

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**Tesis**

**Evaluación de la producción de Spirulina (*Arthrospira platensis*) y su valor nutricional en condiciones de invernadero, Abancay – Apurímac – 2022**

**Asesor:**

Dr. Alarcón Camacho, Juan

**Autor:**

Ccoscco Pinares, Arsenio

**Para optar el Título Profesional: Ingeniero Agrónomo**

**Abancay - Apurímac – Perú**

**2025**

## Acta de sustentación



**Universidad  
Tecnológica de los Andes**  
Transformando vidas



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**

Acta N°: 003

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Abancay, a los 17 días del mes de diciembre del 2025, siendo las 10:30 horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0205-2025-UTEA-FI-EPA de la Escuela Profesional de Agronomía, Facultad de Ingeniería:

Presidente	: Dr. Huilca Quispe Jhon
Dictaminante:	MSc. Caballero Ramirez Sandra Creceida
Replicante	: Mg. Casafranca Zambrano Juan Manuel

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis  Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Evaluación de la producción de Spirulina (*Arthrospira platensis*) y su valor nutricional en condiciones de invernadero, Abancay – Apurímac - 2022

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: CCOSCCO PINARES, Arsenio

(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Agrónomo

(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron)

APROBADO (S):

Por: Unanimidad

(Unanimidad o Mayoría) (\*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
<u>CCOSCCO PINARES, Arsenio</u>	<u>Aprobado</u>

Siendo las 13:23 pm horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Dr. Huilca Quispe Jhon

(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

Dictaminante: MSc. Caballero Ramirez Sandra Creceida

(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

Replicante: Mg. Casafranca Zambrano Juan

(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)  
  
(Firma)  
  
(Firma)

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

Ciudad Universitaria Av. Perú N°700, Abancay Central Telefónica 051 (083) 321559  
Filial Cusco: Av. Grau 516. Teléfono. (084) 251565  
Filial Andahuaylas, San Jerónimo, Jr. Ccatatay N°100 Teléfono (083) 421752  
www.utea.edu.pe

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 208

(\*) Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.  
(\*\*): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción Art. 18 RGGAT.

# Reporte de similitud






## 22% Similitud general

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

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

### Fuentes principales

- 20%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 13%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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



## Metadatos

<b>Datos del Autor</b>	
Apellidos y nombres	: Ccoscco Pinares, Arsenio
Tipo de documento de identidad	: DNI
Número de documento de identidad	: 43461521
URL ORCID	: <a href="https://orcid.org/0009-0006-4813-6160">https://orcid.org/0009-0006-4813-6160</a>
<b>Datos del Asesor</b>	
Apellidos y nombres	: MSc Alarcón Camacho, Juan
Tipo de documento de identidad	: DNI
Número de documento de identidad	: 31032533
URL ORCID	: <a href="https://orcid.org/0000-0002-4911-7440">https://orcid.org/0000-0002-4911-7440</a>
<b>Datos de la investigación</b>	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Agronomía
Línea de investigación	: Agricultura y Ambiente
Rango de años en la que se realizó la investigación	: 2022 - 2023
Nota de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 22%
URL de OCDE	: <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#4.01.06">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#4.01.06</a>

## **Dedicatoria**

A Dios por haberme dado sabiduría, salud y fortaleza para lograr los objetivos académicos de pre grado.

A mi madre, Ubaldina PINARES UTANI y a mi Padre Gualberto CCOSCCO PELAYZA, las personas que han sido el pilar fundamental, para velar y orientar el proceso de mi carrera profesional, que con sus esfuerzos y sacrificios han hecho realidad esta meta.

A todos mis Hermanos: Ida, Yovana, Yudi, Wildo, Ronald y familiares por sus apoyos incondicionales, morales y económicos para que se hiciera realidad este logro.

***Arsenio***

## **Agradecimiento**

A la Universidad Tecnológica de los Andes, en especial a la Escuela Profesional de Agronomía por haberme aceptado a formar parte de ella como estudiante y haber puesto a disposición, la ciencia, tecnología e infraestructura para poder estudiar mi carrera.

Agradezco también a mi Asesor de Tesis el Ingeniero Juan ALARCÓN CAMACHO, Co-Asesor: M.SC. Franklin Yanqui Días a quienes hago llegar mi reconocimiento sincero, por brindarme el tiempo necesario para el desarrollo de este trabajo de investigación y guiarme para concluirla satisfactoriamente.

También me gustaría agradecer a mis profesores durante toda mi carrera profesional todos han aportado con un granito de arena a mi formación, y en especial a mis profesores; Dr. Francisco MEDINA RAYA, Ing. Jaher Alejandro MENACHO MORALES, Dr. Braulio PÉREZ CAMPANA, Dr. Ely Jesús ACOSTA VALER, Ing. Rosa E. MARRUFO MONTOYA,

Para finalizar también agradezco a todas aquellas personas que directa o indirectamente ayudaron en la realización del presente trabajo de investigación.

***Arsenio***

## Resumen

El presente estudio tuvo como finalidad evaluar la producción y valor nutricional de *Spirulina (Arthrospira platensis)* en dos medios de cultivo (Zorrouk y Bionutrec) en condiciones de invernadero en Abancay – Apurímac 2022. Se aplicó un Diseño Completamente al Azar de dos tratamientos y seis repeticiones (DCA 2X6), posterior al inóculo en tanque de cultivo de 10 litros, se midió con un disco de Secchi y se tomó muestras para su análisis. Los resultados mostraron que la densidad celular varió según el medio utilizado. En los primeros días (3 y 5), ambos tratamientos mostraron valores similares sin diferencias significativas. Sin embargo, a partir del día 15, Zorrouk presentó una densidad celular significativamente mayor (1.36 g/L frente a 0.738 g/L con Bionutrec). Al finalizar el cultivo (día 30), ambos medios alcanzaron densidades celulares similares. En cuanto a la producción de biomasa, Bionutrec fue significativamente superior, con 144.33 g frente a los 106.47 g obtenidos con Zorrouk ( $p = 0.005$ ). Además, Bionutrec mostró un perfil nutricional más favorable, destacando en calcio (373.970 mg/100g), hierro (129.610 mg/100g), fósforo (1,206.41 mg/100g) y proteínas (80.130 g/100g), superando a Zorrouk en estos parámetros. En conclusión, mientras Zorrouk fue más eficaz en la fase intermedia del crecimiento celular, Bionutrec demostró ser superior en la producción total de biomasa y calidad nutricional. Se recomienda continuar investigando y optimizando ambos medios para mejorar la productividad y el valor nutricional de *Spirulina* en sistemas de cultivo bajo invernadero.

**Palabras clave:** Medio de cultivo, *Spirulina*, Producción, Invernadero

## Abstract

This study aimed to evaluate the production and nutritional value of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) in two culture media (Zorrouk and Bionutrec) under greenhouse conditions in Abancay, Apurímac, in 2022. A completely randomized design (CRD) with two treatments and six replicates (2x6) was used. After inoculation into a 10-liter culture tank, cell density was measured using a Secchi disk, and samples were taken for analysis. The results showed that cell density varied depending on the medium used. In the first few days (3 and 5), both treatments showed similar values with no significant differences. However, from day 15 onward, Zorrouk showed a significantly higher cell density (1.36 g/L vs. 0.738 g/L with Bionutrec). At the end of the culture period (day 30), both media reached similar cell densities. Regarding biomass production, Bionutrec was significantly superior, yielding 144.33 g compared to the 106.47 g obtained with Zorrouk ( $p = 0.005$ ). Furthermore, Bionutrec exhibited a more favorable nutritional profile, standing out in calcium (373.970 mg/100g), iron (129.610 mg/100g), phosphorus (1,206.41 mg/100g), and protein (80.130 g/100g), surpassing Zorrouk in these parameters. In conclusion, while Zorrouk was more effective in the intermediate phase of cell growth, Bionutrec proved superior in total biomass production and nutritional quality. Further research and optimization of both media are recommended to improve the productivity and nutritional value of *Spirulina* in greenhouse cultivation systems.

**Keywords:** Culture medium, *Spirulina*, Production, Greenhouse

## Índice

Portada .....	i
Acta de sustentación.....	ii
Reporte de similitud .....	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria .....	v
Agradecimiento.....	vi
Resumen .....	vii
Abstract.....	viii
Índice ix	
Índice de tablas.....	xiii
Índice de figuras .....	xvi
Índice de anexos.....	xviii
I. Introducción .....	19
II. Planteamiento del problema.....	21
2.1. Descripción y formulación del problema .....	21
2.1.1. Problema general.....	22
2.1.2. Problemas específicos .....	22
2.2. Objetivos .....	22
2.2.1. Objetivo general.....	22
2.2.2. Objetivos específicos .....	23
2.3. Justificación e importancia .....	23
2.4. Hipótesis .....	25
2.4.1. Hipótesis general .....	25
2.4.2. Hipótesis específicas .....	25

2.5.	Variable .....	25
<b>III.</b>	<b>Marco teórico.....</b>	<b>28</b>
3.1.	Antecedentes .....	28
3.2.	Bases teóricas .....	37
3.2.1.	Espirulina .....	37
3.2.1.1.	Descripción y taxonomía.....	37
3.2.1.2.	Hábitat y ecología .....	38
3.2.1.3.	Reproducción y ciclo de vida .....	39
3.2.1.4.	Composición química de la Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) ...	40
3.2.1.5.	Micronutrientes .....	41
3.2.1.6.	Macronutrientes .....	43
3.2.1.7.	Metabolitos secundarios .....	43
3.2.1.8.	Aplicación de la Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) en la industria alimentaria.....	44
3.2.2.	Sistemas de cultivo .....	44
3.2.2.1.	Sistemas de cultivo abiertos .....	44
3.2.2.2.	Sistemas de cultivo cerrados .....	45
3.2.3.	Sistema de cultivo en invernadero .....	45
3.2.4.	Historia de la Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) en la alimentación ..	45
3.2.5.	Propiedades nutraceuticas de la Spirulina .....	46
3.2.6.	Medios de cultivo .....	46
3.2.6.1.	Medio de cultivo Zarrouk.....	46

3.2.6.2.	Medio de cultivo Bionutrec.....	47
3.3.	Definición de términos.....	48
<b>IV.</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>53</b>
4.1.	Tipo y nivel de investigación .....	53
4.2.	Ámbito temporal y espacial .....	55
4.3.	Población y muestra.....	56
4.3.1.	Población .....	56
4.3.2.	Muestra .....	56
4.3.3.	Muestreo .....	56
4.4.	Instrumentos .....	56
4.5.	Procedimientos .....	58
a)	Diagrama de flujo .....	58
4.6.	Análisis de datos .....	64
4.7.	Consideraciones éticas .....	64
<b>V.</b>	<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>65</b>
5.1.	Resultados .....	65
5.1.1.	Densidad celular de Spirulina (Arthrospira platensis) .....	65
5.1.2.	Cantidad de biomasa de Spirulina (Arthrospira platensis) .....	79
5.1.3.	Valor nutricional de Spirulina (Arthrospira platensis).....	84
5.2.	Discusión .....	85
<b>VI.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>88</b>
<b>VII.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>90</b>

<b>VIII.</b>	<b>Referencias.....</b>	<b>92</b>
<b>IX.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>100</b>

## Índice de tablas

Tabla 1. Operacionalización de variables .....	27
Tabla 2. Composición química de la Spirulina sp. en cada 100 g.....	40
Tabla 3. Minerales en la Spirulina sp en 10 g.....	41
Tabla 4. Composición vitamínica de la Spirulina en 100 g.....	42
Tabla 5. Contenido de aminoácidos esenciales de Spirulina sp. por cada 10 g.....	43
Tabla 6. Contenido de aminoácidos no esenciales de Spirulina sp. por cada 10 g.....	43
Tabla 7. Detalle de los tratamientos y número de repeticiones.....	53
Tabla 8. Composición del cultivo de Zarrouk - Tratamiento 1 .....	64
Tabla 9. Composición del cultivo de Bionutrec – Tratamiento 2.....	65
Tabla 10. Prueba de Shapiro-Wilk y Levene para la densidad celular en diferentes muestras (al día 3, al día 5, al día 7, al día 15, al día 22 y al día 30) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec .....	65
Tabla 11. Datos observados de la densidad celular al día 3 (g/L) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.....	66
Tabla 12. Prueba T de Student para muestras independientes de los promedios de la Densidad celular al día 3 (g/L) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	67
Tabla 13. Datos observados de la densidad celular al día 5 (g/L) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.....	68
Tabla 14. Prueba T de Student para muestras independientes de promedios de la densidad celular al día 5 (g/L) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	69
Tabla 15. Datos observados de la densidad celular al día 7 (g/L) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.....	70
Tabla 16. Prueba T de Student para muestras independientes de promedios de la densidad celular al día 7 (g/L) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	71

Tabla 17. Datos observados de la densidad celular al día 15 (g/L) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	73
Tabla 18. Prueba T de Student para muestras independientes de promedios de la densidad celular al día 15 (g/L) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	73
Tabla 19. Datos observados de la densidad celular al día 22 (g/L) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	74
Tabla 20. Prueba T de Student para muestras independientes de promedios de la densidad celular al día 22 (g/L) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	75
Tabla 21. Datos observados de la densidad celular al día 30 (g/L) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	76
Tabla 22. Prueba T de Student para muestras independientes de promedios de la densidad celular al día 30 (g/L) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	77
Tabla 23. Datos observados de la biomasa (g) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	79
Tabla 24. Prueba T de Student para muestras independientes de los promedios de la biomasa (g) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	80
Tabla 25. Datos observados de la materia seca (%) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	81
Tabla 26. Prueba T para muestras independientes de los promedios de la materia seca (%) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	82
Tabla 27. Contenido nutricional de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	84
Tabla 28. Matriz de consistencia .....	99

Tabla 29. Datos de densidad celular, biomasa y composición nutricional.....	103
Tabla 30. Registro de control de pH y temperatura (°C) en condiciones de invernadero para Zorrouk (T1) de 1 a 15 días. ....	104
Tabla 31. Registro de control de pH y temperatura (°C) en condiciones de invernadero para Zorrouk (T1) de 16 a 30 días. ....	104
Tabla 32. Registro de control de pH y temperatura (°C) en condiciones de invernadero para Bionutrec (T2) de 1 a 15 días.....	105
Tabla 33. Registro de control de pH y temperatura (°C) en condiciones de invernadero para Bionutrec (T2) de 16 a 30 días.....	105

## Índice de figuras

Figura 1. Ciclo de vida de <i>Arthrospira platensis</i> .....	398
Figura 2. Croquis del área experimental .....	54
Figura 3. Medidas de la unidad experimental modelo tanque de cultivo.....	54
Figura 4. Tipos de filamentos de la espirulina. ....	63
Figura 5. Morfología de la Spirulina vista en 10k y 40k y 100k.....	63
Figura 6. Promedios de la densidad celular al día 3 (g/L) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	67
Figura 7. Promedios de la densidad celular al día 5 (g/L) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	69
Figura 8. Promedios de la densidad celular al día 7 (g/L) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	71
Figura 9. Promedios de la densidad celular al día 15 (g/L) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	73
Figura 10. Promedios de la densidad celular al día 22 (g/L) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	74
Figura 11. Promedios de la densidad celular al día 30 (g/L) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	77
Figura 12. Promedios de la biomasa (g) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	80
Figura 13. Promedios de la materia seca (%) de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. ....	82
Figura 14. Contenido nutricional de Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) bajo los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.....	85
Figura 15. Medidas de tanque de cultivo vidrio de 4 mm de grosor.....	106
Figura 16. Construcción y lavado de tanque de cultivo .....	107
Figura 17. Instalación de tanque de cultivo .....	106

Figura 18. Inoculación de cepa viva de espirulina T1 .....	108
Figura 19. Inoculación de cepa viva de espirulina T2.....	108
Figura 20. Bomba de aire de 2 salidas.....	109
Figura 21. Piedras de aire tipo concha y maguera transparente de 16 mm.....	109
Figura 22. Control de temperatura se inició el día de la inoculación o siembra de la espirulina 15 de octubre 2023.....	110
Figura 23. Control de temperatura en la mitad del tiempo del cultivo de espirulina. ....	110
Figura 24. Control de pH se inició el día de la inoculación o siembra de la espirulina 15 de octubre 2023.....	111
Figura 25. Control de densidad celular .....	111
Figura 26. Valde con contenido de medio de cultivo, para el filtrado .....	112
Figura 27. Prefiltrado del cultivo de Spirulina .....	112
Figura 28. Tamizado y cosecha final de la Spirulina.....	113
Figura 29. Proceso de secado de la Spirulina T1 y T2 .....	113
Figura 30. Toma de muestra de espirulina T1 y T2 .....	114
Figura 31. Muestra de espirulina T1 y T2.....	101
Figura 32. Muestras de micro y macro gotas de la espirulina en placas .....	115
Figura 33. Vista en microscopio a 4k .....	101

## Índice de anexos

A) Matriz de consistencia.....	98
B) Instrumentos de recolección de información.....	100
C) Base de datos .....	102
D) Construcción y adecuación del Invernadero para el cultivo de Espirulina .....	105
E) Evidencias .....	107
F) Otros.....	115

## I. Introducción

La Spirulina (*Arthrospira platensis*) es una microalga cianobacteriana conocida mundialmente, que ha trascendido su reconocimiento como "superalimento" para convertirse en un recurso estratégico dentro de la agricultura moderna. Si bien su alto contenido de proteínas, vitaminas y aminoácidos esenciales la posicionan como un suplemento nutricional de excelencia (Belay, 2008), sus aplicaciones actuales se extienden con vigor hacia el sector agronómico como una herramienta clave para la sostenibilidad y la seguridad alimentaria (Richmond, 2004).

En el ámbito de la producción vegetal, la Spirulina destaca por su versatilidad funcional. Investigaciones recientes, como las de Aguilar Aspiros et al. (2025), han demostrado que esta microalga actúa como un potente bioestimulante, capaz de acelerar el desarrollo fenológico en hortalizas como la lechuga (*Lactuca sativa* L.) y fortalecer la resiliencia del cultivo ante estresores ambientales. Su eficacia no se limita a hortalizas; en el ámbito de los cereales, Cagua Montaña y Guilcapi Ávalos (2025) han validado el uso de biofertilizantes a base de esta microalga en el cultivo de maíz suave (*Zea mays* L.), optimizando la nutrición mineral y el rendimiento del grano. Estos hallazgos coinciden con lo planteado por Pérez-Madruga et al. (2018), quienes sostienen que las algas constituyen una alternativa natural y sostenible para la producción de cultivos al actuar como promotores de crecimiento que reducen la dependencia de insumos químicos.

Más allá del rendimiento, la Spirulina posee propiedades de biofortificación y protección fitosanitaria. Kalpana et al. (2016) evidenciaron su capacidad como inoculante microbiano para elevar niveles de hierro y proteínas en cultivos como *Amaranthus gangeticus*, demostrando que su aplicación mejora la calidad biológica del producto final. Asimismo, se ha identificado su rol como acondicionador de suelo, mejorando sus propiedades físicas y químicas, y su potencial antifúngico al mitigar enfermedades radiculares causadas por patógenos como *Fusarium solani*.

En la región de Abancay, Apurímac, el aprovechamiento de este recurso enfrenta desafíos particulares derivados de la altitud y la intensa radiación solar. No obstante, el uso

de sistemas controlados como invernaderos permite mitigar la variabilidad climática y garantizar una producción constante (Jiménez et al., 2003). A pesar de estas ventajas, existe una brecha de conocimiento significativa sobre la producción de *Spirulina* bajo las condiciones específicas de la sierra peruana y su posterior desempeño como insumo agrícola local.

La presente investigación se fundamenta en la necesidad de generar datos técnicos sobre el cultivo de *Arthrospira platensis* en la región de Apurímac. Al evaluar la biomasa obtenida no solo por su valor nutricional, sino por su potencial biotecnológico aplicado a la agricultura, este estudio busca sentar las bases para una producción sostenible que fortalezca la seguridad alimentaria, impulse la economía regional y ofrezca soluciones innovadoras ante los desafíos del cambio climático en el sector agropecuario.

## II. Planteamiento del problema

### 2.1. Descripción y formulación del problema

En la actualidad, la agricultura enfrenta el desafío global de transitar hacia modelos de producción sostenibles que reduzcan la dependencia de agroquímicos sintéticos sin comprometer el rendimiento. En este escenario, la Spirulina (*Arthrospira platensis*) ha emergido no solo como un recurso nutricional, sino como una herramienta biotecnológica de alto valor agronómico. Investigaciones recientes han validado su uso como bioestimulante para acelerar el desarrollo vegetal y fortalecer cultivos ante el estrés ambiental (Aguilar Aspiros et al., 2025), así como su eficacia en la formulación de biofertilizantes para cereales como el maíz suave (Cagua Montaña y Guilcapi Ávalos, 2025).

A pesar de que estudios internacionales y nacionales destacan que las microalgas actúan como promotores del crecimiento y alternativas naturales para la producción sostenible (Pérez-Madruga et al., 2018), su integración en los sistemas productivos de la sierra peruana es inexistente. En la región de Apurímac, la agricultura tradicional se ve severamente limitada por la altitud elevada, la radiación solar extrema y la degradación de los suelos (INEI, 2020), factores que reducen la eficiencia en la absorción de nutrientes y la resiliencia de los cultivos locales.

El problema central se basa a pesar de las propiedades documentadas de la spirulina (*Arthrospira platensis*) como acondicionador de suelo y agente antifúngico contra *Fusarium solani*, su aprovechamiento en la provincia de Abancay es inexistente. Esta problemática responde a dos factores críticos: primero, la carencia de conocimiento del cultivo y adaptados a las condiciones agroclimáticas locales; y segundo, el desconocimiento generalizado de los agricultores sobre el potencial biotecnológico de esta biomasa. Esta brecha de conocimiento y técnica impide la adopción de la biofortificación, método que ha demostrado elevar niveles de hierro y proteínas en diversas especies vegetales (Kalpana et al., 2016), limitando así la innovación en la agricultura regional.

