *Spirulina* con el objetivo de establecer una mezcla homogénea y menos densa. Para ello, se preparó una mezcla de 1. 25 g/L y se evaluaron concentraciones que oscilaban entre 20 y 60 g/L. El producto que presentó los mejores resultados fue el de 60 g/L, dado que concentraciones superiores generaron una mezcla espesa y de difícil agitación. Los autores utilizaron el residuo ultrafino derivado del proceso de producción de *Spirulina platensis* para la elaboración de su biofertilizante. Los hallazgos de este estudio corroboran los resultados de los autores mencionados anteriormente, ya que al aplicar el tratamiento T2 con el biofertilizante al 60% de concentración, se observaron resultados significativamente mejores en cuanto al crecimiento vegetativo del cultivo de maíz (*Zea mays* L. ).

#### 4.1.2 Tiempo de germinación

Se encontraron en observación 3 tratamientos sometidas a diferente concentración de Spirulina, un biofertilizante al 30% y 60% y sin tratamiento (Agua reposada), las semillas de maíz (*Zea mays L.*) rompieron su fase de latencia según el tratamiento, el resultado fue que las plantas de maíz (*Zea mays L.*) sometidas a la concentración del 60% T2-60B, rompieron su latencia a los 2.67 días en condiciones ambientales, el tratamiento T1-30B tardó 4.33 días y el tratamiento T0 germinó a los 5.67 días de observación, estos valores son resultantes del promedio entre las repeticiones de cada tratamiento. Según (CIMMYT, 2017) manifiesta que la fecha de emergencia del maíz ocurre de 8 a 15 días después de la siembra y el brote total de la semilla a los 5 a 6. Los resultados obtenidos del estudio son verificados con los datos resultantes de la revista Cultivar (Costa L, 2021) que menciona que bajo un método convencional de preparación de suelo la tasa de emergencia de las plántulas de soja fue de un 60% a una profundidad de 3 cm a los 7 días de siembra aplicando un fertilizante (úrea protegida). Lo que indica que, las semillas al estar bajo la aplicación de fertilizantes aceleran el rompimiento de las semillas y acelera la velocidad de progresión del coleóptilo.

Otro dato verificado son los publicados por la revista (Ciampitti I, 2011) donde menciona que existen parámetros que influyen en el desarrollo de las plantas, en este caso la semilla absorbe agua el 30% de su peso y oxígeno para la germinación, estas promueven una rápida emergencia a los 5 – 7 día, con una profundidad de siembra de 2.5 – 5 cm, y condiciones físicas como el frío, sequía y siembra profunda pueden retrasar la emergencia hasta por cuatro semanas.

**Tabla 8** Resultado tiempo de germinación del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

<b>Tiempo Germinación (Días)</b>		
Testigo	T0R1	7
	T0R2	6
	T0R3	4
	<b>Promedio T0</b>	<b>5,67</b>
Biofertilizante al 30% de concentración de Spirulina	T1R1	4
	T1R2	5
	T1R3	4
	<b>Promedio T1</b>	<b>4,33</b>
Biofertilizante al 60% de concentración de Spirulina	T2R1	3
	T2R2	3
	T2R3	2
	<b>Promedio T2</b>	<b>2,67</b>

El tratamiento T2, que utiliza una concentración del 60%, presenta el tiempo más breve para romper la latencia de germinación, concluyendo el proceso en un lapso de 3 días. En la replicación R3 del tratamiento T2, este tiempo se reduce a 2 días. Cabe destacar que este tratamiento incorpora la microalga *Spirulina platensis* en dicha concentración. En contraste, el tratamiento T0 evidencia los días de germinación más prolongados, retrasándose en promedio 5 días para lograr la ruptura total de la latencia de la semilla. En el tratamiento T1, la germinación se lleva a cabo en un periodo de 4 días, mientras que en la repetición R2 se extiende a 5 días. Estas variaciones pueden estar relacionadas con factores como la humedad, la luminosidad u otras condiciones fisicoquímicas.

Albujá R. A. P. (2011), en su evaluación sobre la microalga *Chlorella vulgaris* para la elaboración de un bioestimulante, manifiesta que la aplicación de microalgas sobre las semillas de café promueve la síntesis de fitohormonas, las cuales son capaces de acelerar la ruptura de la latencia germinativa en las semillas. Este proceso es particularmente significativo, considerando que la planta de café generalmente requiere 25 días para germinar, tiempo que

se reduce a 15 días al emplear el biofertilizante, siendo el tiempo habitual de germinación del café de 60 días

#### 4.1.3 Altura de la planta

**Tabla 9** *Altura del tallo del cultivo de maíz (Zea mays L.)*

<b>Días</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Crecimiento altura (cm)</b>
<b>5</b>	T0	0
	T1	0,3
	T2	1,07
<b>10</b>	T0	1,8
	T1	2,6
	T2	3,2
<b>15</b>	T0	3,17
	T1	4,77
	T2	6,1
<b>20</b>	T0	3,17
	T1	6,83
	T2	9,13
<b>25</b>	T0	6,27
	T1	9,77
	T2	13,23
<b>35</b>	T0	10,17
	T1	14,57
	T2	18,23
<b>45</b>	T0	10,17
	T1	20
	T2	23,43
<b>55</b>	T0	20,2
	T1	25,87
	T2	30
<b>60</b>	T0	25,73
	T1	30,27
	T2	39,43

En la tabla 6 se presentan los resultados correspondientes a la altura del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) sometido a diferentes tratamientos. La medición se llevó a cabo desde el quinto día, cuando la primera planta emergió a la superficie, hasta el sexagésimo día. Los tratamientos exhibieron diferencias significativas; específicamente, el tratamiento 2 (T2) presentó cifras elevadas en la altura del tallo, a diferencia de los otros tratamientos, incluyendo el testigo y el tratamiento con un biofertilizante de concentración del 30%.

Desde el quinto día se registraron resultados con diferencias estadísticas significativas, las cuales se mantuvieron hasta el sexagésimo día. El tratamiento 2 demostró el mayor desarrollo vegetativo en esta variable, continuando esta tendencia a lo largo de todo el estudio. Por contrapartida, el tratamiento T0 mostró valores inferiores en comparación con los tratamientos T1 y T2, mientras que el tratamiento T2 presentó resultados menores que el T1.

Además, se observó que el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) bajo el tratamiento T0 no logró un crecimiento vegetativo óptimo, hallazgo que concuerda con lo planteado por Tello Edgar (2018) en su investigación sobre el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris L.*), donde se encontró que, al no aplicar abono orgánico, en comparación con otros tratamientos expuestos a diferentes concentraciones de biofertilizante microalgal, el crecimiento se limitó a un 22.4% en relación a los demás tratamientos.

Asimismo, Gómez L. (2007) también documentó una reducción en el crecimiento de su tratamiento control sin abono orgánico, estableciendo un incremento del 23% en comparación con los otros tratamientos. Otro estudio realizado por Negrín A. (2012) sobre la aplicación de un biofertilizante sólido derivado de residuos pecuarios reportó una diferencia estadística en la altura

de su cultivo a partir del día 32, alcanzando la altura máxima de 65 cm. El mayor crecimiento durante el último periodo fue logrado mediante la aplicación de una dosis de 9 t/ha-1, lo que permitió obtener resultados óptimos.

#### 4.1.4 Tiempo de emergencia radicular

Este brote radicular se registró en un lapso de dos días en el tratamiento que consistió en la aplicación de un biofertilizante con una concentración del 60% de *Spirulina platensis*. Los resultados fueron observados cada 12 horas mediante estimulación visual, considerando específicamente el desarrollo de las radículas de la semilla.