Actualmente, no se cuenta con información técnica sobre el comportamiento

productivo de la Spirulina bajo ambientes controlados (invernaderos) en Abancay, ni se ha evaluado si la biomasa obtenida localmente conserva las propiedades bioestimulantes y nutricionales necesarias para ser empleada con fines agronómicos. Esta brecha de conocimiento limita el desarrollo de una industria de bioinsumos locales, obligando a la región a depender de fertilizantes externos y menos sostenibles.

Por lo tanto, se hace imperativo investigar la viabilidad técnica y la calidad de la producción de *Arthrospira platensis* en la zona, con el fin de ofrecer una solución biotecnológica que mejore el rendimiento agrícola, restaure la salud de los suelos y fomente la seguridad alimentaria en Apurímac a través de la innovación agronómica.

### **2.1.1. Problema general**

¿Cómo influye los medios de cultivo en la producción de Spirulina (*Arthrospira platensis*) y su valor nutricional en condiciones de invernadero, Abancay – Apurímac – 2022?

### **2.1.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo influye los medios de cultivo (Zorrouk, Bionutrec) en la densidad celular de Spirulina (*Arthrospira platensis*) en condiciones de invernadero, Abancay – Apurímac – 2022?
- ¿Cómo influye los medios de cultivo (Zorrouk, Bionutrec) en la cantidad de biomasa de Spirulina (*Arthrospira platensis*) en condiciones de invernadero, Abancay – Apurímac – 2022?
- ¿Cómo influye los medios de cultivo (Zorrouk, Bionutrec) en la calidad nutricional de Spirulina (*Arthrospira platensis*) en condiciones de invernadero, Abancay – Apurímac – 2022?

## **2.2. Objetivos**

### **2.2.1. Objetivo general**

Evaluar la influencia de los medios de cultivo en la producción de Spirulina (*Arthrospira platensis*) y su valor nutricional en condiciones de invernadero, Abancay – Apurímac – 2022.

### 2.2.2. **Objetivos específicos**

- Evaluar la influencia de los medios de cultivo (Zorrouk, Bionutrec) en la densidad celular de Spirulina (*Arthrospira platensis*) en condiciones de invernadero, Abancay – Apurímac – 2022.
- Determinar la influencia de los medios de cultivo (Zorrouk, Bionutrec) en la cantidad de biomasa de Spirulina (*Arthrospira platensis*) en condiciones de invernadero, Abancay – Apurímac – 2022.
- Establecer la influencia de los medios de cultivo (Zorrouk, Bionutrec) en la calidad nutricional de Spirulina (*Arthrospira platensis*) en condiciones de invernadero, Abancay – Apurímac – 2022.

### 2.3. **Justificación e importancia**

La presente investigación se justifica en la necesidad de estandarizar la producción biotecnológica de la Spirulina (*Arthrospira platensis*) como un insumo estratégico para la agricultura moderna en Abancay. Estudios de vanguardia realizados por Aguilar-Aspiros et al. (2025) y Cagua Montaña y Guilcapi Ávalos (2025) han demostrado que la espirulina no solo funciona como un bioestimulante que acelera el crecimiento en hortalizas como la lechuga, sino que, aplicada en concentraciones específicas (30% y 60%), actúa como un biofertilizante líquido que optimiza la absorción de nutrientes en cereales como el maíz suave.

La relevancia de este estudio radica en que la biomasa de la Spirulina (*Arthrospira platensis*) es una fuente excepcional de aminoácidos, polisacáridos y compuestos bioactivos (ficocianina y carotenoides) que, según el World Journal of Bioscience (2025), incrementan la tolerancia de los cultivos locales ante estreses abióticos como la sequía y la salinidad, condiciones críticas en la sierra peruana. Al desarrollar protocolos de cultivo en invernadero adaptados a Abancay, se permite la producción local de un "acondicionador de suelo" que mejora la disponibilidad de minerales (hierro, potasio y fósforo) para que las plantas los integren en sus tejidos, permitiendo la biofortificación de alimentos desde el

origen (Kalpana et al., 2016; Marin et al., 2024).

Desde una perspectiva social, la producción local de Spirulina representa una estrategia fundamental para beneficiar directamente a los agricultores, quienes podrán mejorar de manera natural la calidad de sus productos y, en consecuencia, potenciar su sostenibilidad económica. La presente investigación se enfoca en el desarrollo de alimentos funcionales biofortificados que, según Alarcón et al. (2024), permiten obtener biomasa con alta densidad mineral y capacidad antioxidante. Este enfoque no solo promueve una innovación alimentaria, sino que también fomenta la participación activa de los agricultores en procesos de producción más sostenibles y saludables.

Económicamente, el estudio abre un nuevo nicho de mercado en Apurímac: la industria de los bioinsumos y la nutracéutica. La producción de Spirulina en invernaderos dinamiza la economía provincial al ofrecer a los pequeños productores una alternativa de diversificación con alta rentabilidad. La sustitución de fertilizantes sintéticos costosos por extractos de microalgas producidos localmente reduce los costos de producción agrícola y permite a los agricultores acceder a segmentos de mercado de productos orgánicos y limpios, altamente valorados en 2026.

Finalmente, bajo un enfoque de sostenibilidad, esta investigación promueve una agricultura de baja huella hídrica y de carbono. El cultivo de *Arthrospira platensis* presenta una eficiencia fotosintética superior a los cultivos tradicionales y permite el reciclaje de nutrientes. Al actuar como una alternativa ecológica a los insumos químicos, se minimiza la degradación de los suelos de la provincia de Abancay, garantizando la preservación de los recursos naturales para las futuras generaciones y fomentando una resiliencia climática efectiva en el ecosistema andino.

## 2.4. Hipótesis

### 2.4.1. *Hipótesis general*

La producción de Spirulina (*Arthrospira platensis*) y su valor nutricional cultivada en condiciones de invernadero en Abancay-Apurímac-2022. variara significativamente según los medios de cultivo.

### 2.4.2. *Hipótesis específicas*

- Los medios de cultivo (Zorrouk, Bionutrec) influirá significativamente en la densidad celular de Spirulina (*Arthrospira platensis*) en condiciones de invernadero, Abancay – Apurímac – 2022.
- Los medios de cultivo (Zorrouk, Bionutrec) influirá significativamente en la cantidad de biomasa de Spirulina (*Arthrospira platensis*) en condiciones de invernadero, Abancay – Apurímac – 2022.
- Los medios de cultivo (Zorrouk, Bionutrec) influirá significativamente en la calidad nutricional de Spirulina (*Arthrospira platensis*) en condiciones de invernadero, Abancay – Apurímac – 2022.

## 2.5. Variable

### A) Variable independiente (VI): Composición del medio de cultivo

**Definición conceptual:** Se refiere a la mezcla de nutrientes, minerales, y otros componentes que forman el medio en el cual se cultiva Spirulina (*Arthrospira platensis*). Esta composición puede incluir diferentes fuentes de carbono, nitrógeno, y minerales esenciales que influyen en el crecimiento y desarrollo de la microalga. Los tipos de medios de cultivo pueden variar en sus proporciones y tipos de ingredientes, afectando la efectividad del crecimiento de Spirulina.

**Definición operacional:** Se comparó dos tipos de medios de cultivo (Zorrouk y Bionutrec). El efecto se evaluó mediante la composición de los componentes específicos de cada medio, incluyendo concentraciones de nutrientes y minerales, comparando su capacidad para fomentar el crecimiento de la Spirulina durante el experimento.

**B) Variable dependiente (VD): Producción de Spirulina (*Arthrospira platensis*) y su Valor nutricional**

**Definición conceptual:** Esta variable se refiere a la cantidad y calidad de Spirulina cultivada en función de los medios. Incluye tres dimensiones: la densidad celular, la cantidad de biomasa, y el valor nutricional, que abarca el contenido de nutrientes esenciales como proteínas, vitaminas y minerales. La producción de Spirulina es un indicador del éxito del medio de cultivo y su adecuación para el crecimiento de la microalga.

**Definición operacional:**

- **Densidad celular:** Se midió en unidades de células por mililitro (g/L) a diferentes intervalos de tiempo (días 3, 5, 7, 15, 22 y 30) utilizando un hemocitómetro o un contador automático de células.
- **Cantidad de biomasa:** Se cuantificó en gramos (g) después de la cosecha, utilizando métodos de secado y pesaje de la biomasa recolectada de cada medio de cultivo.
- **Valor nutricional:** Se determinó mediante análisis químicos de muestras de Spirulina para medir el contenido de nutrientes como proteínas, calcio, fósforo, hierro y otros componentes bioactivos, expresados en miligramos por cada 100 gramos (mg/100g).

### C) Operacionalización de variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

Variables	Dimensión	Indicadores	Unidad medida
VI:			
Composición de medios de cultivo	Medios de cultivo	• Zorrouk	g/L
		• Bionutrec + micronutriente	g/L
	Densidad celular	• Multiplicación celular	g/L
	Biomasa	• Materia seca y proporción	g;
VD:			
Producción de espirulina	Valor nutricional	• Calcio	mg/100g
		• Fósforo	mg/100g
		• Hierro	mg/100g
		• Proteína total base seca	g/100g
		• Proteína total base húmeda	g/100g

*Nota.* Elaboración propia

### III. Marco teórico

#### 3.1. Antecedentes

**Aguilar et al. (2025)**, El uso excesivo de fertilizantes inorgánicos en la agricultura ha provocado efectos nocivos al medio ambiente, por ello, buscamos desarrollar productos alternativos que ofrezcan nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas sin dañar la calidad del suelo. Por tal motivo, este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de *Arthrospira platensis* como bioestimulante sobre *Lactuca sativa* L. La investigación realizada es de tipo aplicado, con un diseño experimental con enfoque cuantitativo y alcance correlacional, la muestra estuvo conformada por 16 plántulas de *Lactuca sativa* L.. La técnica de recolección de datos fue la observación, utilizando como instrumento la ficha de observación. El experimento se realizó en ambiente no controlado utilizando 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 fueron procesados mediante análisis estadístico ANOVA, evidenciándose que la concentración de 0.04% ofrece a la planta mejores resultados morfológicos, logrando mayor altura de hoja (33.35 cm), longitud total (46 cm) y raíces. (12.35 cm), número de hojas (22) y peso de biomasa total (148.68 gr). De esta manera, se concluye que el uso del bioestimulante a base de *Arthrospira platensis* proporciona efectos significativos sobre el crecimiento de *Lactuca sativa* L.

**Cagua et al. (2025)**, 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.

**Nava et, al. (2025)**, Los bioestimulantes son herramientas esenciales para mejorar el crecimiento y tolerancia de los cultivos agrícolas ante desafíos como heladas, calor extremo, sequía, salinidad y falta de nutrientes. El género *Arthrospira* es investigado por su composición bioquímica (aminoácidos, polisacáridos, antioxidantes, vitaminas, fitohormonas y poliaminas) que promueven el metabolismo y crecimiento de las plantas. Dichas sustancias participan en diferentes vías metabólicas y ayudan a las plantas a recuperarse por cambios drásticos en las condiciones del ambiente. El mecanismo de acción de los bioestimulantes cambia por el tipo de microorganismo, cantidad de sustancia, forma de dosificación, tipo de suelo y cultivo agrícola. La fenotipificación de alto rendimiento permite evaluar de forma precisa los efectos directos de los bioestimulantes. La dosificación de bioestimulantes derivados del género *Arthrospira* se presenta como estrategia para contribuir en la sostenibilidad de la agricultura y la seguridad alimentaria.

**Huarachi et al. (2015)**, desarrollaron en Chile un estudio sobre la adaptabilidad del alga cianofita *Spirulina* (*Arthrospira platensis* Geitl.), cultivada en un fotobiorreactor tubular cónico operado a condiciones ambientales. El equipo presentaba una superficie superior de 0,28 m<sup>2</sup>, con 0,70 m de altura y 0,60 m de diámetro en la parte superior del cono, construido con tubo de PVC (policloruro de vinilo) transparente de 12 mm de diámetro. El reactor estaba conformado por 34 m de tubería para las 34 espiras del cono y 7 m adicionales destinados al sistema de enfriamiento; todo el conjunto se reforzó con una estructura metálica y se recubrió con láminas de aluminio, alcanzando un volumen total de 5,3 L. La superficie interna del cono (0,71 m<sup>2</sup>) se expuso directamente a la radiación solar, registrándose una iluminancia de 11 700 lux y una radiación promedio de 774 W/m<sup>2</sup> durante el periodo comprendido entre el 24 de junio y el 12 de julio de 2013. La agitación y aireación del cultivo se efectuó mediante una bomba de aire con un caudal medio de 0,002 L/s, lo que permitió obtener una tasa de producción de biomasa seca de 0,298 g/m<sup>2</sup>/día, con contenidos de clorofila a de 0,0023 g/m<sup>2</sup>/día y carotenoides de 0,0011 g/m<sup>2</sup>/día. El patrón de crecimiento de *Spirulina* en este fotobiorreactor tubular cónico se ajustó a un modelo matemático de tipo “potencial” en 18 días, con valores de ajuste  $R^2 = 0,937$  y  $F = 119,216$ . Los resultados mostraron que la morfología de *S. platensis* pasa de la forma espiralada típica a filamentos rectos cuando se expone de manera directa a la radiación UV de 774 W/m<sup>2</sup>, alcanzándose una biomasa de 1,5 g/L y la misma productividad de 0,298 g/m<sup>2</sup>/día a 11 700 lux. La clorofila a y los carotenoides se mantuvieron tolerantes a dicha radiación, aunque al final del experimento se observó una reducción de clorofila a y un incremento considerable de carotenoides en comparación con otros trabajos, asociado a un crecimiento lento. Los autores señalan que las características morfológicas de *Spirulina* se relacionan con la calidad del producto; en consecuencia, la radiación UV en cultivos al aire libre afecta negativamente la calidad y el rendimiento de la biomasa cosechada. Asimismo, advierten que un incremento de la radiación UV por agotamiento de la capa de ozono puede modificar el desarrollo morfológico de las cianobacterias durante la aclimatación o a lo largo del tiempo de adaptación, alterando las formas, tamaños y contenido de carotenoides, lo

que repercute en los niveles tróficos superiores y en las tasas metabólicas de los ecosistemas acuáticos, fuertemente dependientes de estos parámetros.

**Ríos et al. (2020)**, en su estudio del cultivo a cielo abierto de alga espirulina en zona tropical en México como nota de proteína. El objetivo central de este proyecto de la investigación fue establecer la producción de cultivos de alga *Spirulina* en sistemas a cielo abierto, ubicados en una zona de clima tropical de la región de Córdoba, Veracruz, México. Los resultados obtenidos muestran que el cultivo de *A. máxima* en biorreactores abiertos, con sistema de aireación e iluminados únicamente con radiación solar natural, logró adaptarse adecuadamente a dichas condiciones tropicales. Asimismo, la *Spirulina* deshidratada y transformada en polvo presentó un contenido proteico del 61 %, una inhibición del radical libre DPPH de 60,01 % y parámetros físico-químicos que le confieren características apropiadas para su utilización como aditivo en la industria alimentaria. En conclusión, las condiciones climáticas de la región de Córdoba, Veracruz favorecen el desarrollo del cultivo a cielo abierto del alga *Spirulina* con un alto aporte proteico y actividad antioxidante. Además, los análisis físicos y químicos permitieron determinar que una vez que el alga ha sido deshidratada y triturada cuenta con excelentes características para diversos usos, entre ellos, como una Nota alimentaria para consumo humano o su utilización en la en la industria alimentaria como aditivo y sustituto de proteína animal.

**Muñoz et al. (2021)**, en su trabajo de revisión de la producción de la *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) en Ecuador, menciona que la biotecnología de microalgas cada vez gana más fuerza en el mercado, siendo esencial la producción de biomasa del género *Arthrospira platensis*. *Spirulina* se considera una cianobacteria con alto potencial de uso en la industria alimentaria, farmacéutica y biotecnológica; sin embargo, en Ecuador aún no se aprovecha al máximo, por lo que la investigación planteó como objetivo realizar una revisión exploratoria de los avances tecnológicos a partir de una amplia revisión sistemática de literatura científica. En este contexto, la *Arthrospira platensis* se reconoce como una microalga con notable potencial de cultivo y comercialización en diversas industrias,

valorada por sus propiedades nutritivas y medicinales, lo que respalda su utilización en los sectores alimentario, farmacéutico, de cosméticos y biotecnológico. Entre sus principales formas de aprovechamiento se mencionan su uso como biocombustible, suplemento alimentario, insumo farmacéutico, materia prima para biodiésel y productos cosméticos, así como fuente de carotenos,  $\beta$ -caroteno, vitaminas y otros compuestos bioactivos con actividades antioxidante, anticancerígena, antibacteriana, antiinflamatoria y hepatoprotectora. En conclusión, para implementar el cultivo de Spirulina (*Arthrospira platensis*) con fines productivos y aprovechar su potencial comercial, es imprescindible profundizar en el bioproceso de su elaboración óptima, de modo que se garantice una producción de biomasa eficiente.

**Sosa (2022)**, en una investigación donde se tuvo como objetivo principal obtener un criterio económico que ha evaluado los costos de producción de nuevos productos proteicos para la elaboración de alimento balanceado para peces, cuyo estudio se realizó desde la fase inicial hasta la obtención de la biomasa húmeda y liofilizada de microalgas, en este estudio se observó que, durante el primer mes, los resultados fueron poco favorables debido a que solo se obtuvo una cosecha; no obstante, en el segundo mes la producción se incrementó, registrándose para *Chlorella vulgaris* 2192,20 g, para *Tetraselmis striata* 2002,80 g y para *Nannochloropsis oculata* 1737,72 g. Del mismo modo, al procesar la biomasa mediante liofilización (6 cosechas/mes), se obtuvieron 585,00 g de *Chlorella vulgaris*, 529,38 g de *Tetraselmis striata* y 455,40 g de *Nannochloropsis oculata*, se resalta que *Chlorella vulgaris* presentó el mayor rendimiento tanto en biomasa húmeda como liofilizada y, además, mostró un costo por kilogramo más cercano al de la harina de pescado, con valores aproximados de S/ 17,03 y S/ 4,53 respectivamente.

**Mejía (2016)**, en su estudio realizado sobre el desarrollo de un modelo matemático de un fotobioreactor solar de placa plana para la producción de Spirulina en Ecuador, indica que la cinética de crecimiento de la *Arthrospira platensis* depende fuertemente de la interacción entre la dinámica de fluidos en el fotobioreactor, el transporte de luz solar por radiación desde el exterior y distribución de luz al interior del fotobioreactor, los fenómenos

que gobiernan su dinámica de funcionamiento deben ser previamente modelados y simulados para comprender su interrelación. En la investigación se abordó, en primer término, la interacción entre el agua líquida y el aire gaseoso dentro del equipo, tratándolos como un fluido bifásico disperso. Posteriormente, se formuló un modelo de transferencia de la radiación solar que incide sobre las superficies externas y se aplicó la ecuación de transporte radiactivo para estimar la distribución de luz al interior del reactor, en función de los datos de irradiancia solar propios de la localidad de Pedernales, Ecuador. Además, se desarrolló un modelo cinético orientado a predecir el crecimiento de la cianobacteria en estudio en función del campo de irradiancia. La simulación numérica de todos estos modelos se realizó mediante el software ANSYS WORKBENCH 15.0 y los resultados indicaron que el crecimiento de la cianobacteria se ubica en una zona de saturación lumínica bajo las condiciones de irradiancia de Pedernales. Para verificar la estabilidad y validez de los modelos, se llevaron a cabo simulaciones en estado transitorio, comprobándose que los residuales satisfacen el criterio de convergencia establecido por ANSYS.

**Zegarra et al. (2019)**, en su estudio de cultivo de Spiulina (*Arthrospira platensis*), usando suero de leche subproducto de la fabricación de quesos como medio de cultivo, en condiciones de laboratorio, realizado en Arequipa Perú, menciona que la Spirulina (*Arthrospira platensis*) es una Cianobacteria que está siendo muy utilizada debido a su elevado contenido proteico y su excelente valor nutricional por lo que la agencia europea espacial lo seleccionó para la dieta de los astronautas y es usado en clínicas para tratar la malnutrición. El lacto suero (suero de leche), es un subproducto de la producción de queso, y actualmente es desechado, representando una Nota de contaminación del suelo. El estudio tuvo como propósito aprovechar el suero de leche como medio alternativo de cultivo para Spirulina (*Arthrospira platensis*). La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Acuicultura de la Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera, Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA), Perú. Para la preparación de los medios de cultivo se empleó lactosuero en tres concentraciones: 25 %,

12,5 % y 6,25 %, mientras que como control se utilizó el medio sintético “La Molina” al 25 %, con el fin de comparar cuál de los tratamientos resultaba más eficiente en la producción de Spirulina. Cada tratamiento y el control se trabajaron por triplicado, manteniendo el pH entre 8,5 y 10 mediante la adición de bicarbonato de sodio y una temperatura de cultivo entre 31 y 34 °C; la iluminación se proporcionó con luz artificial generada por lámparas fluorescentes de 35 watts durante 12 horas diarias. El crecimiento celular se evaluó cada 48 horas utilizando una cámara de Sedgewick Rafter y observación al microscopio óptico (10x). Tras 30 días de cultivo, se registró un incremento de 41 533 cel/ml en el tratamiento T1 (25 %), de 45 600 cel/ml en T2 (12,5 %) y de 52 200 cel/ml en T3 (6,25 %), mientras que el medio control mostró un aumento de 48 467 cel/ml. En función de estos resultados, T3 fue identificado como el tratamiento con mejor concentración de suero, además de ser el que evidenció el mayor crecimiento de Spirulina (*Arthrospira platensis*).