**Tabla 10** Tiempo de emergencia radicular

TIEMPO EMERGENCIA RADICULAR (Días)		
<b>Testigo</b>	T0R1	5
	T0R2	6
	T0R3	5
	Promedio T0	5,33
<b>Biofertilizante al 30% de concentración de Spirulina</b>	T1R1	4
	T1R2	3
	T1R3	3
	Promedio T1	3,33
<b>Biofertilizante al 60% de concentración de Spirulina</b>	T2R1	2
	T2R2	3
	T2R3	3
	Promedio T2	2,67

En la tabla 7 se presenta el tiempo requerido para que la semilla extienda su primer brote radicular. Esta observación reveló que las semillas sin tratamiento correspondiente (T0) tardaron un promedio de 5.33 días en desarrollar su primer brote. Por otro lado, las semillas sometidas al tratamiento concentrado al 30% de *Arthrospira platensis* (T1) obtuvieron su brote radicular en un plazo de 3.33 días, mientras que aquellas expuestas a la concentración del 60% de la misma microalga germinaron su primer brote en solo 2.67 días. Es

importante destacar que la aplicación de los biofertilizantes se llevó a cabo desde el primer día de siembra. Las plantas sometidas a los distintos tratamientos fueron objeto de estímulos con el fin de analizar su crecimiento y rendimiento.

De acuerdo con el autor Morales G. (2021), en su estudio titulado "Evaluación de tres niveles de bioestimulante radicular para mejorar la productividad de tres híbridos de maíz", se sostiene que las formulaciones comerciales suelen contener múltiples elementos, lo que dificulta discernir el efecto de un ingrediente activo particular en el desarrollo de las plantas. Esto contrasta con nuestro estudio, en el que se aplicó directamente la microalga *Arthrospira platensis*.

Al estimular las semillas con microalgas, los resultados presentaron un rendimiento óptimo a diversas concentraciones. Asimismo, los parámetros edafoclimáticos desempeñaron un papel fundamental en este desarrollo, dado que el estudio se llevó a cabo a 2.800 metros sobre el nivel del mar en la ciudad de Riobamba, donde el primer brote fue registrado a los 2 días. Según el autor Izquierdo R. (2012), en su trabajo sobre la "Evaluación del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) como complemento a la alimentación de bovinos de leche en época de escasez de alimento", se indica que el desarrollo radicular en las zonas frías de Ecuador, como Cayambe, suele demorar entre 8 y 10 días.

Según la hipótesis planteada, los resultados permiten rechazar la hipótesis nula  $H_0$  y aceptar la hipótesis alterna  $H_1$ , ya que se evidenció un efecto positivo del biofertilizante en el crecimiento del cultivo de maíz (*Zea mays L.*).

Los agricultores andinos son particularmente vulnerables a los efectos del cambio climático, como sequías prolongadas, lluvias torrenciales, heladas inesperadas y cambios en los patrones de temperatura. Los biofertilizantes de microalgas pueden ofrecer un apoyo crucial,

como el aumento de la resistencia al estrés abiótico, porque las microalgas producen osmoprotectores.

Un sistema radicular más fuerte y extenso, promovido por las microalgas, permite una mayor eficiencia en el uso del agua, crucial en épocas de escasez hídrica.

Muchos suelos andinos han sufrido degradación por prácticas agrícolas intensivas o erosión. Los biofertilizantes de microalgas ayudan a rehabilitar la salud del suelo, mejorando su fertilidad y estructura, lo que los hace más resilientes frente a la erosión hídrica o eólica, fenómenos que se intensifican con el cambio climático.

## CAPÍTULO V: Conclusiones, Discusión y Recomendaciones

### 5.1. Discusión

Mediante la bioestimulación de *Arthrospira platensis* en las plantas de maíz (*Zea mays L.*), expuestas desde la raíz se demostró que se puede reducir el tiempo de germinación, lo que se debe a la composición bioquímica de estas especies de cianobacterias como es la *Arthrospira platensis*, conocida como Spirulina y es que contiene de 46 – 63 % de proteína, de 8 – 14% de carbohidrato y de 4 – 9% de lípidos es la primera especie de microalgas con alto contenido proteico, según la teoría de (Demirbas F.M., 2011).

Las microalgas por ser fotosintéticas convierten el CO<sub>2</sub> en azúcares y proteínas, cada microalga produce proporciones de proteína, carbohidrato y lípidos dependientemente de la especie y de las condiciones físicas y químicas que se encuentran como es la alimentación de nitrógeno y fósforo y la exposición a la luz solar, salinidad, pH que influyen en la micropropagación de la Spirulina.