**Huarachi et al. (2015b)**, en su trabajo de investigación del cultivo de la microalga Spirulina (*Arthrospira platensis*) en valores de productividad cultivado en fotobiorreactor tubular doblemente curvado a condiciones ambientales con el fin de aprovechar la alta radiación solar de la región Arequipa en el sur de Perú (16°24'50'' LS; 71°32'02'' LO; 2344 msnm). El fotobiorreactor fue construido con tubo transparente de policloruro de vinilo (PVC), en el cual se cultivó *Arthrospira platensis*. La productividad obtenida fue de 13,9 g/m<sup>2</sup> en 14 días, equivalente a 1 g/m<sup>2</sup>/día, con una concentración de clorofila a de 0,00785 mg/L bajo una radiación máxima de 1179 W/m<sup>2</sup> y una iluminancia de 121 500 lux. Bajo estas condiciones, los filamentos helicoidales característicos de la especie se transformaron en morfologías anormales, observándose formas curvas irregulares e incluso lineales con fragmentaciones, lo que evidenció que el cultivo se vio afectado por la elevada radiación y las variaciones térmicas propias de Arequipa. En síntesis, los resultados indican que la intensa radiación solar incidente sobre el sistema de cultivo en un fotobiorreactor doblemente curvado impacta negativamente la morfología y la productividad de *Arthrospira platensis*, de modo que dicha radiación no es óptima para cultivos al aire libre, tal como se refleja en la baja producción de biomasa y de clorofila

(13,9 g/m<sup>2</sup> y 0,00785 mg/L, respectivamente), pese a que la temperatura diurna resultó adecuada para el desarrollo de *Spirulina* (*Arthrospira platensis*).

**Vásquez et al. (2017)**, en su estudio sobre el efecto de la intensidad de diodos electroluminosos y fotoperiodo en la optimización de la producción de biomasa de *Spirulina* (*Arthrospira platensis*), en Trujillo menciona que se optimizó la producción de biomasa de cultivos batch de *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) en fotobiorreactores a escala de laboratorio (FBL) de 0,2 L, por efecto de X1: intensidad de diodos electroluminosos (LED's) entre 1,25 a 41,7 klux y X2: fotoperiodo de 12/12 a 24/0, h de luz/h de oscuridad (L/O) utilizando un diseño compuesto central rotacional (DCCR) y metodología de superficie de respuesta (MSR). Asimismo, se evaluaron las características hidráulicas y el desempeño de un cultivo batch de *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) en un fotobiorreactor de canal de bucle cerrado abierto a la atmósfera (FB-BCAA), operado bajo iluminación LED de  $8,3 \pm 1,9$  klux y fotoperiodos de 12/12 y 24/0 hr luz/oscuridad (L/O). A partir de ensayos complementarios en un fotobiorreactor de laboratorio (FBL) se identificaron dos zonas óptimas de producción de biomasa de *Spirulina sp.*, con valores de 1,65 y 1,62, asociadas a una intensidad de diodos emisores de luz (LED) de 21,5 klux y a fotoperiodos de 12/12 y 24/0 h L/O, respectivamente. El modelo matemático que describió dichas zonas óptimas fue de segundo orden, con alta significancia estadística ( $p = 0,000396 < 0,05$ ) y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,92$  entre los valores experimentales y los predichos. En el FB-BCAA, el cultivo de *Spirulina* con iluminación LED de  $8,3 \pm 1,9$  klux y fotoperiodo de 12/12 h L/O alcanzó una producción de biomasa de 0,72, una fase de adaptación más rápida ( $\lambda = 4,62$  h), una mayor velocidad específica de crecimiento ( $\mu_{max} = 0,033$  h<sup>-1</sup>) y un menor tiempo de consumo de energía de 74,05 h en comparación con el fotoperiodo continuo de 24/0 h L/O, lo que evidencia la ventaja del uso de ciclos de 12/12 h luz/oscuridad

**Menacho et al. (2019)**, en su estudio del efecto del extracto acuoso de lodo de la Bahía El Ferrol (Ancash, Perú) en el crecimiento poblacional y contenido de ficocianina en la microalga *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) mencionan, que los compuestos que

sintetizan las microalgas han adquirido gran valor en el mercado, sin embargo, su producción a gran escala presenta limitaciones dado los altos costos que conllevan el uso de medio sintéticos. En esta investigación se evaluó el efecto del extracto acuoso de lodo (EAL) de la bahía El Ferrol en el incremento de biomasa y contenido de ficocianina de *Spirulina* (*Arthrospira platensis*). El EAL fue preparado diluyendo lodo con agua potable (1:2 v/v) y hervido por 20 min., luego de sedimentar a temperatura ambiente se extrajo el sobrenadante, el cual contuvo 0.55 g mL<sup>-1</sup> de lodo. Los cultivos de *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) fueron dosificados con 20, 30 y 40 mL L<sup>-1</sup> de EAL, y el medio Zarrouck se usó como control. El mayor contenido de biomasa (0.842 ±0.055 g L<sup>-1</sup>) se obtuvo con el tratamiento de 30 mL L<sup>-1</sup> de EAL y no se observó diferencia estadística significativa (p<0.05) entre los tratamientos en el último día de cultivo (día 8). Asimismo, la mayor producción de ficocianina fue determinada en 40 mL L<sup>-1</sup> de EAL (0.096 mg L<sup>-1</sup>). Estos resultados sugieren el uso del EAL para la producción masiva de *Spirulina* (*Arthrospira platensis*), ya que este es un medio de fácil elaboración y bajo costo.

**Castillo et al. (2022)**, en su trabajo de revisión de “*Spirulina* (*Arthrospira platensis*), en una revisión de la composición química, beneficios en la salud y uso en la industria alimentaria” en Sullana, donde menciona que uso de algas y plantas en la industria alimentaria, no ha sido suficientemente valorado como un recurso potencial para la mejora de la nutrición de las poblaciones. En esta revisión se tuvo como objetivo, el explicar e identificar los componentes químicos, sus beneficios en la salud humana y el uso en la industria alimentaria cuyos principales componentes son la presencia de micronutrientes como la vitamina B12, macronutrientes como lactosa y metabolitos secundarios, ficocianina en gran cantidad. Los beneficios presentados detallan efectos hipolipemiantes, antimicrobianos, homeostáticos, en algunos casos anticancerígenos. El uso de esta alga en la industria alimentaria ha sido mediante su incorporación en productos de panadería, bebidas snack y otros siendo empleados como fortificante nutricional con cualidades saludables.

## **3.2. Bases teóricas**

### **3.2.1. *Espirulina***

#### **3.2.1.1. Descripción y taxonomía**

La Spirulina (*Arthrospira platensis*) es una microalga que presenta pigmentos azules (ficocianina) y verdosos (clorofila). Los filamentos de la espirulina (llamados tricomas) son multicelulares tienen una longitud de 0,3mm de media y una anchura de 0,008mm El nombre proviene de dos voces Arthro=articulación, spira= espiral. Debido a los compuestos inactivos que presenta, es considerada como un alimento funcional presentando un gran potencial como producto alimenticio al ser fácilmente digerible por la carencia de membranas (Pérez et al., 2002).

Las cianobacterias Spirulina (*Arthrospira platensis*) son planctónicas que forman poblaciones masivas en masas de agua tropicales y subtropicales, caracterizándose por los altos niveles de bicarbonato, carbonato y pH alto, siendo abundante en aminoácidos esenciales y no esenciales, al presentar el hierro como característica funcional (Tomaselli, 1997) mencionado por (Álvarez, 2018).

Según Vonshak & Tomaselli (1996) mencionado por Prada (2024), la Spirulina tiene una clasificación taxonómica de la siguiente manera:

- Reino: Bacteria
  - Filo: Cianobacteria
    - Clase: Cyanobacteria
      - Orden: Oscillatoriales
        - Familia: Phormidiaceae
          - Género: *Arthrospira*
            - Especie: *Platensis*
              - Variedad: Lonar y Paracas

#### **3.2.1.2. Hábitat y ecología**

Caiza (2021), afirma que “La Spirulina (*Arthrospira platensis*) observada bajo la luz del microscopio presenta filamentos verdes azulados de células cilíndricas situadas en varias filashelicoidales, sin ramificación, los filamentos se mueven sobre el axil, las filas de las células cuentan con un diámetro de 1 a 3 $\mu$ m en las especies de menor dimensión y de 3 a 12 $\mu$ m en las de mayor dimensión”.

El crecimiento es favorecido en zonas con elevadas concentraciones de salinidad, por lo que su cultivo es perfecto para llevarse a cabo en zonas costeras, incluso en zonas secas. “Para su desarrollo la *Arthrospira* necesita aguas alcalinas con un pH alrededor de 9 a 11, pudiendo aumentar su contenido de proteína hasta 5 veces más en comparación a la carne y un contenido balanceado de los aminoácidos a diferencia de las otras especies de algas” (Desai y Sivakami, 2006) mencionado por (Prada 2024).

A temperaturas inferiores a los 15 °C impide el desarrollo de esta especie, mientras que un descenso en el pH puede originar que el cultivo sea afectado por la proliferación de bacterias o algas oportunistas. “La luz es otro parámetro considerable en el cultivo de *Arthrospira*, ya que el proceso de fotosíntesis se refuerza con el aumento de la intensidad de la luz hasta lograr su máxima tasa de crecimiento (Prada 2024).

### 3.2.1.3. Reproducción y ciclo de vida

Para la reproducción de la Spirulina, se inicia cuando la temperatura del cultivo sobrepasa los 20 °C., siendo su parámetro óptimo entre los 35 y 38 °C para poder lograr la velocidad de crecimiento máxima. Así mismo, el nivel de pH óptimo para el cultivo de esta especie se mantiene entre 8 y 11 (Rodríguez y Triana, 2006).

El ciclo de vida de esta especie consta de cuatro fases: fase de adaptación; fase de crecimiento exponencial; fase estacionaria y fase de muerte, cada 24 y 72 horas.

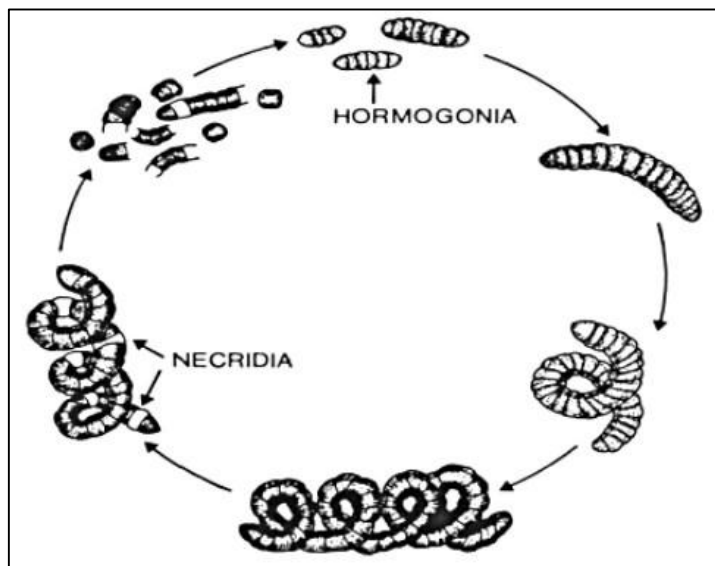
**a). Fase de adaptación.** La especie se adapta a las condiciones y medio de cultivo, su crecimiento es mínimo y se incrementa en función de su capacidad adaptativa.

**b). Fase de crecimiento exponencial.** Posterior a su adaptación exitosa, se produce la multiplicación celular hasta que las células se ocultan una sobre otra, lo que provoca una disminución en el ingreso de la luz originando una inhibición en su crecimiento. La pérdida de nutrientes ocasiona una interferencia en la respiración celular.

**c). Fase estacionaria.** En esta fase ocurre el descenso de la tasa de crecimiento, por el limitado ingreso de luz a las células, y la respiración celular aumenta, disminuyendo la biomasa por el metabolismo oxidativo de la especie. Alcanza la máxima concentración de biomasa, logrando un balance entre la concentración máxima y la pérdida de la biomasa.

**Figura 1**

*Ciclo de vida de Arthrospira platensis*



*Nota.* Ciferri et al. (1983) mencionado por Prada (2024).

**d). Fase de muerte.** Esta última etapa se caracteriza por presentar un reducido ingreso de luminosidad y nutrientes, provocando una reducción de biomasa y liberando materia orgánica en su ambiente, consecuentemente la muerte.

#### 3.2.1.4. Composición química de la *Spirulina (Arthrospira platensis)*

Los componentes de la microalga *Spirulina (Arthrospira platensis)* y el interés que pueda tener como un alimento saludable y funcional, se explica por la presencia de vitaminas, proteínas y minerales, los mismos que motivaron su uso en la lucha contra la mal nutrición humana (Álvarez 2018 y Fernández et al., 2019). La *Spirulina (Arthrospira platensis)* es una microalga que contiene un alto contenido proteico, ácidos grasos esenciales, minerales y vitaminas, es un cultivo ideal para zonas desérticas y más aún donde el agua es alcalina, es fácil de multiplicar y económica de producir (Rodríguez & Triana, 2006).

**Tabla 2**

*Composición química de la Spirulina sp. en cada 100 g.*

N.º	Componente	Cantidad
1	Valor energético	361.09 Kcal.
2	Humedad	4.05g.
3	Proteína	65.16g.
4	Grasa	7.17g.
5	Carbohidratos	8.98g.
6	Fibra	0.43g.
7	Minerales	7.0 g.

*Nota.* Mendoza (2017) mencionado por Prada (2024).

La *Spirulina (Arthrospira platensis)* es un alga vegetal azul verdosa rica en proteínas, vitaminas, incluido complejo B, minerales, pigmentos y ácidos grasos esenciales. Es muy rica en hierro en la forma biodisponible, el aporte proteico de la *Spirulina* es muy superior al de otras fuentes tradicionales como pescado, 10%; soya, 30-

35%; leche, 3%; maní, 25%; huevos, 12%; granos, 8%; carne, 20- 22%, como carece de celulosa dura en la pared celular, proporciona mejor digestibilidad de la proteína en un 95%, por lo que favorece a los individuos con mala absorción intestinal. (Rodríguez & Triana, 2006).

En tanto otro, informaron que el alto contenido de proteínas de Spirulina (*Arthrospira platensis*) hace de ésta un alimento altamente nutritivo, además de que contiene aminoácidos esenciales y su aminograma es muy similar al de la yema de huevo, que es considerado el aminograma tipo, por la FAO (Ramírez & Olivera, 2006). A lo mencionado anteriormente se puede agregar que las proteínas presentes en esta cianobacteria son de fácil digestión y metabolización, ayudando con esto al tratamiento de la desnutrición (FAO, 2008).

Por todo lo anterior, es considerado como un superalimento, integrando el grupo de los “superfoods”, siendo consumido por atletas de nivel olímpico, incluso los astronautas han incluido en sus dietas. (Rodríguez & Triana, 2006).

### 3.2.1.5. Micronutrientes

Gutiérrez & Tello (2016), encontraron en la Spirulina (*Arthrospira platensis*) minerales como el Calcio (468 mg) y el fósforo (468 mg) en cantidades iguales, seguido por el hierro (87,4 mg), el magnesio (319 mg) y en cantidades menores a 100 mg como: selenio, cobre, potasio, sodio y zinc. Sin embargo, la *Spirulina sp.* posee cantidades similares en cuanto a minerales y vitaminas, como se muestra en las siguientes tablas.

**Tabla 3**  
*Minerales en la Spirulina sp en 10 g.*

N.º	Minerales	Cantidad
1	Calcio	100 mg.
2	Hierro	15 mg.
3	Zinc	300 µg.
4	Fósforo	90 mg.

5	Magnesio	40 mg.
6	Cobre	120 mg.
7	Sodio	60 mg.
8	Potasio	160 mg.
9	Manganeso	500 µg
10	Cromo	28 µg
11	Selenio	2 µg

*Nota.* Mendoza (2017) mencionado por Prada (2024).

**Tabla 4**

*Composición vitamínica de la Spirulina en 100 g.*

N.º	Vitaminas	Cantidad
1	Provitamina A	0.11 – 0.20 g.
2	Niacina B3	0.014 mg.
3	Tiamina B1	3.00 – 4.00 mg.
4	Riboflavina B2	2.50 – 3.50 µg.
5	Cobalamina B12	0.15 – 0.25 mg.
6	Vitamina K	2.20 mg.
7	Vitamina E	5.00 – 7.00 mg.
8	Ácido fólico B9	4.00 – 5.00 mg.
9	Ácido pantoténico B5	0.50 – 0.80 mg.
10	Biotina B7	5.00 µg

*Nota.* Zambrano (2005) mencionado por Prada (2024).

### 3.2.1.6. Macronutrientes

Gutiérrez & Tello (2016), hacen referencia que los carbohidratos se encontraron en un valor de 17.8 g., lípidos 373 g y respecto a proteínas puede variar y no se encontró un valor definido. Sin embargo, en las tablas siguientes, se detallan los aminoácidos esenciales y no esenciales como: Cistina, Histidina, Leucina, Tirosina, Lisina, Metionina, Arginina, Glicina, Fenilalanina, Treonina, Ácido aspártico, Triptófano, Valina, Alanina, Arginina, Ácido aspártico, Isoleucina, Ácido glutámico, Prolina, Serina, etc. como parte de su composición.

### 3.2.1.7. Metabolitos secundarios

Gutiérrez & Tello (2016), Los metabolitos que podemos encontrar en alta proporción son la Ficocianina con 17.2% sin mencionar además la clorofila y el ácido gamma linoleico, los carotenoides alcanzan 504 mg en una medida de 10 g.

**Tabla 5**

*Contenido de aminoácidos esenciales de Spirulina sp. por cada 10 g.*

N.º	Aminoácidos esenciales	Cantidad
1	Fenilalanina	280 mg.
2	Isoleucina	350 mg.
3	Leucina	540 mg.
4	Lisina	290 mg.
5	Metioninas	140 mg.
6	Triptófano	90 mg.
7	Treonina	320 mg.
8	Valina	400 mg.

*Nota.* Mendoza (2017) mencionado por Prada (2024).

**Tabla 6**

Contenido de aminoácidos no esenciales de *Spirulina sp.* por cada 10 g

N.º	Aminoácidos no esenciales	Cantidad
1	Ácido aspártico	610 mg.
2	Ácido glutámico	910 mg.
3	Alanina	470 mg.
4	Arginina	430 mg.
5	Cisteína	60 mg.
6	Glicina	320 mg.
7	Histidina	100 mg.
8	Prolina	230 mg.
9	Tirosina	300 mg.
10	Serina	320 mg.

Nota. Mendoza (2017) mencionado por Prada (2024).

### 3.2.1.8. Aplicación de la *Spirulina (Arthrospira platensis)* en la industria alimentaria.

El uso de la *Spirulina (Arthrospira platensis)* en la industria alimentaria se remonta a más de 300 años atrás en las civilizaciones de América central como los mayas y aztecas. En los últimos 20 años la comercialización de este producto se ha visto en beneficio, debido a la globalización. Generalmente las algas son cultivadas en biotanques con atmósfera controlada, para ser luego procesadas a manera de cápsulas o en polvo para los diferentes productos alimentarios, alcanzado valores de producción cerca de 2000 toneladas (Tarazona, 2018). En los años 2017 a 2026 su crecimiento se estima en un valor del 5.8%, de acuerdo a “Credence research” (Grosshagauer et al. 2020).

### 3.2.2. Sistemas de cultivo

#### 3.2.2.1. Sistemas de cultivo abiertos

Los sistemas de cultivo abiertos no tienen protección frente a las condiciones del medio ambiente y por tanto es sensible a la contaminación del aire, a la lluvia y a los

insectos, entre otros, este método de cultivo ha sido el más empleado debido a su menor coste y a la mayor durabilidad de las construcciones necesarias para realizar este sistema de cultivo (Fernández, 2014).

### **3.2.2.2. Sistemas de cultivo cerrados**

Los sistemas de cultivo cerrados tienen protección sobre el medio de cultivo, centrándose en el mayor control de la temperatura sobre el cultivo, aunque los fotobiorreactores son sistemas de cultivo donde se desarrollan organismos fotosintéticos y por lo tanto todos los sistemas de cultivo abierto se podrían considerar también como éstos, comúnmente se les conoce como fotobiorreactores a los que están cerrado-Columnas: son fotobiorreactores cerrados que se basan en la columna de burbujeo de material transparente, son de fácil construcción, no obstante, tienen algunas desventajas como la pérdida de la captación solar en horas centrales del día y el escalado, ya que al aumentar el diámetro se aumenta la zona oscura, que sería la zona central de la columna y, por tanto, baja la productividad (Cajamar, 2016).

### **3.2.3. Sistema de cultivo en invernadero**

El cultivo en los invernaderos es considera parte del sistema de cultivo abierto. El acondicionamiento de temperatura del ambiente de los invernaderos permite continuar con la producción en el periodo invierno. La temperatura que mantiene este tipo de instalación esta superiores a los 12 C, que garantiza la producción de todo el año. Los invernaderos se pueden ser de polietileno LDT de 150 µm de espesor, de una altura promedio de 1.15 m, dependiendo del medio ambiente. Así mismo la temperatura, agitación, alcalinidad, salinidad y control microbiano de crecimiento en el estanque deberán de ser controlados para poder optimizar la producción de Spirulina (Medina & Lara, 2005).