La producción de microalgas en este estudio estuvo sometido a un sistema cerrado un biorreactor de tipo casero, que en este caso este proceso biotecnológico fue menos costoso porque no se requiere de grandes cantidades de biomasa seca, comúnmente se utilizan sistemas semiabiertos como los estanques mucho va a depender de la microalga que se seleccione. (Lian Q., 2011)

Entre los beneficios de las microalgas en este estudio podemos indicar que mejoran la tolerancia de las plantas a la sequía y la salinidad porque se hizo un riego cada tres días y no se evidencio amarillamiento de hojas y marchitamiento, además contienen fitohormonas y compuestos antioxidantes porque promueven el crecimiento radicular y vegetativo y reduce el tiempo de germinación actuando desde la embriogénesis.

Otro de los beneficios que aportan a la agricultura y al ambiente es que son una alternativa orgánica a los agroquímicos

## 5.2. Conclusiones

En base a los resultados experimentales se puede deducir las siguientes conclusiones:

El biofertilizante a base de microalgas (*Arthrospira platensis*) Spirulina respondió efectivamente, con concentración de 1 g/mL y está promueve un mayor crecimiento en altura y vigor de la planta de maíz (*Zea mays L.*) en comparación con el grupo control. Existe una relación dosis-respuesta entre la concentración del biofertilizante y el crecimiento de las plantas, posiblemente pudo haber mejorado otros parámetros fisiológicos del maíz (*Zea mays L.*) como la tasa fotosintética, el contenido de clorofila y la absorción de nutrientes.

Se controló los parámetros físicoquímicos del medio de cultivo en el biorreactor, el medio de cultivo en condiciones óptimas para la producción de biomasa de *Arthrospira platensis* spirulina fueron de temperatura de 28 – 35°C, luminosidad de 18W, aireación de 3.2 L/min por 30 minutos, periodo de luz de 12 – 13 horas y pH entre 9 y 10.5. Al controlar estos parámetros se obtuvo una biomasa de 15 mL cada tres días y 5 g en peso seco. El control físico químico fue importante para mantener las condiciones proteicas y lípidos naturales de la microalga.

La composición bioquímica de la microalga *Arthrospira platensis* influyó en el desarrollo de la planta, desde la embriogénesis porque en el tiempo más corto se pudo observar el brote radicular en 2 días en el bioformulado concentrado al 60% de Spirulina.

### Recomendaciones

El aislamiento de especies nativas es necesario para evaluar el comportamiento de las cianobacterias en cultivos tradicionales de nuestra región.

El cultivo de microalgas debería propagarse a gran escala en sistemas semiabiertos en nuestra región. Para evaluar la efectividad y eficiencia de las microalgas sobre las plantas, es necesario evaluar la influencia de las condiciones climáticas sobre las especies nativas.