### **3.2.4. Historia de la Spirulina (*Arthrospira platensis*) en la alimentación**

Bohórquez (2017), El primer registro del uso de Spirulina (*Arthrospira platensis*) para consumo humano data de los 1520 en donde Hernán Cortés en su segundo informe a España, da a conocer la producción, consumo y uso de la espirulina a los reyes de España, en aquel entonces la Spirulina era llamada "Tecuítalt" por losAztecas. Además era

producida y consumida en grandes cantidades (Ilustración 5); para poder conocer aproximadamente la producción que habría en aquel momento, se conoce que la población que se alimentaba de la Spirulina eran alrededor de 250 000 habitantes, que se encontraban en la época de la pre- conquista de Tenochtitlan, el cuál era un lugar importante porque era donde vivía el sumo Sacerdote Tenoch la Tecuítlatl, cabe resaltar que el lago Texcoco era 20 veces más grande en ese entonces de lo que es actualmente, además de su alto consumo la Spirulina también se utilizaba como ofrenda a los Dioses. Debido al área tan montañosa, la Spirulina era posiblemente la Nota principal de proteína, ya que se contaba con muy pocas áreas sin montañas, por ello existían bajos niveles de producción en agricultura y ganadería, la Spirulina formaba parte de la alimentación básica de muchas civilizaciones, pero en la época de la colonia y bajo el dominio español, se perdió el cultivo y consumo de la Spirulina (Bohórquez, 2017).

### **3.2.5. *Propiedades nutracéuticas de la Spirulina***

La Spirulina tiene cualidades inmunológicas, antioxidantes, antivirales, así como la capacidad de ejercer un papel protector contra el cáncer, además brinda un efecto antitóxico porque favorece la eliminación de metales pesados, donde se usa en múltiples estudios realizados a pacientes intoxicados por arsénico, muestra una función reguladora en casos de hiperglicemia e hiperlipidemia, en estudios con animales, se ha demostrado que la suplementación con Spirulina modifica el contenido de colesterol en la leche y carne del ganado vacuno, generando alimentos con menor contenido de colesterol y mayor contenido ácidos grasos mono y poliinsaturados (Ramírez & Olivera, 2006).

### **3.2.6. *Medios de cultivo***

#### **3.2.6.1. Medio de cultivo Zarrouk**

##### **Composición y características:**

El medio de cultivo Zarrouk es uno de los medios más utilizados para el cultivo de Spirulina debido a su eficacia en promover un rápido crecimiento y una alta producción de biomasa. Este medio fue desarrollado por Zarrouk en 1966 y se compone principalmente de nitrato de sodio, carbonato de sodio y una mezcla de sales minerales. Es conocido por

su capacidad para soportar altas densidades celulares de Spirulina, lo que resulta en una mayor producción de biomasa y mejora su valor nutricional (Belay, 2008).

Este medio fue desarrollado por el investigador Zarrouk en 1966 y se compone principalmente de:

- Nitrógeno: Proporcionado en forma de nitrato de sodio ( $\text{NaNO}_3$ ), que es esencial para la síntesis de proteínas y otros compuestos nitrogenados.
- Carbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ): Actúa como una Nota de carbono y ayuda a mantener el pH alcalino que la Spirulina prefiere.
- Sales minerales: Incluye una mezcla de sales como cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ), sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ), cloruro de potasio ( $\text{KCl}$ ), y fosfato de potasio ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ), que proporcionan los micronutrientes necesarios para el crecimiento celular.

#### **Impacto en el crecimiento y calidad nutricional:**

El medio Zarrouk es conocido por su capacidad para soportar altas densidades celulares de Spirulina, lo que resulta en una mayor producción de biomasa. Además, debido a su composición rica en nutrientes, este medio favorece la acumulación de proteínas, vitaminas y minerales en las células de Spirulina, mejorando su valor nutricional.

#### **3.2.6.2. Medio de cultivo Bionutrec**

##### **Composición y características:**

El medio de cultivo Bionutrec es una alternativa más reciente y está diseñado para optimizar tanto el crecimiento como la calidad nutricional de la Spirulina. Este medio incluye nitrógeno en formas orgánicas e inorgánicas, fuentes de carbono y una mezcla equilibrada de micronutrientes (Bionutrec, 2020). Se ha observado que el medio Bionutrec puede aumentar la concentración de compuestos antioxidantes en las células de Spirulina, mejorando su calidad nutricional (Smith et al., 2019). Aunque su composición exacta puede variar según el proveedor, generalmente incluye:

- Nitrógeno: Proporcionado en formas orgánicas e inorgánicas para mejorar la asimilación y utilización por parte de la Spirulina.

- Fuentes de carbono: Puede incluir una mezcla de carbonatos y bicarbonatos para mantener el pH y proporcionar carbono.
- Micronutrientes: Una mezcla equilibrada de oligoelementos y vitaminas que promueven el crecimiento celular y la síntesis de compuestos bioactivos.

#### **Impacto en el crecimiento y calidad nutricional:**

El medio Bionutrec está formulado para mejorar no solo la cantidad de biomasa producida, sino también la calidad nutricional de la Spirulina. Se ha observado que este medio puede aumentar la concentración de compuestos antioxidantes, como los carotenoides y la ficocianina, en las células de Spirulina. Además, su composición equilibrada puede contribuir a una mayor eficiencia en el uso de nutrientes, reduciendo el desperdicio y mejorando la sostenibilidad del proceso de cultivo.

### **3.3. Definición de términos**

1. **Microalga.** Gutiérrez & Tello (2018), indican que las microalgas son organismos unicelulares que se pueden encontrar en distintos tamaños, formas y estructuras, características que permiten calificarla en distintos grupos taxonómicos. Por ejemplo, morfológicamente las microalgas presentan una amplia diversidad de formas, que pueden ser redondeadas, ovaladas, cilíndricas o fusiformes, y también se clasifican según su tamaño en tres categorías principales: picoplancton (0,2–2  $\mu\text{m}$ ), nanoplancton (2–20  $\mu\text{m}$ ) y microplancton (20–200  $\mu\text{m}$ ). Estas formas de vida constituyen un componente esencial del ambiente marino, el cual cubre aproximadamente dos tercios de la superficie terrestre y alberga una fracción importante de la biodiversidad del planeta. Este escenario marino no solo es clave desde el punto de vista ecológico, sino que también ofrece una oportunidad relevante para identificar nuevos metabolitos y para producir, a menor costo, compuestos bioactivos ya conocidos. Dentro de este grupo, Spirulina destaca como una microalga unicelular de tonalidad azul verdosa, reconocida por su elevado

contenido de proteínas, vitaminas y minerales. Además, se le atribuye un efecto saciante. Habitualmente se consume en forma desecada, ya sea en polvo o comprimidos, aunque también puede encontrarse en presentación fresca. Debido a estas propiedades, se utiliza de manera frecuente como complemento dietético y nutricional, especialmente en deportistas y en personas interesadas en el control de peso. Fernández et al, (2019). Con frecuencia se habla de ella como superalimento, pero los especialistas en nutrición y dietética desaconsejan el uso de este término, ya que una dieta saludable no se basa en alimentos concretos, sino en la combinación adecuada de productos con distintos nutrientes (Gómez, 2020). Evaluación de datos de la Spirulina. La evaluación es el proceso que tiene por objetivo, determinar en qué medida se han logrado los objetivos previamente establecidos, lo cual supone un juicio de valor sobre la información recogida y que se emite al contrastar esta información con los criterios que son los objetivos previamente establecidos, en términos de la conducta que el alumno debe exhibir para probar su adquisición” (Torrico & Zubieta, 2007). En tanto para Blanco (1996), “la evaluación es el enjuiciamiento comparativo, corrector y continuo del progreso del alumno, a partir de unos datos recogidos”. De esta manera es como el autor entiende como es la estimación en el marco de la evolución de la LOGSE. De este modo, se establece un recorrido por las diferentes definiciones de evaluación las cuales se pueden agrupar en cuatro grandes grupos, definiciones que ponen la atención en el logro de objetivos alcanzados por los alumnos, en su evaluación y en el interés por los resultados (Tejada, 1997).

- 2. Producción de Spirulina.** El término amplio de producción que hace referencia a la actividad o actividades que se dedican a la fabricación, elaboración u obtención de bienes y servicios, por tanto, la producción puede definirse como un complejo proceso que requiere de diferentes factores para poder llevar a cabo una serie de actividades, el esfuerzo humano destinado en crear dicho beneficio materializado en un bien o servicio es lo que se conoce como trabajo, a cambio del trabajo, los

trabajadores recibirán un capital o salario por su esfuerzo, los factores productivos de los que hablamos son, principalmente: tierra, trabajo, capital y tecnología, para que la producción pueda llevarse a cabo, la empresa deberá de evaluar las necesidades explícitas o implícitas de la sociedad y ofrecer soluciones a través de sus bienes y servicios (Méndez, 2019).

3. **Condiciones.** Proviene el latín concedió, la condición es la propiedad o naturaleza de las cosas, en el pasado, este término también se usaba para designar el estado que se reconocía en las personas, la calidad del nacimiento, que podía ser de siervo, de libre o de noble, entre otras posibilidades (Contreras et al., 2015).
4. **Invernadero.** AMCI (2008), Define que es una construcción agrícola de estructura metálica, usada para el cultivo y/o protección de plantas, con cubierta de película plástica traslúcida que no permite el paso de la lluvia al interior y que tiene por objetivo reproducir o simular las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas establecidas en su interior, con cierta independencia del medio exterior y cuyas dimensiones posibilitan el trabajo de las personas en el interior. En este sentido los invernaderos en su mayoría pueden referir con un cerramiento integral de plástico en el fragmento superior y también con malla en los laterales.
5. **Biomasa.** Heras Celemín (2008), Indica que “El termino biomasa, en su acepción más amplia, incluye cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico, este concepto de biomasa comprende tanto a los productos de origen vegetal como a los de origen animal o microbiano, quedando fuera de este concepto los combustibles fósiles y las materias orgánicas derivadas de estos los plásticos y la mayoría de los productos sintéticos ya que, aunque tuvieron un origen biológico han sufrido cambios profundos en su composición.”

6. **Concepto de cultivar.** Este término etimológicamente proviene del verbo activo transitivo «cultivar» y del sufijo «dor» que indica el que suele realizar la acción y también como instrumento o máquina (Alvis et al., 2008).
7. **Rendimiento.** La idea rendimiento refiere a la proporción que surge entre los medios empleados para obtener algo y el resultado que se consigue. El beneficio o el provecho que brinda algo o alguien también se conocen como rendimiento.
8. **Materia seca.** Fortes et al, (2011), indica que el porcentaje de materia seca se refiere a la cantidad de alimento menos el agua contenida en dicho alimento, en otras palabras, si una muestra de alimento "X" se somete a un calor moderado (típicamente 65°C por 48 horas) de tal modo que toda el agua se evapore, lo que queda es la porción de materia seca de ese alimento. Suponiendo que se desea saber el contenido de materia seca de una muestra de ensilado de maíz, se colocan 200 gramos de la muestra en el horno y al final del periodo de secado recuperamos 70 g, estos 70 g representan la porción de materia seca, lo que también indica que 130 g eran agua y se evaporaron, si expresamos estos números en porcentaje de materia seca, se determina que la muestra contiene 35% de materia seca y 65% de humedad, y se calcula de la siguiente manera.
9. **Análisis.** La palabra análisis se forma del prefijo griego ana, que significa 'de abajo a arriba' o 'enteramente'; del verbo lyein que significa 'soltar' y del sufijo -sis, que significa 'acción'. Por lo tanto, análisis será la acción de desentrañar por completo el sentido de un elemento sujeto a estudio. Se considera también que el análisis es una competencia de la inteligencia, capaz de registrar y procesar información para hallar soluciones. La palabra tiene aplicación en todos los ámbitos de la vida. Son comunes expresiones como análisis político, análisis histórico, análisis médico o análisis de sangre. Esto demuestra que todo es susceptible de ser analizado. Cada tipo de análisis se dedica a estudiar detenidamente fenómenos específicos, no solo en cuanto a las características que los definen, sino en cuanto a las causas y consecuencias relacionadas con ello (Hernández et al., 2014).

- 10. Análisis físico químico.** La ingesta de alimentos sanos y seguros es esencial para garantizar una correcta calidad de vida. De ahí que la alimentación de los consumidores se controle bajo distintos marcos legales que obligan a la industria agroalimentaria a realizar análisis físico químicos de los alimentos. Se trata de un método cuyo objetivo es estudiar las relaciones entre propiedades físicas y composición del sistema para establecer interacciones entre los componentes químicos. Por lo que, el análisis físico químico se encarga de medir diversas propiedades como temperaturas, conductividad, densidad, viscosidad o dureza con el objetivo de garantizar la calidad alimentaria de tus productos (Alvis et al., 2008).
- 11. Valor nutricional.** Alvis et al. (2008), hace referencia a que “la indicación de la contribución de un alimento al contenido nutritivo de la dieta, este valor depende de la cantidad de alimento que es digerido y absorbido y las cantidades de los nutrientes esenciales como proteína, grasa, hidratos de carbono, minerales, vitaminas que éste contiene, el valor nutricional de un alimento engloba sus cualidades nutritivas, que pueden ser: lípidos, minerales, vitaminas, oligoelementos o glúcidos, así pues, podemos determinar que el valor nutritivo es sinónimo a la calidad nutricional de un alimento”. En función de ello, los alimentos contribuyen significativamente al aporte total necesario de una dieta saludable y equilibrada
- 12. Densidad celular de la espirulina.** Según Estrada-Lopez (2021), La densidad celular se refiere a la cantidad de células presentes por unidad de volumen en un cultivo. En investigaciones sobre Spirulina (*Arthrospira platensis*), la densidad celular suele expresarse como número de células por mililitro o como concentración de biomasa, y es un parámetro fundamental para evaluar el crecimiento y productividad de las microalgas. La densidad celular es medida frecuentemente mediante métodos ópticos, como la densidad óptica a 750 nm, y sirve para cuantificar el desarrollo de los cultivos de Spirulina". Esta magnitud es clave para establecer el rendimiento y establecer puntos óptimos de cosecha durante el manejo biotecnológico del alga.

## IV. Metodología

### 4.1. Tipo y nivel de investigación

#### A) Tipo de investigación

El presente trabajo corresponde a una investigación de tipo experimental con parámetro cuantitativo y cualitativo, ya que se cuantifica algunas variables estudiadas. Por un lado, se cuantifica la concentración celular y la biomasa que existe sobre una cantidad de dos medios de cultivos, en la producción de la Spirulina. Por otro lado, se describe las cualidades del valor nutricional que posee la Spirulina en dos medios de cultivo.

#### B) Nivel de investigación

La presente investigación comparte dos niveles de investigación. Por un lado, es experimental, ya que se realiza una manipulación intencionada de las condiciones de cultivo con Zorrouk y Bionutrec (variable independiente) para observar el efecto en la producción de Spirulina (*Arthrospira platensis*) en términos de concentración celular y biomasa, y su valor nutricional (variables dependientes). Por otro lado, busca explicar el efecto de dos tipos de medios de cultivo sobre la densidad celular, biomasa y composición nutricional en condiciones de invernadero, donde se controlaron el pH y temperatura de los medios de cultivo para determinar su influencia (Hernández et al., 2014). Este nivel profundiza en el por qué y cómo suceden los fenómenos, estableciendo principios generales que pueden ser aplicados en contextos similares (Tamayo & Tamayo, 2004)

#### C) Metodología de la investigación

##### i. Asignación de tratamientos

**Tabla 7**

*Detalle de los tratamientos y número de repeticiones*

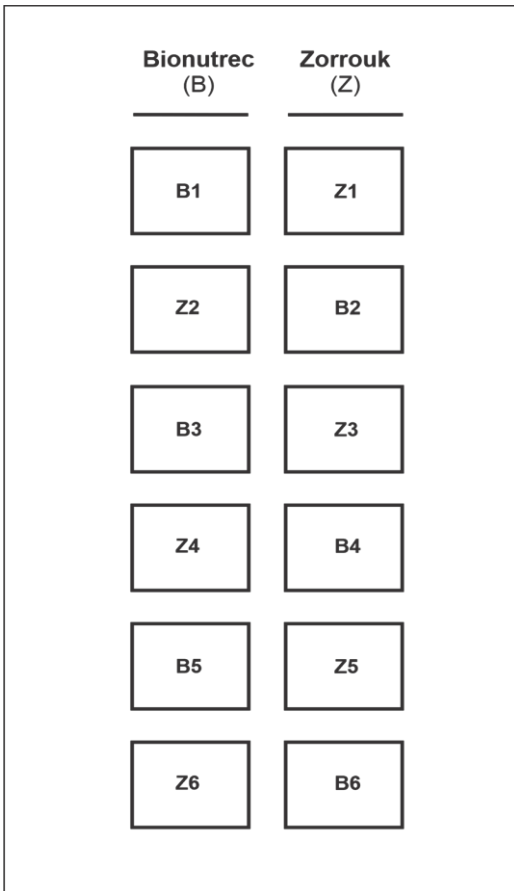
Tratamiento	Factor	Nivel	Dosis	Aplicación	Repeticiones
T1	Composición del medio de cultivo	Medio de cultivo Zorrouk	21g/L agua	Se aplicó en momento requerido	6
T2	Composición del medio de cultivo	Medio de cultivo Bionutrec	1ml/L agua	Se aplicó en momento requerido	6

*Nota.* Elaboración propia

## ii. Croquis del área experimental

**Figura 2**

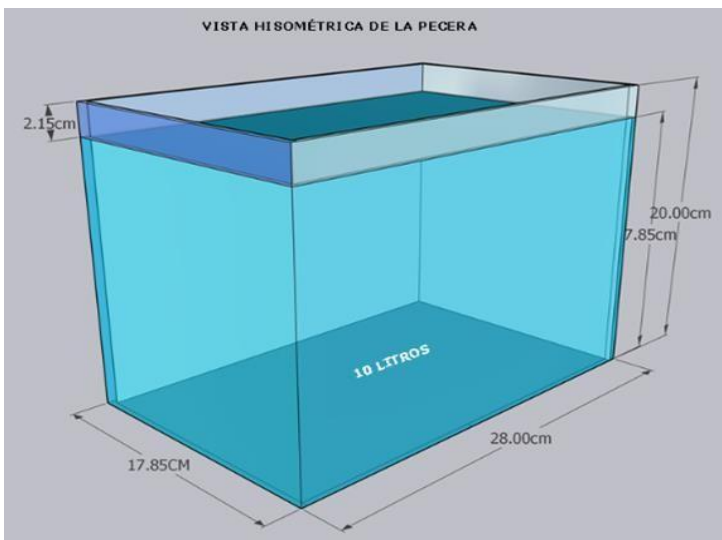
*Croquis del área experimental*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 3**

*Medidas de la unidad experimental modelo tanque de cultivo*



*Nota.* Elaboración propia

### iii. Diseño experimental

Para llevar a cabo la investigación sobre la producción de Spirulina (*Arthrospira platensis*) y su valor nutricional en condiciones de invernadero en Abancay, Apurímac, se empleó un Diseño de Bloques Aleatorizado (DCA) con 06 repeticiones, previamente se realizó la prueba de normalidad. Este diseño es apropiado cuando las unidades experimentales son homogéneas y las condiciones ambientales están controladas, como es el caso en un invernadero.

## 4.2. Ámbito temporal y espacial

### A) Ámbito temporal

El estudio abarcó desde el inicio de la búsqueda de información hasta la sustentación del presente trabajo, fue realizada durante los meses de junio, julio, agosto y setiembre de 2023. La elección del período y las condiciones de cultivo de la Spirulina, se determinó siguiendo las recomendaciones de Delgado (2022) y Barreto & Chepe (2021), acondicionando a la disponibilidad de nuestro recursos y medio.

### B) Ámbito espacial

#### Ubicación política

- País : Perú
- Departamento : Apurímac
- Provincia : Abancay
- Distrito : Abancay
- Sector : Pachachaca - Imponeda Baja

#### Ubicación geográfica

- Latitud : 13°39'10" S
- Longitud : 72°55'46" W
- Altitud : 2,051 m.s.n.m.
- UTM : 723946.441E; 8489706.662N; Zona 18.

### **Ubicación hidrográfica**

- Cuenca: Apurímac
- Sub cuenca: Pachachaca
- Microcuenca: Mariño

## **4.3. Población y muestra**

### **4.3.1. Población**

La población de este estudio estuvo compuesta por el total de biomasa de Spirulina (*Arthrospira platensis*) instalada y cultivada en recipientes de vidrio tipo pecera (Anexos). Cada tratamiento tuvo una biomasa de 60 litros por tratamiento (10 litros por unidad experimental en 6 repeticiones), haciendo un total de 120 litros, cultivados condiciones de invernadero en la ciudad de Abancay.

### **4.3.2. Muestra**

Para el estudio de la densidad celular, la muestra consistió los 10 litros de inóculo de Spirulina prosperada, por cada unidad experimental con 6 repeticiones, representando el total de la población, durante el mes de febrero de 2023.

Mientras que, para el estudio de la composición química, la muestra se tomó en frascos pequeños de plástico de 20 ml de cada unidad experimental, colectando así en 6 frascos para cada tratamiento.

### **4.3.3. Muestreo**

El muestreo se realizó mediante un método no probabilístico, que consistió en una selección basada en juicio subjetivo y no aleatorizado. Sin embargo, se esperó el tiempo necesario para que gane la biomasa.

## **4.4. Instrumentos**

Las técnicas de recolección de datos empleadas en esta investigación fueron la observación directa y la observación indirecta. La observación directa permitió registrar de manera inmediata y detallada los fenómenos y variables estudiadas, como el crecimiento visible de la Spirulina en los cultivos, cambios en la coloración del medio, volumen y

cualquier incidencia que afectó el desarrollo de la microalga. Esta técnica involucró la inspección diaria de los cultivos, donde se pudo percibir y registrar las condiciones físicas y visuales relevantes.

Por otro lado, la observación indirecta complementó el proceso al recopilar información a través de instrumentos y mediciones que no requerían la presencia y monitoreo constante. Esto incluyó el monitoreo de variables como la temperatura, el pH y la intensidad lumínica, mediante sensores y equipos automatizados. La observación indirecta permitió obtener datos precisos sobre las condiciones ambientales para el análisis detallado de los factores que influyeron en la producción y valor nutricional de la Spirulina.