Es necesario evaluar el crecimiento vegetativo de los cultivos vegetales desde la embriogénesis hasta la etapa de producción para evaluar el momento, la producción y la salud de la planta.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Raouf N, A.-H. A. (2012). Microalgae and wastewater treatment. *Saudi J Biol Sci. Revista Saudí de Ciencias Biológicas* 10.1016/j.sjbs.2012.04.005., 4 - 7.
- Aghili Forough y Jan Jansa. (2014). *Applied Soil Ecology*. Institute of Agricultural Sciences
- Albuja R, A. P. (2011). Obtención de un biofertilizante a partir del residuo ultra fino de *Spirulina platensis*, mediante degradación anaerobia. *Universidad de las Fuerzas Armadas Escuela Superior Politécnica*.  
<https://repositoriobe.espe.edu.ec/server/api/core/bitstreams/0c1fa6b3-e28e-46e8-9cbd-dee901ce19b7/content>, 14 - 15.
- Albuja R, A. P. (2011). Ubtención de un biofertilizante a partir del residuo ultra fino de *Spirulina platensis*, mediante degradación anaerobia. *Proyecto de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*.
- Ávalos H, E. C. (2017). *Spirulina*.  
[https://ucemich.edu.mx/Documentos/2022/Investigacion/publicaciones/junio/180328\\_Spirulina%20autorizado%20para%20imprimir%20por%20favor%20copia%20\(1\).pdf](https://ucemich.edu.mx/Documentos/2022/Investigacion/publicaciones/junio/180328_Spirulina%20autorizado%20para%20imprimir%20por%20favor%20copia%20(1).pdf). Michoacán: Arlequin Y Servicios, SA de CV.
- Bellinger E, & S. (2015). Freshwater algae: identification and use as bioindicators.  
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=rhMmBgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=Identificacion+and+use+as+Boindicators&ots=0hpaXRFk7f&sig=YkY2mOd9D4vIbiXIRLlaa1vb0T0#v=onepage&q=Identificacion%20and%20use%20as%20Bioindicators&f=false>.
- Berg A, d. N.-D. (2013). Projections of climate change impacts on potencial C4 crop productivity over tropical regions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 89 - 102.
- Boraste A, V. K. (2009). BIOFERTILIZERS: a novel tool for agriculture. *International Journal of Microbiology Research*, PP. 23 - 31 ISSN:0975-5276.
- Buenaño, D. (10 de agosto de 2022). El desarrollo de la Biotecnología es fundamental para el fomento de la Bioeconomía. *Forbes Ec. Weekly*,  
<https://www.forbes.com.ec/columnistas/el-desarrollo-biotecnologia-fundamental-fomento-bioeconomia-n20257>.
- Camelo M, e. a. (2017). Desarrollo de un sistema de fermentación líquida y de enquistamiento para una bacteria fijadora de nitrógeno con potencial como biofertilizante. *Revista Argentina de Microbiología*, 10.1016/j.ram.2016.06.005.

- Castrillón R. (2015). *Microalgas para la industria alimenticia*. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/2306>. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Chatterjee S, K. K. (2017). Type 2 diabetes. *Publmed*, 10.1016/S0140-6736(17)30539-1. .
- Chronakis IS. (2001). Gelificación del aislado proteico de algas verdeazuladas comestibles (*Spirulina platensis* cepa Pacifica): transiciones térmicas, propiedades reológicas y fuerzas moleculares implicadas. *J Química Agrícola Alimentaria*. doi: 10.1021/jf0005059., 2.
- Ciampitti I, E. R. (2011). Crecimiento y Desarrollo del maíz. *Kansas Corn*, 4.
- Ciferri O. (2017). Spirulina, the Edible Micro-Organism. *Microbiological Reviews*. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1052185>, 551.
- CIMMYT. (2017). *Protocolos para realizar mediciones de plantas en las plataformas de investigación*. México: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.
- Corrales M., V. C. (2017). Identificación y caracterización molecular de cianobacterias tropicales de los géneros Nostoc, Tolypothrix y Scytonema (Nostocales: Nostocaceae), con posible potencial biotecnológico. *Revista de Investigación UEND*, [https://www.researchgate.net/publication/342851015\\_Identificacion\\_y\\_caracterizacion\\_molecular\\_de\\_cianobacterias\\_tropicales\\_de\\_los\\_generos\\_Nostoc\\_Calothrix\\_Tolypothrix\\_y\\_Scytonema\\_Nostocales\\_Nostocaceae\\_con\\_posible\\_potencial\\_biotecnologico](https://www.researchgate.net/publication/342851015_Identificacion_y_caracterizacion_molecular_de_cianobacterias_tropicales_de_los_generos_Nostoc_Calothrix_Tolypothrix_y_Scytonema_Nostocales_Nostocaceae_con_posible_potencial_biotecnologico).
- Costa L, A. L. (23 de Julio de 2021). CULTIVAR. *Velocidad de emergencia del maíz*, pág. 3.
- Criollo PJ, O. M. (2012). Efecto de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) asociadas a *Pennisetum clandestinum* en el altiplano cundiboyacense. *Ciencia y Tecnología*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449945033008>, 189 - 195.
- Demirbas F.M. (2011). Biofuels from algae for sustainable development. *Applied Energy*,. *Artículo científico*.
- Egamberdiyeva, D. y. (2004). Efecto de las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas en el crecimiento y la absorción de nutrientes del algodón y el guisante en una región semiárida de Uzbekistán. *Journal of Arid Environments*. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-1963\(03\)00050-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00050-8), 293 - 301.
- FAO. (2021). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Roma: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/1f50cb3f-82b1-4c97-a888-bd2ea8ad6de2/content/cb4476es.html>.

- Farma-química Sur SL. (2016). Spirulina. *Beneficios de la Espirulina en la agricultura*, <https://farmaquimicasur.com/wp-content/uploads/2022/04/Espirulina.pdf>.
- Forbes Ec, W. (2022). El desarrollo de la Biotecnología es fundamental para el fomento de la Bioeconomía. *Forbes Ec. Weekly*, <https://www.forbes.com.ec/columnistas/el-desarrollo-biotecnologia-fundamental-fomento-bioeconomia-n20257>.
- García L. (2007). Microalgas: Aspectos ecológicos y biotecnológicos. *Revista Cubana de Química*. <https://redalyc.puce.elogim.com/articulo.oa?id=443543707001>, 17 - 18.
- Giamporoni M. (2013). *El fotoperiodismo*. adComunica13.
- Glazer A. (2009). Arquitectura del ficobilisoma. *Revista de Química biológica*. DOI: 10.1016/S0021-9258(19)54831-1.
- Gomez G, y. B. (2006). Optimización de medios de cultivo. *Redalyc*. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193215825002.pdf>, 9.
- Gomez L, e. a. (2007). Microalgas: Aspectos ecológicos y biotecnológicos. *Revista Cubana de Química*, <https://redalyc.puce.elogim.com/articulo.oa?id=443543707001>, págs. 17 - 18.
- Gomont, M. (1892). *Experimentación clínica con Spirulina*. Annales des Sciences Naturelles.
- Gonzalez, A. (2018). Espirulina. *Universidad de Texas*. <https://www.utep.edu/herbal-safety/hechos-herbarios/hojas-de-datos-a-base-de-hierbas/espirlina.html#:~:text=%C2%BF%D3%B3nde%20se%20encuentra%3F,M%C3%A9xico%20y%20Chad%2C%20en%20%C3%81frica>.
- Grossman E. (1986). Fraccionamiento de isótopos de oxígeno y carbono en aragonito biogénico: efectos de la temperatura. *Geología química*. [https://doi.org/10.1016/0168-9622\(86\)90057-6](https://doi.org/10.1016/0168-9622(86)90057-6).
- Guiry M.D., a. G. (2015). Algae Base. *American Journal of Plant Sciences*,. Obtenido de <http://www.algaebase.org>
- Hussain J, U. F. (2011). Evaluación de nutrientes y análisis elemental de cuatro plantas medicinales seleccionadas de Khyber Pakhtoon Khwa, Pakistán. *Revista Pakistaní de Botánica*, [https://www.researchgate.net/publication/215475183\\_Nutrient\\_Evaluation\\_and\\_Elemental\\_Analysis\\_of\\_Four\\_Selected\\_medicinal\\_plants\\_of\\_Khyber\\_Pakhtoon\\_Khwakistan](https://www.researchgate.net/publication/215475183_Nutrient_Evaluation_and_Elemental_Analysis_of_Four_Selected_medicinal_plants_of_Khyber_Pakhtoon_Khwakistan).
- INIAP, KOPIA. (2024). Biofertilizante para el maíz en Ecuador. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128007761/handbook-of-marine-microalgae>.