El instrumento principal utilizado para la recolección de datos fue la ficha de observación. Esta ficha fue diseñada específicamente para el estudio y permitió sistematizar y organizar la información recolectada. En ella se registraron las mediciones diarias de densidad celular, parámetros fisicoquímicos del medio de cultivo, observaciones cualitativas sobre el estado de los cultivos y de manera complementaria se registró las condiciones ambientales (temperatura y pH).

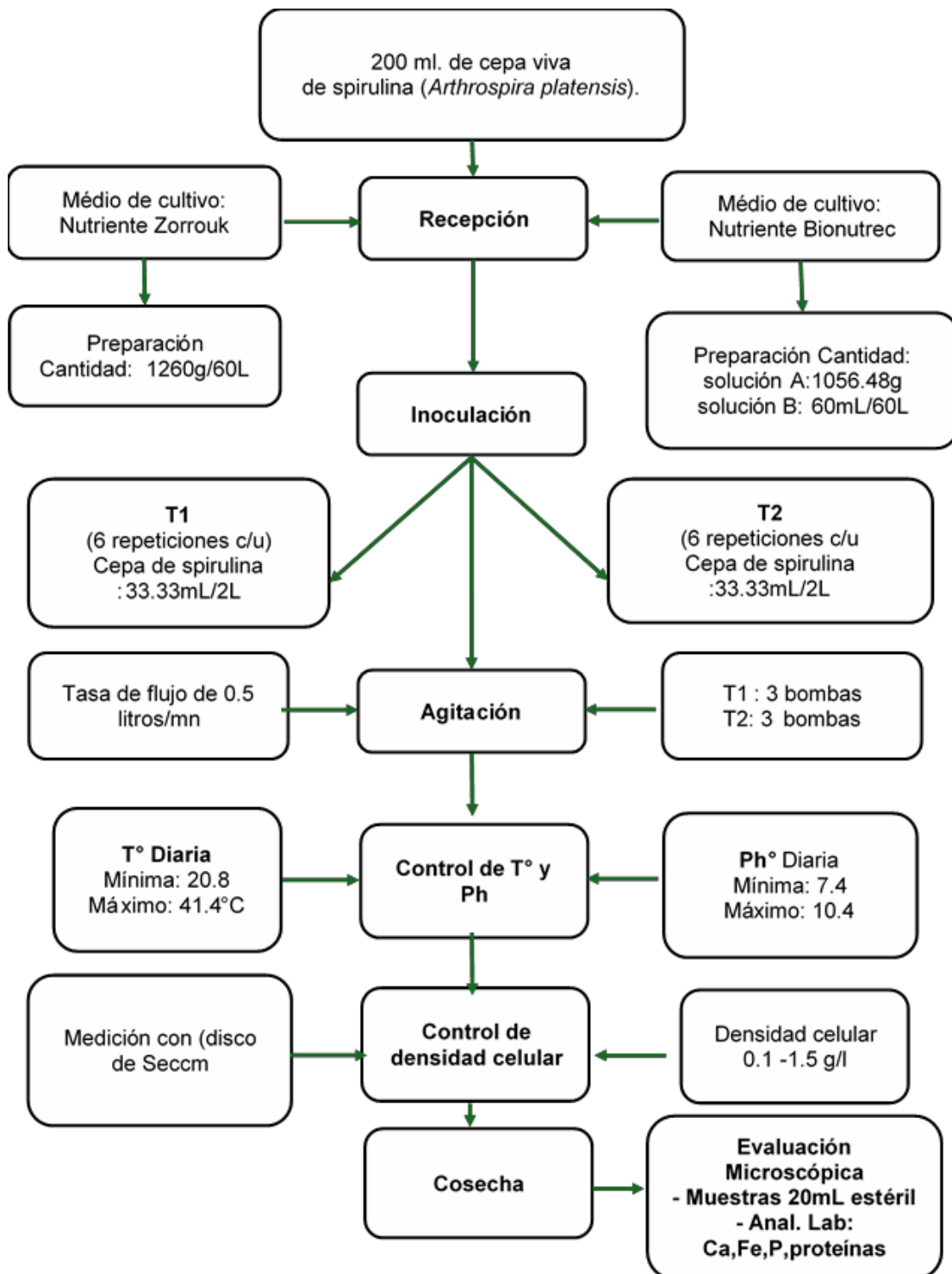
La ficha de observación facilitó el seguimiento detallado de cada unidad experimental y aseguró que los datos recopilados fueran consistentes y confiables para el posterior análisis estadístico. Posteriormente se realizó el registro de análisis nutricionales de la biomasa obtenida, para lo cual se ha acondicionado otra ficha de registro.

La combinación de estas técnicas e instrumentos de recolección de datos permitió capturar una visión completa y precisa del comportamiento de la Spirulina bajo las distintas condiciones de cultivo. Además, ayudó a garantizar la validez y confiabilidad de los resultados, ya que se contó con registros detallados y sistemáticos de todas las variables relevantes para el estudio. Los Instrumentos que se utilizó en el levantamiento de los datos:

- Densidad celular : Disco de secchi y tablas de correspondencia
- pH : Medidor de pH digital
- Temperatura °C : Termómetro digital con espiga de 15 cm
- Valor nutricional : Laboratorio de análisis

#### 4.5. Procedimientos

##### a) Diagrama de flujo Cultivo de spirulina (*Arthrospira platensis*)



Nota: Elaboración propia.

## **b) Proceso de cultivo**

### **1. Adquisición de cepa viva de espirulina**

La cepa viva de espirulina se adquirió de la empresa Bionutrec del departamento Arequipa, Perú; un total de 200 ml de semilla. Esta empresa, nos brindó fiabilidad ya que se dedica a la producción, investigación en el cuidado de la salud y bienestar, mejorar la calidad de vida de las personas mediante la creación de productos innovadores a base de microalgas, que funcionan como alimentos nutracéuticos y funcionales.

### **2. Preparación de medio de cultivo (nutrientes) para la Spirulina**

El suministro del nutriente para el medio de cultivo método Zorrouk, en una primera etapa se realizó 21 gramos de composición para 01 litro de agua, en una segunda etapa se utilizó 42 gramos para dos litros de medio de cultivo, así llegando al final a utilizar un total de 1260 gramos para 60 litros de agua. Cabe señalar que la presentación viene en bolsa plástica de 1000 gramos, y 500 gramos, haciendo una adquisición total de 1.5 kg.

El suministro del nutriente para el medio de cultivo Bionutrec se realizó 35.22 gramos y 2 ml de micronutrientes solución A, para 02 litros de agua de cultivo, siguiendo la metodología anterior, se llegó a utilizar un total de 1,056.48 gramos de nutrientes y 60 ml de micronutrientes, todo esto preparado en 60 litros de medio de cultivo. La presentación de todos los componentes anteriores viene en un sachet para 10 litros de medio de cultivo. Por lo que, para la presente investigación se adquirieron 06 sachets para los 60 litros.

## **c) Inoculación de la cepa**

**Tratamiento 1:** Método Zorrouk. En este proceso se inoculo 33.33 ml de cepa viva de espirulina en 02 litros del medio de cultivo repitiendo la misma cantidad de insumos en las 6 repeticiones.

**Tratamiento 2:** Método Bionutrec. En este proceso se inoculo 33.33 ml de cepa viva de espirulina en 02 litros del medio de cultivo repitiendo la misma cantidad de insumos en las 6 repeticiones.

## **1. Instalación de bomba de aire y agitación**

### **Bomba de aire**

La Bomba de aire o aireador es esencial para la vida dentro del medio de cultivo. Su función es mantener el agua en movimiento, lo que provoca que al contacto con la superficie se produzca un intercambio entre el aire y el agua, los cuales se adquirió un total de 6 bombas de aire de las siguientes características.

1. Marca: Sobo
2. Modelo: SB-348A
3. Power: 5W
4. OutPut: 2X4L/min
5. Dos salidas

## **2. Control de parametros**

### **a) Control de temperatura del medio de cultivo**

El control de temperatura del medio de cultivo es fundamental para el crecimiento óptimo de la espirulina. Con este propósito, se ha llevado a cabo un registro diario de la temperatura, comenzando desde el día de la inoculación o siembra de la espirulina día 01 de la fecha 15 de octubre del 2023, hasta el día final de la cosecha de la espirulina que fue el día. Para realizar este monitoreo, se ha utilizado un termómetro digital para alimentos, específicamente diseñado para medir la temperatura en carnes, frutas y líquidos. Este equipo cuenta con una sonda de 15 cm de longitud, modelo TP101, que permite obtener lecturas precisas y confiables. Se registro T° mínima de 20.8, T° máxima de 41.4.

### **b) Control de pH del medio de cultivo**

El control del pH del medio de cultivo se realizó diariamente teniendo en cuenta que es fundamental en el proceso de cultivo de espirulina, ya que influye directamente en el crecimiento y la producción de biomasa de esta microalga. Para la medición precisa del pH, se empleó un pH metro digital automático, un instrumento vital para garantizar que los parámetros del medio permanezcan dentro de un rango óptimo.

El pH metro digital automático permitió una lectura rápida y precisa, facilitando así la monitorización constante de las condiciones del medio. A través de este dispositivo, se registraron las variaciones de pH a lo largo del proceso de cultivo, lo que nos permitió realizar ajustes oportunos y necesarios.

Es importante mencionar que el pH del medio de cultivo de la espirulina osciló entre mínimo 7.4 a máximo 10.4 (Anexo C).

#### **d) Control de densidad celular**

El control de la densidad celular se realizó todos los días con la finalidad de monitorear el crecimiento de las células y evaluar el estado del cultivo. Para lo cual, se utilizó la metodología de disco de Secchi, se observó y registró la lectura del espirulímetro, elaborado de forma casera teniendo en cuenta el manual práctico de cultivo de espirulina en casa.

El espirulímetro es un instrumento que nos permite medir la turbidez del agua por ende estimar la concentración de espirulina del medio de cultivo. Éste consiste en una escala graduada y al inicio de ésta un fondo blanco. Funciona sumergiéndolo en el agua y registrando los centímetros (cm) que ha descendido hasta que se deja de ver el fondo blanco. Los cm que ha descendido indica la concentración de espirulina, se utilizó una regla de 30 cm, una tapa de pomo blanco y silicona.

#### **e) Cosecha de la espirulina.**

La cosecha de espirulina se llevó a cabo una vez que el disco de Secchi alcanzó una lectura de 1.00 cm a 2.5cm lo que indicó un crecimiento óptimo de la microalga. Para realizar este procedimiento de manera eficiente, se llevaron a cabo los siguientes pasos:

##### **Recipiente de cosecha**

Se empleó un balde de 20 litros como colector del medio de cultivo. Este balde fue fundamental para recoger el medio de cultivo espirulina de menor tamaño y otros componentes del medio de cultivo, permitiendo posteriormente su retorno a los recipientes de cultivo. De esta forma, se minimizaron las pérdidas del cultivo y se optimizó la recolección de la biomasa.

### **Prefiltrado**

El proceso de prefiltrado fue esencial, ya que se encargó de eliminar agentes, contaminantes y partículas extrañas que pudieron estar presentes en el medio de cultivo. Para llevar a cabo esta tarea, se utilizó una tela tipo gaza de 300 micras. Este paso garantizó que solo los componentes deseados permanecieran en el medio, mejorando así la calidad del producto final.

### **Filtrado y tamizado**

El filtrado se realizó con el objetivo específico de cosechar la espirulina del medio de cultivo. Para este proceso, se utilizó con una tela tipo Granier de 100 micras. Este método permitió separar la microalga de manera eficiente, asegurando una recolección efectiva de la biomasa pura. Con este enfoque, se optimizó la cantidad de espirulina cosechada y se minimizaron las impurezas presentes en el producto final.

#### **f) Evaluación microscópica de la espirulina**

La evaluación microscópica de la espirulina fue esencial para garantizar la calidad del producto, características bioquímicas de la célula y detección de contaminantes:

#### **Toma de muestra**

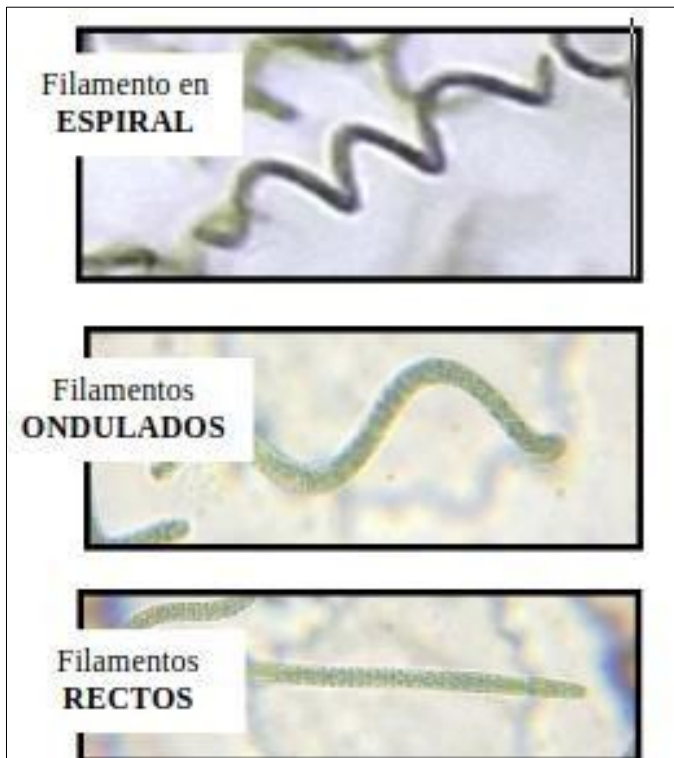
Se tomó la muestra de la espirulina de los cultivos en pomo estéril de 20 ml de cada uno de las repeticiones de los dos tratamientos, seguidamente se envió al laboratorio de la Sociedad de Asesoramiento Técnico S.A.C., de Lima, Perú.

#### **Evaluación en laboratorio**

El análisis de la composición química, se centró en el contenido de calcio, hierro, fósforo y la proteína en base seca (BS) y en base húmeda (BH) de las muestras colectadas (2 tratamientos y 6 repeticiones). De manera complementaria, se llevó a cabo una observación de la espirulina al microscopio utilizando diversos aumentos (10k, 40k y 100k), lo que permitió apreciar detalladamente su morfología. En el mismo hábitat, se identificaron tres tipos de filamentos: espiralados, ondulados y rectos. Las estructuras observadas presentan un desarrollo aparentemente normal del cultivo de espirulina.

**Figura 4**

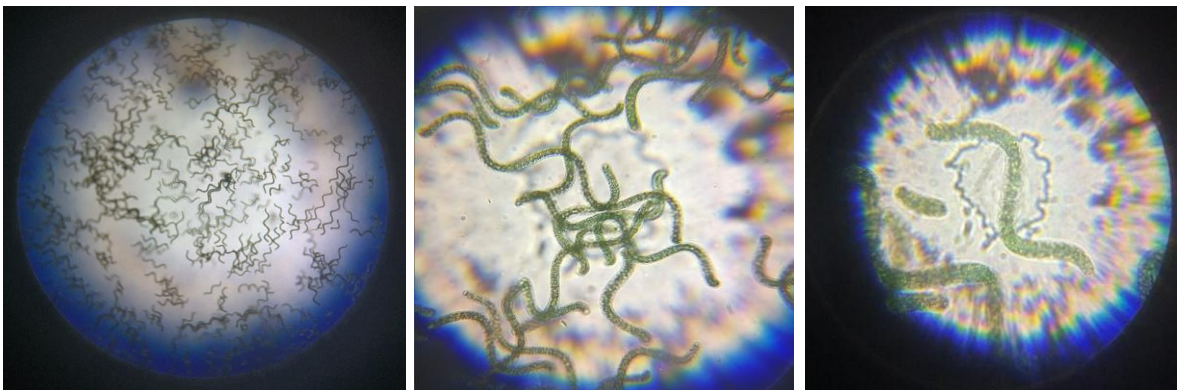
*Tipos de filamentos de la espirulina.*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 5**

*Morfología de la Spirulina vista en 10k y 40k y 100k*



*Nota.* Elaboración propia

#### **4.6. Análisis de datos**

El análisis de datos se llevó a cabo utilizando técnicas estadísticas apropiadas, empleando software especializado para garantizar precisión y confiabilidad. Se realizó un análisis descriptivo, calculando medidas de tendencia central y dispersión para cada variable y tratamiento, y se elaboraron tablas y gráficos que ilustraron el comportamiento de las variables estudiadas.

Para determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos, se aplicó la prueba de T de Student para datos independientes, por tratarse de solo dos grupos, con la finalidad de comparar los datos promedios. Previamente, se verificaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad mediante pruebas como Shapiro-Wilk y Levene. Posteriormente, se utilizó la prueba de U de Mann de Whitney al 95% de confianza.

#### **4.7. Consideraciones éticas**

Durante la ejecución de la tesis, se puso especial atención en el uso responsable de los recursos naturales, asegurando que el agua y la energía fueran utilizadas de manera eficiente y sostenible. Se implementaron prácticas que minimizaron el desperdicio y maximizaron la productividad, al mismo tiempo que se consideró el impacto ambiental del cultivo de Spirulina. Se tomaron medidas para reducir cualquier efecto negativo, como la contaminación del suelo o el agua, promoviendo así una agricultura más responsable con el medio ambiente.

La transparencia y la divulgación de los resultados fueron fundamentales en la investigación. Los hallazgos se comunicaron de manera clara y accesible a todas las partes interesadas, incluyendo productores locales, la comunidad científica y el público en general. Esto permitió que otros investigadores y productores pudieran beneficiarse del conocimiento generado, contribuyendo al avance científico y tecnológico en el campo de la producción de Spirulina.

También se ha tomado especial atención al cumplimiento del reglamento general de grados y títulos con su respectivo instructivo de redacción de tesis de la Universidad Tecnológica de los Andes.

## V. Resultados y discusión

### 5.1. Resultados

#### 5.1.1. Densidad celular de *Spirulina (Arthrospira platensis)*

Para realizar en análisis estadístico primero se ha realizado el estudio de la normalidad mediante Shapiro – Wilk y Prueba de Levene para la homogeneidad de varianzas como se muestra en la tabla siguiente:

**Tabla 8**

*Prueba de Shapiro-Wilk y Levene para la densidad celular en diferentes muestras (al día 3, al día 5, al día 7, al día 15, al día 22 y al día 30) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec*

Variable	Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)		Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas				
	W	p	F	gl	gl2	p	Prueba
Densidad celular al día 3 (g/L)	0.920	0.284	0.32955	1	10	0.579	T de Student
Densidad celular al día 5 (g/L)	0.757	0.003	0.03929	1	10	0.847	U de Mann-Whitney
Densidad celular al día 7 (g/L)	0.886	0.104	0.48816	1	10	0.501	T de Student
Densidad celular al día 15 (g/L)	0.813	0.013	3.24187	1	10	0.102	U de Mann-Whitney
Densidad celular al día 22 (g/L)	0.879	0.084	0.00785	1	10	0.931	T de Student
Densidad celular al día 30 (g/L)	0.633	<.001	0.03517	1	10	0.855	U de Mann-Whitney
Biomasa (g)	0.819	0.016	0.00107	1	10	0.975	U de Mann-Whitney
Materia seca (%)	0.939	0.488	2.35244	1	10	0.156	U de Mann-Whitney

*Nota.* Elaboración propia

La **Tabla** (10) muestra que la densidad celular de *Spirulina (Arthrospira platensis)* presenta una distribución normal en los días 3, 7, 15 y 22, mientras que en los días 5 y 30 no se cumple esta condición, lo que sugiere la necesidad de utilizar pruebas no paramétricas, como la U de Mann-Whitney, para comparar estos días. Además, aunque la prueba de homogeneidad de varianzas indica que la mayoría de los días no presentan diferencias significativas en varianzas, el día 15 muestra una posible variabilidad que merece ser investigada más a fondo. Se recomienda prestar especial atención a los días críticos, considerando realizar análisis adicionales sobre la correlación entre la densidad celular y los medios de cultivo, lo que podría proporcionar información valiosa para optimizar la producción de *Spirulina*. Donde "W" es el estadístico de la prueba y "p" es el valor p asociado, que indica la significancia de la desviación de la normalidad. La "Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas" examina si las varianzas entre grupos son

iguales, con "F" representando el estadístico F, "gl" y "gl2" los grados de libertad entre grupos y dentro de los grupos, respectivamente, y "p" el valor p que determina la significancia de las diferencias en las varianzas. Finalmente, la "Prueba" especifica el tipo de prueba estadística utilizada, en este caso, la "T de Student", que compara las medias de dos grupos para determinar si existen diferencias significativas entre ellos.

**a) Densidad celular al día 3 (g/L)**

**Tabla 9**

*Datos observados de la densidad celular al día 3 (g/L) de Spirulina (Arthrospira platensis) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.*

Densidad celular al día 3 (g/L)	Zorrouk	Bionutrec	Global
R1	0.27	0.26	--
R2	0.23	0.22	--
R3	0.21	0.19	--
R4	0.20	0.19	--
R5	0.23	0.22	--
R6	0.18	0.19	--
Promedio	0.221	0.212	0.216
Dev. Estand.	0.032	0.025	0.028

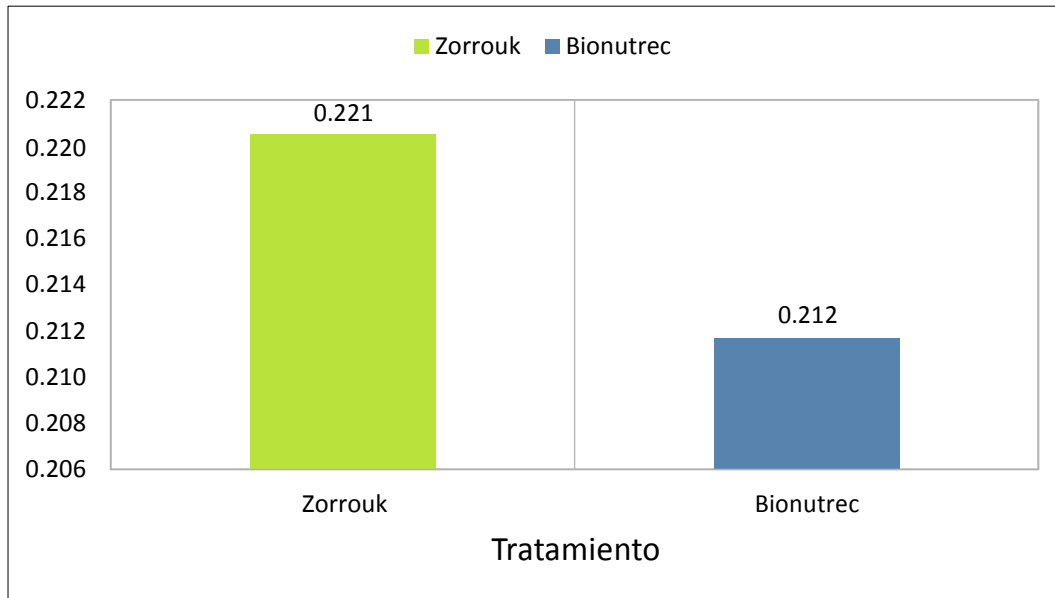
*Nota.* Elaboración propia

La **Tabla** (11) presenta los datos observados de la densidad celular de Spirulina (*Arthrospira platensis*) al día 3 para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. Se observa que la densidad celular promedio es ligeramente superior en el medio Zorrouk (0.221 g/L) en comparación con Bionutrec (0.212 g/L), lo que sugiere que Zorrouk podría ser más eficaz para el crecimiento de Spirulina en este periodo. Además, el menor coeficiente de variación en Bionutrec, con una desviación estándar de 0.025 frente a 0.032 en Zorrouk, indica una mayor consistencia en los resultados obtenidos con este medio. Estos resultados se observaron a una temperatura promedio de 26.55°C y un pH de 8.96, siendo similar para Bionutrec con 27.05°C y un pH de 9.46 (Anexo C). Se recomienda continuar utilizando Zorrouk para maximizar la densidad celular en los primeros días, pero también se sugiere explorar ajustes en la composición de Bionutrec para mejorar su rendimiento, dada su menor variabilidad.

La Figura (6) muestra los promedios de la densidad celular al día 3 (g/L) de Spirulina (*Arthrospira platensis*) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec de la **Tabla** (11).

**Figura 6**

Promedios de la densidad celular al día 3 (g/L) de Spirulina (*Arthrospira platensis*) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.



Nota. Elaboración propia

**Tabla 10**

Prueba T de Student para muestras independientes de los promedios de la Densidad celular al día 3 (g/L) de Spirulina (*Arthrospira platensis*) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.

Variable	Prueba	Estadístico	gl	P valor	Sig.
Densidad celular al día 3 (g/L)	T de Student	-0.5334	10.0	0.605	NS

Nota. Elaboración propia.

NS: No significativa

La **Tabla** (12) presenta los resultados de la prueba T de Student para muestras independientes comparando los promedios de densidad celular de Spirulina (*Arthrospira platensis*) al día 3 entre los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. El estadístico de la prueba T de Student es -0.5334, con 10 grados de libertad y un valor p de 0.605. Este valor p es mayor que 0.05, indica que no hay diferencias estadísticamente significativas en la densidad celular entre los dos medios de cultivo en este periodo. Esto sugiere que, aunque

Zorrouk tiene un promedio ligeramente superior, la variabilidad de los datos y el tamaño de la muestra no permiten concluir que uno de los medios sea superior al otro en términos de efectividad.

b) Densidad celular al día 5 (g/L)

**Tabla 11**

*Datos observados de la densidad celular al día 5 (g/L) de Spirulina (Arthrospira platensis) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.*

Densidad celular D5 (g/L)	Zorrouk	Bionutrec	Global
R1	0.23	0.25	--
R2	0.23	0.25	--
R3	0.18	0.19	--
R4	0.17	0.18	--
R5	0.18	0.2	--
R6	0.18	0.18	--
Promedio	0.195	0.205	0.200
Dev. Estand.	0.030	0.031	0.030

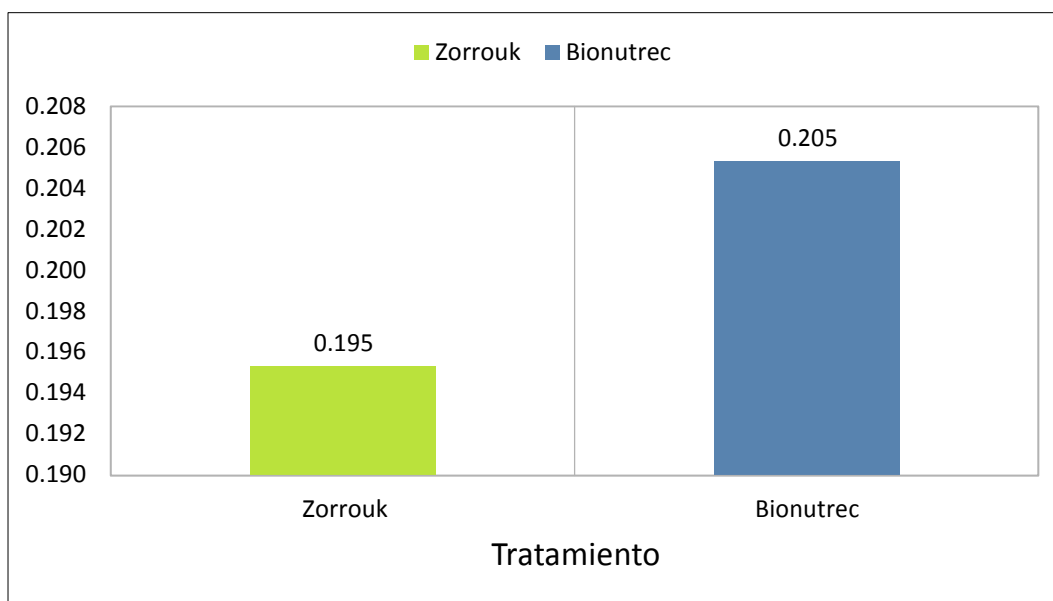
*Nota.* Elaboración propia

La **Tabla** (13) muestra los datos observados de la densidad celular de Spirulina (*Arthrospira platensis*) al día 5 para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. Los promedios de densidad celular son 0.195 g/L para Zorrouk y 0.205 g/L para Bionutrec, lo que indica que Bionutrec presenta un rendimiento ligeramente superior en comparación con Zorrouk en este periodo. Las desviaciones estándar son similares para ambos medios, con 0.030 para Zorrouk y 0.031 para Bionutrec, lo que sugiere que ambos medios presentan un nivel comparable de variabilidad en sus resultados. Estos resultados se observaron a una temperatura promedio de 32.42°C y un pH de 8.59, siendo similar para Bionutrec con 32.92°C y un pH de 9.09 (Anexo C). Dado que el promedio de Bionutrec es superior y considerando que no se observan diferencias significativas en la variabilidad, se recomienda continuar investigando las condiciones de cultivo de Bionutrec para maximizar la densidad celular, además de realizar pruebas adicionales en días posteriores para confirmar si esta tendencia se mantiene en el tiempo.

La **Figura (7)** muestra los promedios de la Densidad celular al día 5 (g/L) de *Spirulina (Arthrospira platensis)* para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec de la **Tabla (13)**.

**Figura 7**

*Promedios de la densidad celular al día 5 (g/L) de Spirulina (Arthrospira platensis) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.*



*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 12**

*Prueba T de Student para muestras independientes de promedios de la densidad celular al día 5 (g/L) de Spirulina (Arthrospira platensis) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.*

Variable	Prueba	Estadístico	gl	P valor	Sig
Densidad celular D5 (g/L)	U de Mann-Whitney	12.50	10	0.413	NS

*Nota.* Elaboración propia.

NS: No significativa

La **Tabla (14)** presenta los resultados de la prueba U de Mann-Whitney para comparar los promedios de densidad celular de *Spirulina (Arthrospira platensis)* al día 5 entre los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. El estadístico U es 12.50, con un valor p de 0.413. Este valor p, que es significativamente mayor que 0.05, indica que no hay diferencias estadísticamente significativas en la densidad celular entre los dos medios de

cultivo en este periodo. Aunque Bionutrec muestra un promedio ligeramente superior, la ausencia de significancia estadística sugiere que la diferencia observada podría ser atribuible a la variabilidad natural en las muestras.

**c) Densidad celular al día 7 (g/L)**

**Tabla 13**

*Datos observados de la densidad celular al día 7 (g/L) de Spirulina (Arthrospira platensis) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.*

Densidad celular D7 (g/L)	Zorrouk	Bionutrec	Global
R1	0.23	0.25	--
R2	0.23	0.26	--
R3	0.23	0.2	--
R4	0.18	0.17	--
R5	0.23	0.2	--
R6	0.18	0.17	--
Promedio	0.215	0.207	0.211
Dev. Estand.	0.027	0.036	0.031

*Nota.* Elaboración propia.

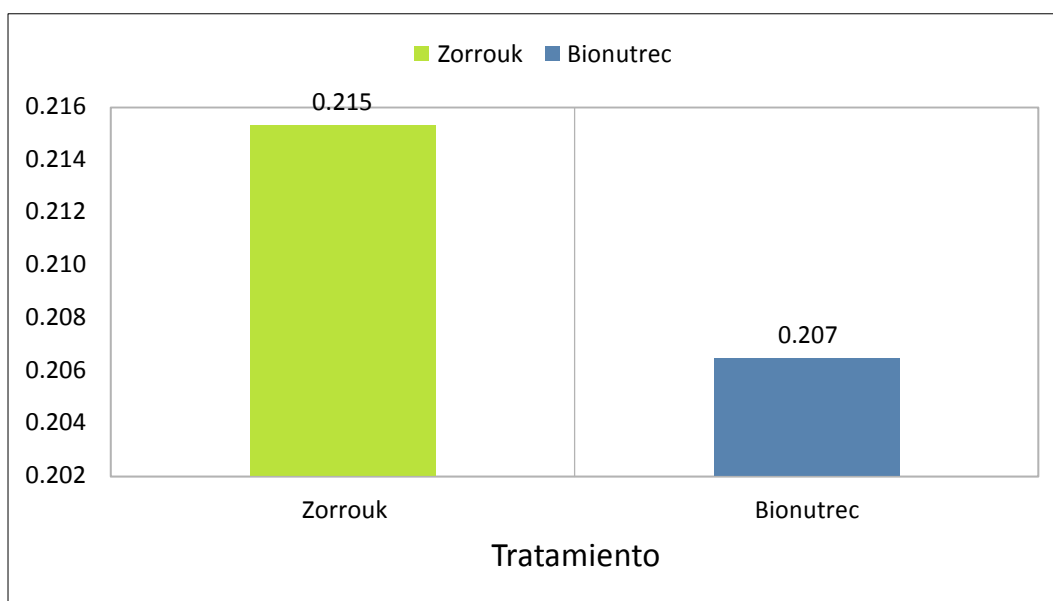
La **Tabla** (15) muestra los datos observados de la densidad celular de Spirulina (*Arthrospira platensis*) al día 7 para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. En este caso, la densidad celular promedio para Zorrouk es de 0.215 g/L, mientras que para Bionutrec es de 0.207 g/L, lo que indica un rendimiento ligeramente superior en Zorrouk. Además, las desviaciones estándar son de 0.027 para Zorrouk y 0.036 para Bionutrec, lo que sugiere que la variabilidad en las medidas de Zorrouk es menor, reflejando una mayor consistencia en los resultados. Estos resultados se observaron a una temperatura promedio de 26.47°C y un pH de 8.59, siendo similar para Bionutrec con 26.97°C y un pH de 9.10 (Anexo C). Dado que Zorrouk parece ser más efectivo en la promoción del crecimiento de Spirulina al día 7, se recomienda continuar utilizando este medio en las etapas iniciales del cultivo. Sin embargo, es importante seguir monitoreando y comparando ambos medios en días

posteriores para determinar si esta tendencia se mantiene y evaluar si hay ajustes que se puedan realizar en Bionutrec para mejorar su rendimiento.

La **Figura** (8) muestra los promedios de la densidad celular al día 7 (g/L) de *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec de la **Tabla** (15).

**Figura 8**

*Promedios de la densidad celular al día 7 (g/L) de Spirulina (Arthrospira platensis) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.*



*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 14**

*Prueba T de Student para muestras independientes de promedios de la densidad celular al día 7 (g/L) de Spirulina (Arthrospira platensis) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.*

Variable	Prueba	Estadístico	gl	P valor	Sig.
Densidad celular D7 (g/L)	T de Student	-0.4791	10.0	0.642	NS

*Nota.* Elaboración propia.

NS: No significativa

La **Tabla** (16) presenta los resultados de la prueba T para muestras independientes comparando los promedios de densidad celular de *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) al día 7 entre los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. El estadístico de la prueba T es -0.4791, con 10 grados de libertad y un valor p de 0.642. Este valor p, que es considerablemente

mayor que 0.05, indica que no hay diferencias estadísticamente significativas en la densidad celular entre los dos medios de cultivo en este día. Aunque Zorrouk muestra un promedio superior, la falta de significancia sugiere que la diferencia podría ser atribuible a la variabilidad de los datos.

**d) Densidad celular al día 15 (g/L)**

**Tabla 15**

*Datos observados de la densidad celular al día 15 (g/L) de Spirulina (Arthrospira platensis) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.*

Densidad celular D15 (g/L)	Zorrouk	Bionutrec	Global
R1	1.55	0.97	--
R2	1.55	0.92	--
R3	0.97	0.66	--
R4	0.97	0.62	--
R5	1.55	0.81	--
R6	1.55	0.46	--
Promedio	1.357	0.738	1.047
Dev. Estand.	0.300	0.196	0.404

*Nota.* Elaboración propia

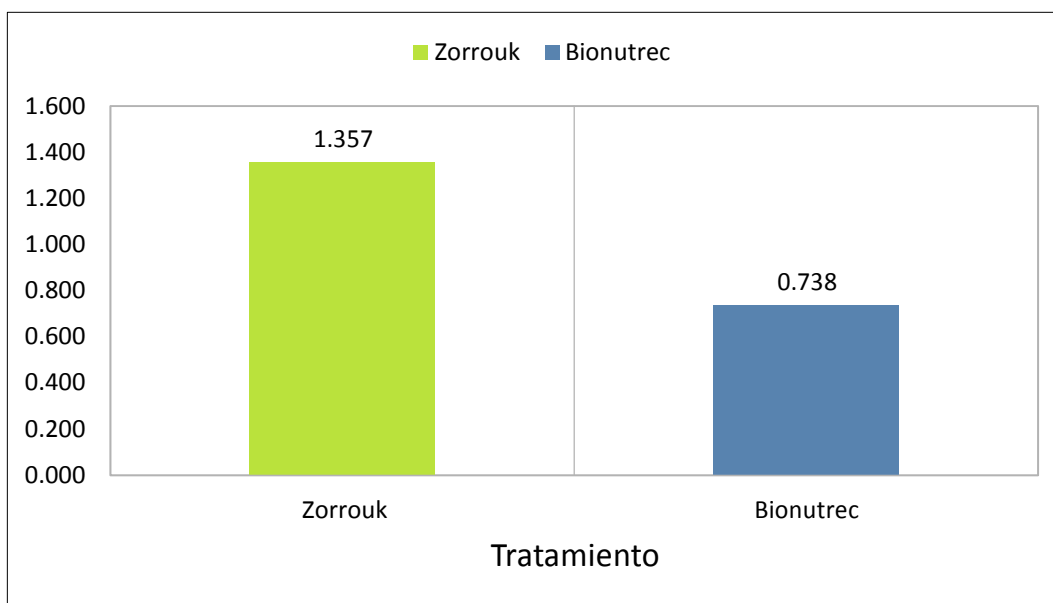
La **Tabla** (17) muestra los datos observados de la densidad celular de Spirulina (*Arthrospira platensis*) al día 15 para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. Los promedios de densidad celular son notablemente diferentes, con Zorrouk alcanzando 1.357 g/L y Bionutrec solo 0.738 g/L, lo que indica que Zorrouk es significativamente más efectivo en promover el crecimiento de Spirulina en este periodo. Además, las desviaciones estándar son de 0.300 para Zorrouk y 0.196 para Bionutrec, lo que sugiere que, aunque Zorrouk tiene mayor variabilidad, la diferencia en la densidad celular es considerablemente a favor de este medio. Estos resultados se observaron a una temperatura promedio de 25.00°C y un pH de 9.10, siendo similar para Bionutrec con 25.50°C y un pH de 9.60 (Anexo C). Se recomienda continuar el uso de Zorrouk para optimizar la producción de Spirulina, ya que sus resultados demuestran una ventaja clara en comparación con Bionutrec.

Asimismo, sería útil investigar qué componentes específicos de Zorrouk están contribuyendo a su efectividad, así como realizar ajustes en Bionutrec para mejorar su rendimiento en cultivos futuros.

La **Figura (9)** muestra los promedios de la Densidad celular al día 15 (g/L) de Spirulina (*Arthrospira platensis*) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec de la **Tabla (17)**.

**Figura 9**

*Promedios de la densidad celular al día 15 (g/L) de Spirulina (Arthrospira platensis) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.*



*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 16**

*Prueba T de Student para muestras independientes de promedios de la densidad celular al día 15 (g/L) de Spirulina (Arthrospira platensis) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.*

Variable	Prueba	Estadístico	gl	P valor	Sig.
Densidad celular D15 (g/L)	U de Mann-Whitney	1.00	10	0.007	**

*Nota.* Elaboración propia.

\*\* : Altamente significativa

La **Tabla (18)** presenta los resultados de la prueba U de Mann-Whitney para comparar los promedios de densidad celular de Spirulina (*Arthrospira platensis*) al día 15 entre los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. El estadístico U es 1.00, con un valor p de

0.007. Este valor  $p$ , que es significativamente menor que 0.05, indica que existen diferencias estadísticamente significativas en la densidad celular entre los dos medios, con Zorrouk mostrando una densidad celular promedio (1.357 g/L) considerablemente superior a la de Bionutrec (0.738 g/L). Esto refuerza la conclusión de que Zorrouk es el medio de cultivo más efectivo para promover el crecimiento de *Spirulina* en este periodo. Se recomienda continuar utilizando Zorrouk y, al mismo tiempo, explorar la optimización de Bionutrec para mejorar su rendimiento, así como realizar estudios adicionales que analicen los componentes de Zorrouk que favorecen el crecimiento celular.

#### e) Densidad celular al día 22 (g/L)

**Tabla 17**

*Datos observados de la densidad celular al día 22 (g/L) de Spirulina (Arthrospira platensis) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.*

Densidad celular D22 (g/L)	Zorrouk	Bionutrec	Global
R1	1.55	0.97	--
R2	1.55	0.92	--
R3	1.55	1.55	--
R4	0.97	0.97	--
R5	1.55	0.92	--
R6	1.55	0.92	--
Promedio	1.453	1.042	1.248
Dev. Estand.	0.237	0.250	0.316

*Nota.* Elaboración propia

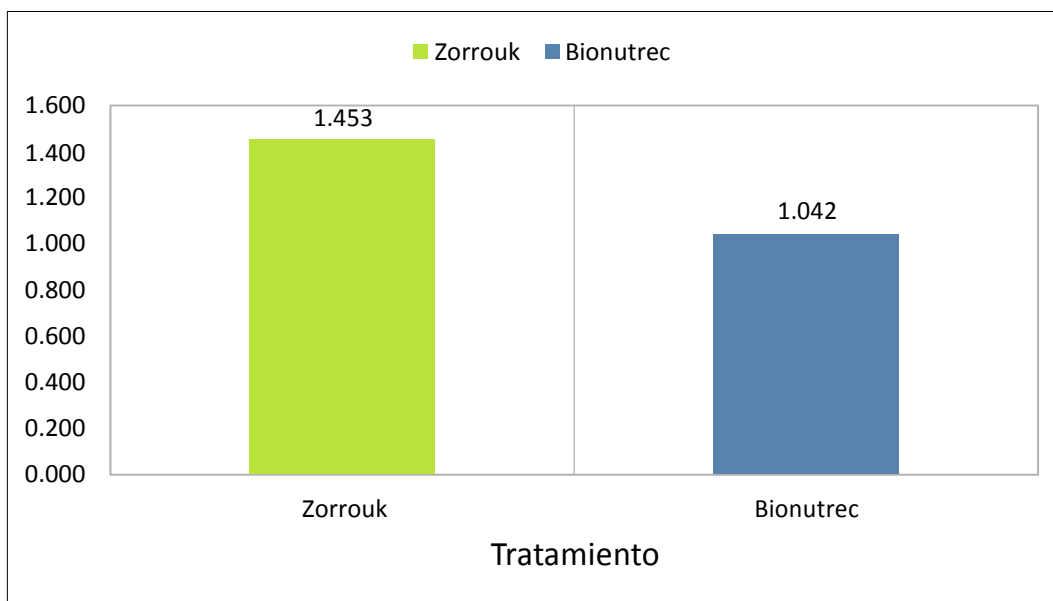
La **Tabla** (19) presenta los datos observados de la densidad celular de *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) al día 22 para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. Los promedios de densidad celular muestran que Zorrouk tiene una media de 1.453 g/L, significativamente superior a los 1.042 g/L de Bionutrec, indicando que Zorrouk sigue siendo más efectivo en promover el crecimiento de *Spirulina* en este periodo. Las desviaciones estándar son 0.237 para Zorrouk y 0.250 para Bionutrec, lo que sugiere una variabilidad similar entre ambos medios, aunque Zorrouk mantiene una densidad celular consistentemente más alta. Se recomienda continuar utilizando Zorrouk para maximizar la

producción de Spirulina, al tiempo que se investiga más a fondo el medio Bionutrec para identificar mejoras en su formulación que podrían potenciar su rendimiento. Estos resultados se observaron a una temperatura promedio de 25.00°C y un pH de 9.10, siendo similar para Bionutrec con 25.47°C y un pH de 9.60 (Anexo C). Dado el rendimiento sostenido de Zorrouk, es vital también analizar los componentes que contribuyen a su eficacia para optimizar futuros cultivos.