- Izquierdo R. (2012). Evaluación del cultivo de maíz (*Zea mays*), como complemento a la alimentación de bovinos de leche en época de escasez de alimento. *Universidad Politécnica Salesiana*, <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MORALES%20WINSO%20GENESIS%20GINNY.pdf>.
- Kim S. (2015). *Handbook of Marine Microalgae Biotechnology Advances*. Elsevier Inc. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128007761/handbook-of-marine-microalgae>.
- Kudeyarov, V. N. (2020). Emisión de óxido nitroso de suelos fertilizados: una revisión analítica. *Ciencia del suelo euroasiática*, 41 - 51.
- Lian Q., L. J. (2011). Effects of nitrogen source and concentration on biomass and oil production of a *Scenedesmus rubescens* like microalga. *Bioresource Technology*, 1615 - 1621.
- Mbow, C. y.-F. (2019). *Informe especial del IPCC sobre cambio climático, desertificación, degradación de la tierra, gestión sostenible de la tierra, seguridad alimentaria y flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres*. NASA: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- McGriff E, M. R. (1972). The removal nutrients and organics by activated algae. *Water Research*. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-removal-of-nutrients-and-organics-by-activated-McGriff-McKinney/0ea30ef52a94523da13b131c654267002ca493b0>.
- McGriff E, y. M. (1972). La eliminación de nutrientes y materia orgánica mediante algas activadas. *Investigación del agua*. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(72\)90015-2](https://doi.org/10.1016/0043-1354(72)90015-2).
- Mendelsohn R, y. D. (1999). Climate Change, Agriculture, and Developing Countries: Does Adaptation Matter? *The World Bank Research Observer*. <https://doi.org/10.1093/wbro/14.2.277>.
- Mertz O, H. K. (2009). Adaptación al cambio climático en países en desarrollo. *Gestión ambiental*. <https://doi.org/10.1007/s00267-008-9259-3>.
- Morales G. (2021). EFECTO DE TRES NIVELES DE BIOESTIMULANTE RADICULAR PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE TRES HÍBRIDOS DE MAÍZ (*Zea mays*). *Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrarias*, <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MORALES%20WINSO%20GENESIS%20GINNY.pdf>.
- Negrin A. (2012). Evaluation of the agronomic effect of biosolids. *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas*, 13 - 19.

- Negrin A, & J. (2017). Evaluation of the agronomic effect of biosolids from a wastewater treatment by anaerobic digestion of livestock waste in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop. *SciELO*.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362012000200002&lng=es&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362012000200002&lng=es&tlng=en) .
- Oscar A, G. S. (2018). Efecto de los biofertilizantes sobre la asimilación de nitrógeno por el cultivo de trigo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10.29312/remexca.v9i2.1071.
- Parry T. (2007). *Climate Change 2007: impacts, adaptation and vulnerability; contribution of working Group II to the fourth assessment report the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: Cambridge University Press.
- Ramirez L. (2006). Uso Tradicional y actual de *Spirulina* sp (*Arthrospira* sp.). *SciELO*.  
[https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442006000900008](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000900008).
- Richmond A. (2013). *Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology*. <https://alगतex.org/ebook/Handbook%20of%20microalgal.pdf>. Arizona: Blackwell Science Ltd.
- Rowan K. (1989). Photosynthetic pigments of algae. *Cambridge University Press*.
- Salazar, G. C. (2002). *Estudio teratogénico de Spirulina en rata*.  
[https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222002000300002](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222002000300002). Caracas: Arch Latinoamer Nutr.
- Sanchez A. (2019). Microalgas. [Tesis de pregrado].  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=292301>.
- Sankar V, L. K. (2008). Efecto de las prácticas de micro riego en el crecimiento y rendimiento del ajo (*Allium sativum* L.) var. G. 41. *Centro Nacional de Investigación de la Cebolla y el Ajo*.  
[https://www.researchgate.net/publication/289519176\\_Effect\\_of\\_micro\\_irrigation\\_practices\\_on\\_growth\\_and\\_yield\\_of\\_garlic\\_Allium\\_sativum\\_L\\_var\\_G\\_41\\_V\\_Sankar\\_K\\_E\\_Lawande\\_P\\_C\\_Tripathi](https://www.researchgate.net/publication/289519176_Effect_of_micro_irrigation_practices_on_growth_and_yield_of_garlic_Allium_sativum_L_var_G_41_V_Sankar_K_E_Lawande_P_C_Tripathi), 230 - 234.
- Solis-Charcopa, K. F.-P.-Q.-V. (2017). Biofertilizantes una alternativa ecológica para la agricultura frente al cambio climático en el Ecuador. *Dominio de las Ciencias*.  
<https://doi.org/10.23857/dom.cien.pocaip.2017.3.4.oct75-88>, 75 - 88 .
- Tarazona P. (2018). La espirulina una oportunidad como alimento funcional. *Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano*.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12010/8816>.

# UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

*¡Evolución académica!*

@UNEMIEcuador