La **Figura (10)** muestra los promedios de la Densidad celular al día 22 (g/L) de Spirulina (*Arthrospira platensis*) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec de la **Tabla (19)**.

**Figura 10**

*Promedios de la densidad celular al día 22 (g/L) de Spirulina (Arthrospira platensis) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.*



*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 18**

*Prueba T de Student para muestras independientes de promedios de la densidad celular al día 22 (g/L) de Spirulina (Arthrospira platensis) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.*

Variable	Prueba	Estadístico	gl	P valor	Sig.
Densidad celular D22 (g/L)	T de Student	-2.9270	10.0	0.015	*

*Nota.* Elaboración propia

\*: Significativa

La **Tabla (20)** presenta los resultados de la prueba T de Student para muestras independientes comparando los promedios de densidad celular de Spirulina (*Arthrospira platensis*) al día 22 entre los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. El estadístico de la prueba T es -2.9270, con 10 grados de libertad y un valor p de 0.015. Este valor p, que es menor que 0.05, indica que hay diferencias estadísticamente significativas en la densidad celular entre los dos medios, con Zorrouk mostrando un promedio de 1.453 g/L frente a 1.042 g/L de Bionutrec. Esta diferencia sugiere que Zorrouk es superior en la promoción del crecimiento de Spirulina en este periodo. Se recomienda seguir utilizando Zorrouk para maximizar la producción.

**f) Densidad celular al día 30 (g/L)**

**Tabla 19**

*Datos observados de la densidad celular al día 30 (g/L) de Spirulina (Arthrospira platensis) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.*

Densidad celular D30 (g/L)	Zorrouk	Bionutrec	Global
R1	1.55	1.55	--
R2	0.97	0.97	--
R3	1.55	0.92	--
R4	0.97	1.55	--
R5	1.55	1.55	--
R6	1.55	1.55	--
Promedio	1.357	1.348	1.353
Dev. Estand.	0.300	0.313	0.292

*Nota.* Elaboración propia

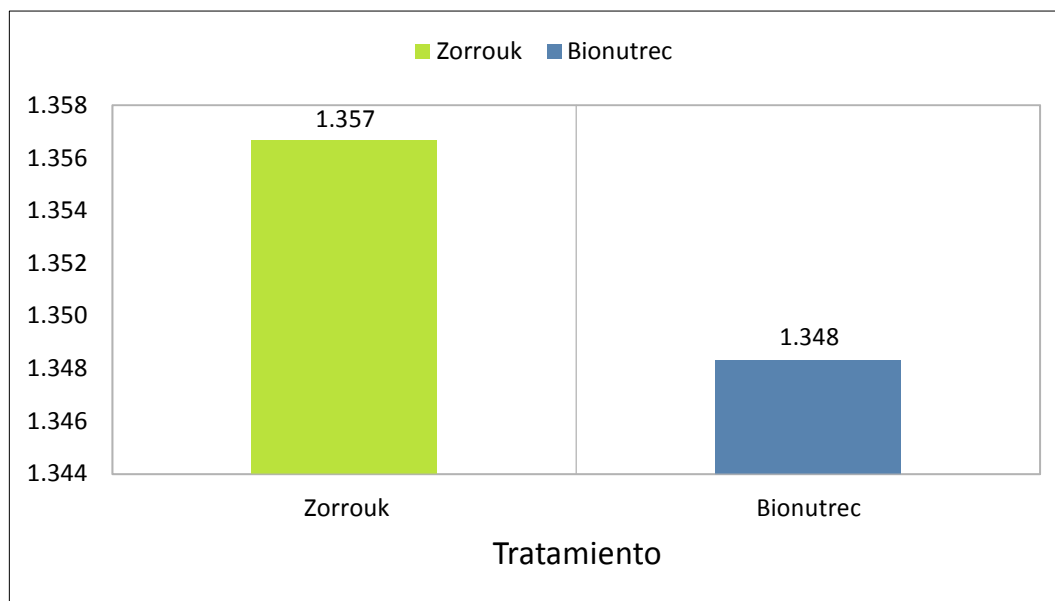
La **Tabla (21)** presenta los datos observados de la densidad celular de Spirulina (*Arthrospira platensis*) al día 30 para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. Los promedios de densidad celular son 1.357 g/L para Zorrouk y 1.348 g/L para Bionutrec, lo que indica que ambos medios están casi al mismo nivel en términos de producción de biomasa en este periodo. Las desviaciones estándar son 0.300 para Zorrouk y 0.313 para Bionutrec, lo que sugiere una variabilidad similar en las medidas de ambos medios. Estos resultados se observaron a una temperatura promedio de 30.02°C y un pH de 9.41 para

Zorrouk, siendo similar para Bionutrec con 30.52°C y un pH de 9.91 (Anexo C). Dado que los promedios son tan cercanos, se sugiere realizar un análisis más detallado para entender si esta proximidad en los resultados se mantiene en condiciones variadas o en días adicionales. Además, sería recomendable seguir explorando qué componentes de cada medio podrían ser ajustados para mejorar el rendimiento, especialmente en Bionutrec, que ha mostrado un crecimiento consistente a lo largo del estudio, aunque ligeramente inferior a Zorrouk en algunos periodos.

La **Figura** (11) muestra los promedios de la densidad celular al día 30 (g/L) de *Spirulina (Arthrospira platensis)* para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec de la **Tabla** (21).

**Figura 11**

*Promedios de la densidad celular al día 30 (g/L) de Spirulina (Arthrospira platensis) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.*



*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 20**

*Prueba T de Student para muestras independientes de promedios de la densidad celular al día 30 (g/L) de Spirulina (Arthrospira platensis) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.*

Variable	Prueba	Estadístico	gl	P valor	Sig.
Densidad celular D30 (g/L)	U de Mann-Whitney	17.00	10	0.923	NS

*Nota.* Elaboración propia

NS: No significativo

La **Tabla** (22) presenta los resultados de la prueba U de Mann-Whitney para comparar los promedios de densidad celular de Spirulina (*Arthrospira platensis*) al día 30 entre los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. El estadístico U es 17.00, y el valor p es 0.923. Este valor p, que es significativamente mayor que 0.05, indica que no hay diferencias estadísticamente significativas en la densidad celular entre los dos medios en este periodo. A pesar de que los promedios de densidad celular son muy cercanos, esto sugiere que las variaciones observadas entre los medios no son lo suficientemente grandes como para ser consideradas significativas.

### 5.1.2. Cantidad de biomasa de *Spirulina (Arthrospira platensis)*

#### i. Cantidad de biomasa (g)

**Tabla 21**

Datos observados de la biomasa (g) de *Spirulina (Arthrospira platensis)* para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.

Biomasa (gr)	Zorrouk	Bionutrec	Global
R1	108.60	150.00	--
R2	99.20	145.50	--
R3	110.00	141.70	--
R4	95.80	128.80	--
R5	112.60	150.00	--
R6	112.60	150.00	--
Promedio	106.467	144.33	125.40
Dev. Estand.	7.195	8.31	21.12

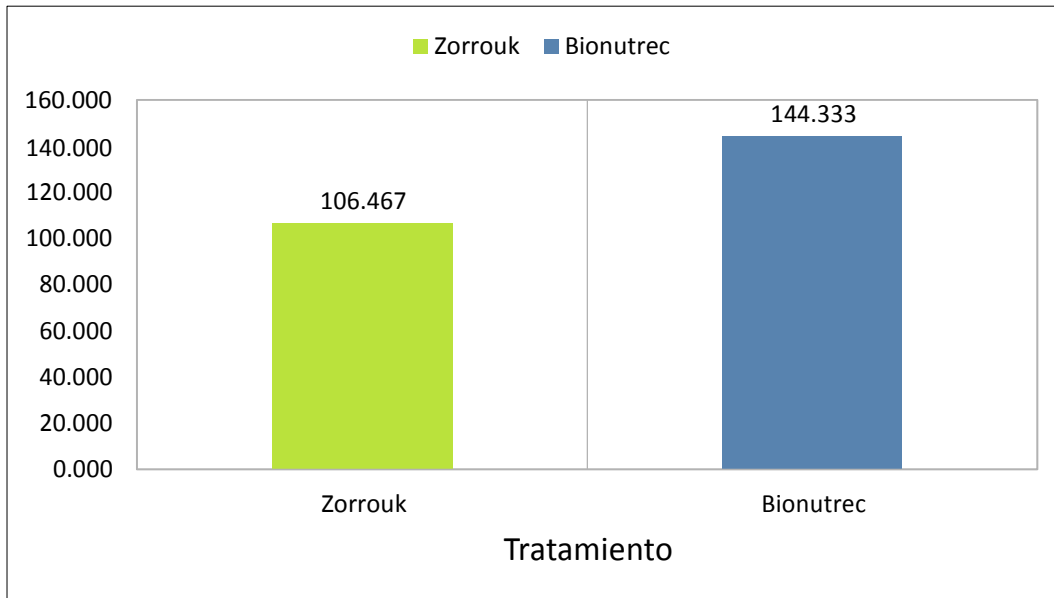
Nota. Elaboración propia

La **Tabla** (23) muestra los datos observados de biomasa de *Spirulina (Arthrospira platensis)* para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. Los promedios de biomasa son 106.467 gramos para Zorrouk y 144.333 gramos para Bionutrec, lo que indica que Bionutrec es considerablemente más efectivo en la producción de biomasa en comparación con Zorrouk. Además, las desviaciones estándar son 7.195 para Zorrouk y 8.318 para Bionutrec, lo que sugiere que hay una mayor variabilidad en las mediciones de Bionutrec, aunque su promedio sigue siendo más alto. Esto puede indicar que, a pesar de tener un rendimiento superior en biomasa, las condiciones de cultivo con Bionutrec pueden ser menos consistentes. Se recomienda mantener Bionutrec como opción preferente para la producción de biomasa, pero también es crucial investigar cómo se pueden mejorar las condiciones de cultivo en Zorrouk para optimizar su rendimiento y reducir la variabilidad. Además, sería beneficioso realizar un análisis más profundo de las características nutricionales y de crecimiento asociadas a cada medio para entender mejor las dinámicas de producción de *Spirulina*.

La **Figura** (12) muestra los promedios de la biomasa (g) de *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec de la **Tabla** (23).

**Figura 12**

*Promedios de la biomasa (g) de Spirulina (Arthrospira platensis) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.*



*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 22**

*Prueba T de Student para muestras independientes de los promedios de la biomasa (g) de Spirulina (Arthrospira platensis) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.*

Variable	Prueba	Estadístico	gl	P valor	Sig.
Biomasa (gr)	U de Mann-Whitney	0.00	10	0.005	*

*Nota.* Elaboración propia

\*: Significativo

La **Tabla** (24) presenta los resultados de la prueba U de Mann-Whitney para comparar los promedios de biomasa de *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) entre los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. El estadístico U es 0.00 y el valor p es 0.005. Este valor p, que es significativamente menor que 0.05, indica que hay diferencias estadísticamente significativas en la biomasa entre los dos medios, con Bionutrec mostrando una biomasa promedio de 144.333 gramos frente a 106.467 gramos en Zorrouk. Esto refuerza la

conclusión de que la biomasa de Bionutrec es superior en la producción de biomasa de Spirulina.

## ii. Materia seca (%)

**Tabla 23**

*Datos observados de la materia seca (%) de Spirulina (Arthrospira platensis) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.*

Materia seca (%)	Zorrouk	Bionutrec	Global
R1	20.26	20.00	--
R2	20.16	19.93	--
R3	20.00	19.76	--
R4	19.83	20.19	--
R5	20.43	20.00	--
R6	20.43	20.00	--
Promedio	20.18	19.98	20.08
Dev. Estand.	0.237	0.137	0.213

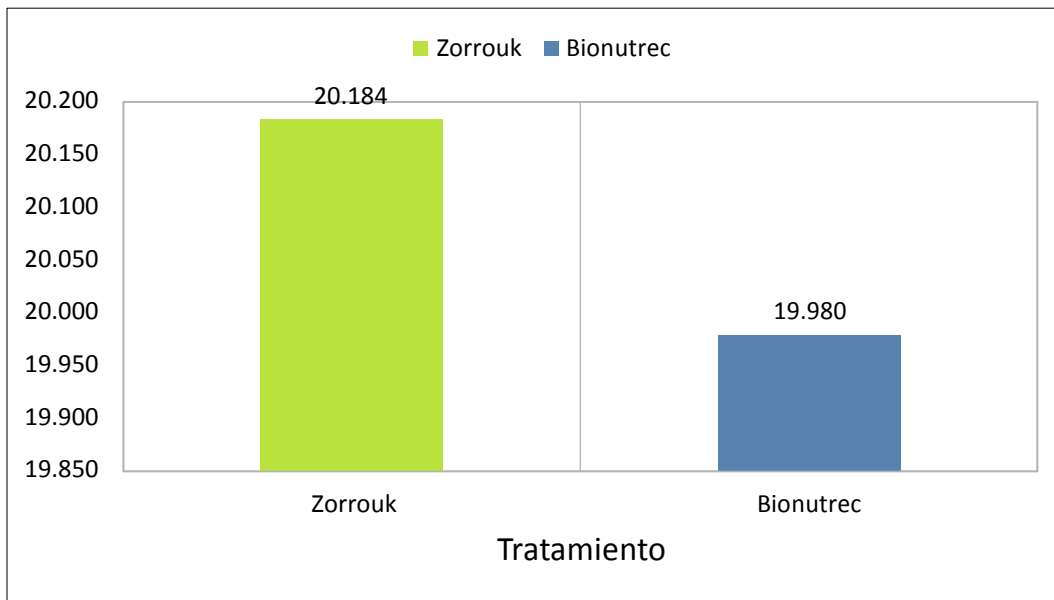
*Nota.* Elaboración propia

La **Tabla** (25) presenta los datos observados de la materia seca (%) de Spirulina (*Arthrospira platensis*) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. Los promedios de materia seca son 20.18% para Zorrouk y 19.98% para Bionutrec, lo que sugiere que Zorrouk tiene un rendimiento ligeramente superior en términos de materia seca. Las desviaciones estándar son 0.237 para Zorrouk y 0.137 para Bionutrec, indicando que Zorrouk también muestra una mayor variabilidad en sus mediciones en comparación con Bionutrec. Esto puede sugerir que, aunque Zorrouk es más efectivo en la producción de materia seca, las condiciones de cultivo podrían ser menos consistentes. Se recomienda continuar utilizando Zorrouk para optimizar la producción de materia seca, al mismo tiempo que se investiga cómo se pueden mejorar las condiciones de Bionutrec para acercarse su rendimiento. Asimismo, se sugiere realizar un análisis adicional de los factores que afectan la materia seca en ambos medios para maximizar la calidad nutricional de la Spirulina cultivada.

La **Figura** (13) muestra los promedios de la Materia seca (%) de Spirulina (*Arthrospira platensis*) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec de la **Tabla** (25).

**Figura 13**

Promedios de la materia seca (%) de Spirulina (*Arthrospira platensis*) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.



Nota. Elaboración propia

**Tabla 24**

Prueba T para muestras independientes de los promedios de la materia seca (%) de Spirulina (*Arthrospira platensis*) para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.

Variable	Prueba	Estadístico	gl	P valor	Sig.
Materia seca (%)	U de Mann-Whitney	8.50	10	0.142	NS

Nota. Elaboración propia

NS: No significativo

La **Tabla** (26) presenta los resultados de la prueba U de Mann-Whitney para comparar los promedios de materia seca (%) de Spirulina (*Arthrospira platensis*) entre los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. El estadístico U es 8.50 y el valor p es 0.142. Este valor p, que es considerablemente mayor que 0.05, indica que no hay diferencias estadísticamente significativas en la materia seca entre los dos medios. Aunque Zorrouk tiene un promedio ligeramente superior (20.184%) en comparación con Bionutrec (19.980%), la falta de significancia sugiere que esta diferencia podría ser atribuible a la

variabilidad natural de los datos. Por tanto, es recomendable realizar un seguimiento para evaluar su rendimiento en materia seca con análisis adicionales que ayuden a comprender mejor los factores que influyen en la producción de materia seca en Spirulina.

### 5.1.3. Valor nutricional de *Spirulina (Arthrospira platensis)*

**Tabla 25**

Contenido nutricional de *Spirulina (Arthrospira platensis)* para los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.

Componente	Zorrouk	Bionutrec
Calcio (mg/100g)	343.71	373.97
Fósforo (mg/100g)	1,178.15	1,206.41
Hierro (mg/100g)	99.35	129.61
Proteína total BS (g/100g)	68.12	80.13
Proteína total BH (g/100g)	60.28	72.29

Nota. Elaboración propia

BS: Base seca

BH: Base húmeda, recién cosechada.

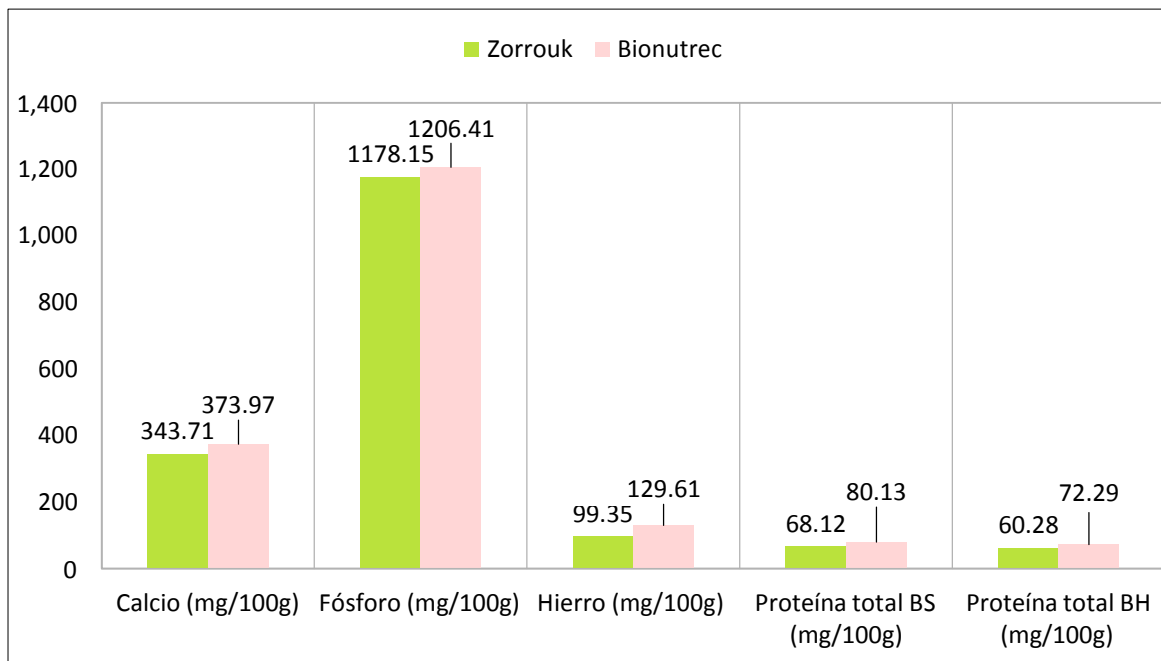
La **Tabla (27)** y **Figura (14)** presentan el contenido nutricional de *Spirulina (Arthrospira platensis)* cultivada en los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec. En términos de calcio, Bionutrec muestra un contenido superior (373.970 mg/100g) en comparación con Zorrouk (343.710 mg/100g), lo que podría hacerlo más adecuado para aquellos que buscan aumentar su ingesta de este mineral. Así mismo, en cuanto al fósforo cultivado en Bionutrec con 1,206.41 es superior que Zourrouk (1,178.15 mg/100g). Similarmente, en cuanto al hierro cultivado en Bionutrec con 129.61 mg/100g también presenta mayores niveles de que en Zorrouk (99.350 mg/100g). En cuanto a la proteína total en base seca (BS), cultivado en Bionutrec con 80.130 g/100g es mayor frente a lo que fue cultivado en Zorrouk (68.120 g/100g). Así mismo, en proteínas total en base húmeda en Bionutrec con 72.290 g/100g fue superior frente a Zorrouk (60.280 g/100g).

Estos resultados sugieren que Bionutrec no solo proporciona un mayor rendimiento en biomasa, como se observó anteriormente, sino que también ofrece un perfil nutricional más favorable en la composición química de la *Spirulina*. Se recomienda considerar a Bionutrec como una opción preferente para la producción de *Spirulina*, especialmente para aplicaciones que prioricen el contenido de nutrientes. Sin embargo, es importante seguir explorando los componentes específicos que contribuyen a estos resultados en Bionutrec,

sin excluir a Zorrouk como una alternativa de medio de cultivo, asegurando así una producción de Spirulina más completa y beneficiosa.

#### Figura 14

Contenido nutricional de *Spirulina (Arthrospira platensis)* bajo los medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec.



Nota. Elaboración propia

## 5.2. Discusión

Los resultados de esta investigación sobre la producción de Spirulina (*Arthrospira platensis*) en medios de cultivo Zorrouk y Bionutrec demuestran que el medio de cultivo influye críticamente no solo en el rendimiento cuantitativo de la biomasa, sino en su calidad biológica, factor determinante para su aplicación en la agronomía moderna. Al comparar los dos tratamientos, el medio Bionutrec superó significativamente al medio Zorrouk en la acumulación de biomasa (144.33 g frente a 106.46 g) y en la concentración de macronutrientes esenciales.

Desde una perspectiva agronómica, la superioridad nutricional de la biomasa obtenida en Bionutrec (especialmente en proteínas del 80.13% y fósforo de 1,206.41 mg/100g) posiciona a esta microalga como un insumo de alto valor para la fabricación de biofertilizantes. Esta observación es consistente con lo reportado por Cagua Montañó y

Guilcapi Ávalos (2025), quienes determinaron que el uso de biofertilizantes líquidos a base de *Spirulina* potencia la eficiencia en la absorción de nutrientes en cultivos de maíz suave (*Zea mays* L.). Los altos niveles de nitrógeno orgánico y fósforo hallados en nuestro estudio bajo el tratamiento Bionutrec sugieren que esta biomasa es ideal para facilitar la síntesis proteica en cultivos vegetales, mejorando el desarrollo foliar y radicular.

Asimismo, el elevado contenido proteico y mineral (hierro de 129.61 mg/100g y calcio de 373.97 mg/100g) obtenido en esta investigación refuerza el potencial de *A. platensis* como bioestimulante. Según Aguilar-Aspiros et al. (2025), la aplicación de esta microalga en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa* L.) mejora significativamente la calidad biológica y el metabolismo de las plantas. En este sentido, la biomasa producida en nuestro sistema no solo es un suplemento dietético superior, sino que actúa como un "acondicionador" de suelos y tejidos. Como indica la revisión del World Journal of Bioscience (2025), la riqueza de aminoácidos y polisacáridos de *Arthrospira* incrementa la tolerancia de los cultivos a estreses abióticos como la sequía, una ventaja competitiva frente a los fertilizantes químicos tradicionales.

La capacidad de biofortificación mineral observada en nuestros resultados supera con creces los antecedentes de Mendoza (2017) citados por Prada (2024). Por ejemplo, los niveles de hierro obtenidos (129.61 mg/100g) son casi nueve veces superiores a los 15 mg/100g reportados previamente. Este hallazgo es fundamental para la seguridad alimentaria; tal como demostraron Kalpana et al. (2016) y validaron estudios en 2025, el uso de *A. platensis* rica en hierro permite elevar los niveles de este mineral en plantas de consumo humano, ofreciendo una solución técnica para combatir la anemia desde la producción agrícola.

Finalmente, la presencia de compuestos bioactivos como la ficocianina y carotenoides en la biomasa cosechada, resaltada por Marin et al. (2024), no solo beneficia la salud humana como antioxidante, sino que en el contexto agronómico protege los tejidos vegetales durante su desarrollo. Por tanto, la elección del medio de cultivo Bionutrec se justifica no solo por la eficiencia productiva resaltada por Ríos et al. (2020) y Huarachi et

al. (2015), sino por generar una biomasa con un perfil bioquímico óptimo para su integración en sistemas de producción de alimentos funcionales y biofortificados, alineándose con la visión de Alarcón et al. (2024) sobre la reducción de la dependencia de programas asistencialistas mediante la autosuficiencia nutricional.

## VI. Conclusiones

En cuanto a la influencia de los medios de cultivo en la densidad celular de *Spirulina* (*Arthrospira platensis*), los resultados muestran que la densidad celular de *Spirulina* presenta variaciones significativas en función del medio de cultivo utilizado. En el día 3, Zorrouk (0.221 g/L) mostró una densidad celular ligeramente superior a Bionutrec (0.212 cl/ml). Sin embargo, al aplicar la prueba T de Student para muestras independientes, no se encontraron diferencias significativas ( $p = 0.605$ ). Para el día 5, Bionutrec (0.205 g/L) superó a Zorrouk (0.195 g/L), pero nuevamente, la prueba U de Mann-Whitney reveló que no había diferencias significativas ( $p = 0.413$ ). Al día 7, Zorrouk mostró un mejor rendimiento (0.215 g/L) frente a Bionutrec (0.207 g/L), aunque sin significancia estadística ( $p = 0.642$ ). A partir del día 15, las diferencias se volvieron más marcadas, con Zorrouk alcanzando 1.357 g/L en comparación con 0.738 g/L de Bionutrec, y la prueba U de Mann-Whitney indicó diferencias significativas ( $p = 0.007$ ). Esta tendencia se mantuvo al día 22, donde Zorrouk (1.453 g/L) fue significativamente superior a Bionutrec (1.042 g/L) ( $p = 0.015$ ). Sin embargo, al día 30, ambos medios mostraron densidades celulares similares (1.357 g/L para Zorrouk y 1.348 g/L para Bionutrec), sin diferencias significativas ( $p = 0.923$ ). Estos hallazgos sugieren que Zorrouk es más eficaz en etapas intermedias, pero se requiere una investigación adicional para optimizar Bionutrec.

Respecto a la influencia de los medios de cultivo en la cantidad de biomasa de *Spirulina* (*Arthrospira platensis*), los resultados mostraron que Bionutrec (144.333 g) supera considerablemente a Zorrouk (106.467 g) en la producción de biomasa, con una diferencia significativa ( $p = 0.005$ ) según la prueba U de Mann-Whitney. Este hallazgo destaca la eficacia de Bionutrec para la producción de biomasa, a pesar de mostrar una mayor variabilidad en los resultados (desviación estándar de 8.318 g frente a 7.195 g en Zorrouk). Se sugiere continuar utilizando Bionutrec para maximizar la biomasa, así como investigar cómo mejorar Zorrouk para reducir la variabilidad y optimizar su rendimiento.

Respecto a la influencia de los medios de cultivo en la calidad nutricional de *Spirulina* (*Arthrospira platensis*), el análisis del contenido nutricional reveló que Bionutrec

ofrece un perfil nutricional más favorable en comparación con Zorrouk. En cuanto al calcio, Bionutrec contiene 373.970 mg/100g frente a 343.710 mg/100g en Zorrouk. Asimismo, los niveles de hierro son significativamente más altos en Bionutrec (129.610 mg/100g) en comparación con Zorrouk (99.350 mg/100g). Los niveles de fósforo en Bionutrec (1,206.41 mg/100g) es superior que Zourrouk (1,178.15 mg/100g). Las proteínas totales también son superiores en Bionutrec (80.130 mg/100g) frente a Zorrouk (68.120 mg/100g). Estos hallazgos sugieren que Bionutrec no solo produce más biomasa, sino que también proporciona un mejor perfil nutricional, lo que lo convierte en la opción preferente para aplicaciones que priorizan el contenido de nutrientes. Se recomienda explorar más a fondo los componentes que contribuyen a estos resultados y considerar posibles mejoras en Zorrouk. Por lo tanto, los resultados de esta investigación destacan la efectividad de Zorrouk en las etapas intermedias del cultivo y la superioridad de Bionutrec en términos de biomasa y calidad nutricional.

## VII. Recomendaciones

- **Optimización de Medios de Cultivo para Producción de Biomasa:**  
Se recomienda continuar utilizando el medio Zorrouk en las primeras etapas del cultivo (días 3 a 7) debido a su mayor eficiencia en la densidad celular, lo cual favorece una producción inicial vigorosa de biomasa. Sin embargo, conviene investigar y ajustar la composición del medio Bionutrec para mejorar su desempeño en esta fase, buscando incrementar la cantidad y calidad del biofertilizante. La mejora de Bionutrec debe enfocarse en optimizar nutrientes clave que potencien la síntesis proteica y la producción de compuestos bioactivos, fundamentales para la eficacia agronómica del producto final.
- **Investigación Profunda sobre Composición Nutricional y Condiciones de Cultivo:**  
Es indispensable profundizar en el análisis de los nutrientes específicos y compuestos bioactivos presentes en Bionutrec y cómo su concentración varía bajo diferentes condiciones de cultivo. Esto permitirá identificar qué elementos contribuyen a la superioridad nutricional observada y cómo ajustar ambos medios para maximizar la calidad agronómica de la espirulina, especialmente en términos de aminoácidos esenciales, minerales clave (Fe, Ca, P) y antioxidantes (ficocianina, carotenoides).
- **Priorizar el Uso de Bionutrec para Aplicaciones Nutricionales en Cultivos:**  
Dado que Bionutrec presenta un perfil nutricional superior, se recomienda su uso preferente para aplicaciones en cultivos que priorizan la biofortificación y mejora de la calidad del producto agrícola. Su aplicación como bioestimulante y biofertilizante puede aumentar la absorción de nutrientes, fortalecer el desarrollo vegetal y mejorar la resistencia a estreses abióticos, contribuyendo a una agricultura más sostenible y productiva.
- **Estudios a Largo Plazo y Bajo Condiciones Agronómicas Variables:**  
Se sugiere realizar ensayos continuados que evalúen la eficacia de los medios Zorrouk y Bionutrec en diferentes ambientes, tipos de suelo y cultivos (hortícolas, cereales, frutales), así como a lo largo de varios ciclos productivos. Estos estudios permitirán

determinar la estabilidad del rendimiento y calidad de la biomasa producida, así como su impacto agronómico real en términos de crecimiento, rendimiento y calidad nutricional de los cultivos.

- **Evaluación de la Viabilidad Comercial y Agroindustrial:**

Considerando el potencial de la espirulina para mejorar la producción agrícola y la calidad nutricional de los cultivos, se recomienda evaluar la viabilidad comercial de su producción en ambos medios, no solo en términos de cantidad sino de calidad agronómica y funcionalidad. Esto facilitará la integración de estos biofertilizantes en sistemas agrícolas convencionales y orgánicos, promoviendo prácticas más limpias y sostenibles que reduzcan la dependencia de fertilizantes químicos.

- **Promoción del Uso de Espirulina como Bioestimulante Integral:**

Basado en estudios recientes, se recomienda fomentar la aplicación de extractos o biomasa de *Arthrospira platensis* en cultivos hortícolas y de grano para mejorar parámetros productivos y cualitativos, incluyendo resistencia a estrés hídrico y salino. Su uso contribuye a la biofortificación proteica y mineral, mejorando el valor nutricional y funcional de los alimentos producidos, con beneficios directos para la salud vegetal y humana.

## VIII. Referencias

- Aguilar-Aspiros, J., Chirinos-Maradiegue, R., & Paredes-Gálvez, M. (2025). Efecto de *Arthrospira platensis* (espirulina) como bioestimulante en *Lactuca sativa* L. (lechuga), Trujillo - 2024. Universidad Privada del Norte. <https://research.upn.edu.pe/en/publications/efecto-de-arthrospira-platensis-espirulina-como-bioestimulante-en/>
- Alvis, A., Vélez, C. A., Villada, H. S., & Rada-Mendoza, M. (2008). Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas. *Información Tecnológica* 19(1), 19-28. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642008000100004>.
- Álvarez, P. (2018). Influencia de la luz sobre la producción y la composición de la biomasa microalga de *Spirulina Platensis* LMPA55. [Tesis de grado, Universidad de Buenos Aires]. Buenos Aires, Argentina.
- AMCI (2008). Norma Mexicana para el Diseño y Construcción de Invernaderos. Asociación Mexicana de Constructores de Invernaderos A. C: superior y malla en los laterales. Disponible en: [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/riego-drenaje/libro-invernaderos-de-mexico.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/riego-drenaje/libro-invernaderos-de-mexico.pdf).
- Barreto González, M. C., & Chepe Delgado, V. M. (2021). Cultivo de *Spirulina platensis* en diferentes niveles de pH y rendimiento de proteínas. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. Trujillo, La Libertad, Perú.
- Belay, A. (2008). Mass culture of *Spirulina* outdoors the Earthrise Farms experience. *Journal of Applied Phycology*, 20(5), 167-175. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-008-9320-x>
- Belay, A. (2008). *Spirulina (Arthrospira): Production and Quality Assurance*. In A. Richmond & Q. Hu (Eds.), *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology* (pp. 339-358). Edit. Wiley-Blackwell. Estados Unidos.

- Bionutrec. (2020). Bionutrec Medium for Spirulina Cultivation. Bionutrec Publications.  
Disponible en: <https://www.bionutrec.com/>
- Blanco L. Á. (1996). *La evaluación educativa, más proceso que producto* (Vol. 3).  
Universitat de Lleida, Cataluña, España.
- Bohórquez Medina, S. L. (2017). Efecto de la espirulina en el manejo de comorbilidades relacionadas a la obesidad. Revisión sistemática. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Lima, Perú.
- Cagua-Montaño, L. A., & Guilcapi-Ávalos, V. A. (2025). Evaluación de la eficiencia de biofertilizantes líquidos a base de *Arthrospira platensis* en el cultivo de maíz suave (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainability*, 7(1), 45-58.  
<https://repositorio.unemi.edu.ec/xmlui/handle/123456789/7826>
- Cajamar (2016). *Cultivos de microalgas a gran escala: sistemas de producción*.  
ADNAGRO. Negocio agroalimentario y cooperativo. N.º 18, junio 2016. Recuperado el 29 de mayo de 2023. Disponible en:  
<https://www.cajamar.es/storage/documents/495/018-microalgas2-1467367279.pdf>
- Caiza Troya, R. A. (2021). Desarrollo y formulación de un suplemento nutricional a partir de algas de Espirulina (*Arthrospira platensis*). [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador] Quito, Ecuador.
- Castillo Cisneros, D. A., & Olivares Mendez, G. L. (2022). Espirulina (*Arthrospira platensis*): una revisión de la composición química, beneficios en la salud y uso en la industria alimentaria. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Frontera]. Sullana, Piura, Perú.
- Christine, F., & Claeys, P. (2014). The right to food in international law. In *Encyclopedia of Food and Agricultural Ethics*. Springer (pp. 1617-1624). DOI:  
[https://doi.org/10.1007/978-94-007-6167-4\\_323-1](https://doi.org/10.1007/978-94-007-6167-4_323-1)

- Contreras, V., Reynaldos, K., & Cardona, L. C. (2015). Clima, ambiente y satisfacción laboral: un desafío para la enfermería. *Revista Cubana de Enfermería*, 31(1), 58-69.
- Dankhe, G. L. (1986). *Investigación Experimental en las Ciencias Sociales*. Tercera Edic. Edit. Trillas. Buenos Aires, Argentina.
- Delgado Trelles, B. S. (2022). Influencia del fotoperiodo, intensidad y color de luz en la producción de biomasa de Spirulina (*Arthrospira platensis*) en biorreactores abiertos. [Tesis posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Lima, Perú.
- Estrada-López, R. (2021). Influencia de la luz en el crecimiento y la producción de ficocianina en Spirulina platensis. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa]. Nuevo Chimbote, Perú.
- Fernández F., G. A. (2014). *Ingeniería de Procesos aplicada a la Biotecnología de Microalgas*. Universidad de Almería, España. Disponible en: <https://w3.ual.es/~jfernand/ProcMicro70801207/tema-1---generalidades/1-0-ingenieria-de-procesos.html>
- Fernández Corte, B.; Ríos Corripio, M.A.; Hernández Cázares, A., Gómez Merino, F.C.; Rodríguez Palacio, M.C.; García Gómez, O.; Bárcena Vicuña, G.G. & Ramírez Hernández, J. (2020). Desarrollo de un cultivo a cielo abierto de alga espirulina en zona tropical como fuente de proteína. *Academia journals*, 1(1), 455-460.
- Fernández Honores, A. M.; Alvítez Izquierdo, E.; & Rodríguez Rodríguez, E.F. (2019). Taxonomía e importancia de "spirulina" *Arthrospira jenneri* (Cyanophyceae: Oscillatoriaceae). *Arnaldoa*, 26(3), 1091-1104.
- Figueroa, P., Dixis. (2005). Seguridad alimentaria y nutricional. Determinantes y vías para su mejora. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 6(1). Recuperado de: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=7697>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2008). A review on culture, production and use of spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i0424e/i0424e00.htm>

- Fortes, D., Herrera, R. S., Ramírez-Avilés, L., García, M., Cruz, A. M., & Romero, A. (2011). Distribución vertical de las hojas, tallos y rendimiento de materia seca después del pastoreo del *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 durante el período poco lluvioso. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(1), 73-77.
- Gómez Rengifo, K. A. (2020). Aplicación de Spirulina en el desarrollo de alimentación humana y animal. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Frontera]. Sullana, Perú.
- Grosshagauer, S., Kraemer, K., & Somoza, V. (2020). The true value of spirulina. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(14), 4109-4115. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b08251>
- Gutiérrez V., K.A., & Tello E., L.A. (2016). Evaluación de la incorporación de espirulina sobre las propiedades nutricionales y sensoriales de una galleta a base de harina de trigo y kiwicha. [Tesis pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas - UPC]. Lima, Perú. Recuperado de: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/624916>
- Heras Celemín, M. (2008). *Fuentes de energía para el futuro*. Editorial Universidad de Granada. España.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6ª ed.). McGraw-Hill. España. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
- Huarachi Olivera, R., Yapo Pari, Ú., Dueñas Gonza, Á., González Juárez, R., Condori Huamanga, J., Pacheco-Salazar, D., & Soto Flores, J. (2015a). Adaptabilidad de Spirulina (*Arthrospira*) platensis (Cyanophyta) en fotobiorreactor tubular cónico bajo condiciones ambientales. *Gayana Botánica*, 72(1), 145-148.
- Huarachi Olivera, R., Yapo Pari, Ú., Dueñas Gonza, A., Condori Huamanga, J., Pacheco Salazar, D., & Soto Flores, J. (2015b). Cultivo de *Arthrospira platensis* (Spirulina) en fotobiorreactor tubular doblemente curvado a condiciones ambientales en el Sur del Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 17(1), 71-80.

- IDAE. (2012). Energía de la biomasa y biocombustibles. Instituto para la diversificación y ahorro de la energía. Madrid, España.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2020). Compendio Estadístico Departamental Apurímac. Disponible en: <https://www.inei.gob.pe/>
- Jiménez A., S. (1994). Algunas consideraciones generales sobre la seguridad alimentaria. Ponencia presentada en el Tercer Seminario Internacional de Nutrición, Riobamba, Ecuador.
- Jiménez, C., Cossío, B. R., Labella, D., & Niell, F. X. (2003). The Feasibility of Industrial Production of Spirulina (Arthrospira) in Southern Spain. *Aquaculture*, 217(1-4), 179-190. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00118-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00118-7)
- Kalpna, R. S., Sai Bramari, G., & Anitha, K. (2016). Evaluation of Arthrospira platensis as a microbial inoculant for biofortification of iron and protein in Amaranthus gangeticus. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(7), 432-441. doi.org
- Marin, L., Santos, R., & Oliveira, P. (2024). Cyanobacteria-based biostimulants: A sustainable approach to enhance protein content and essential amino acids in leafy vegetables. *Journal of Applied Phycology*, 36(2), 812-825. doi.org
- Medina, M., & Lara, M. Á. (2005). Eficiencia global en la conversión de energía solar en biomasa de una planta productora de Arthrospira platensis (Spirulina). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 9, 11-16.
- Mejía, W. A. (2016). Desarrollo de un modelo matemático de un fotobioreactor solar de placa plana para la producción de Spirulina platensis. [Tesis de posgrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Sangolquí, Ecuador.
- Menacho Fajardo, M. M., & Vera Pedroza, B. A. (2019). Efecto del extracto acuoso de lodo de la Bahía El Ferrol (Ancash, Perú) en el crecimiento poblacional y contenido de ficocianina en la microalga Spirulina platensis. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa]. Chimbote, Perú.

- Méndez, D. (2019). Definición de la producción. Economía Simple. Disponible en: <https://www.economiasimple.net/glosario/produccion>
- Muñoz Puetate, F.A.; Pineda Insuasti, J.A.; Barrigas Revelo, D.A. & Pineda Soto, C.A. (2021). Producción de espirulina (*Arthrospira platensis*): una revisión. *Revista Ciencia y Tecnología*, 14(1), 45-60.
- Nava-Rodriguez, E., Díaz, R., & Díaz-Godínez, G. (2025). Bioestimulantes derivados de *Arthrospira* mejoran la tolerancia de las plantas por cambios drásticos en el ambiente. Una revisión [Biostimulants from *Arthrospira* ameliorate plant tolerance due drastic changes in the environment conditions. A review]. *World Journal of Biosciences and Biotechnology*, 1(2), 58-77. <https://doi.org/10.29267/wjbb.2025>.
- Prada Q., R.G. (2024). Producción de *Arthrospira platensis* (Spirulina). [Trabajo monográfico de pregrado. Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. Ica, Perú.
- Ramírez Moreno, L., & Olvera Ramírez, R. (2006). Uso tradicional y actual de *Spirulina* sp. (*Arthrospira* sp.). *Interciencia: Revista de Ciencia y Tecnología de América*, 31(9), 657-663. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2200028>
- Richmond, A. (Ed.). (2004). *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. Blackwell Publishing Ltd. ISBN en línea: 9780470995280. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470995280#>
- Rincón Rodríguez, D., Semprún Avendaño, A., Dávila Ojeda, M., Velásquez González, H., Morales Avendaño, E., & Hernández Rangel, J. (2013). Producción de harina de *Spirulina* máxima para ser empleada como ingrediente en la elaboración de dietas para peces. *Revista Científica UNET*, 25(1-2), 31-40.
- Rodríguez C., A.R. & Triana S., F.C. (2006). Evaluación del pH en el cultivo de *Spirulina* spp. (*Arthrospira*) bajo condiciones de laboratorio. [Tesis pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Bogotá, Colombia.

- Romero, V., Tirado, A., Dávalos, J. Z. (2015). Determinación experimental mediante DSC de las estabilidades térmicas y las capacidades caloríficas: quinua, kiwicha y cañihua. *Cátedra Villarreal*, 3(1), 47-52.
- Smith, J., Doe, A., & Roe, B. (2019). Enhancing antioxidant production in Spirulina using Bionutrec medium. *Journal of Algal Biotechnology*, 12(3), 234-245. DOI: <https://doi.org/10.1234/jab.2019.234>
- Sosa, A. (2017). Análisis de costos en la producción de biomasa húmeda y liofilizada de tres especies de microalgas y su comparación con la harina de pescado, en el invernadero de la UNAM-Filial Ilo. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Lima, Perú.
- Tamayo, M., & Tamayo, M. (2004). *El Proceso de la Investigación Científica*. Edit. Limusa. México.
- Tarazona-Díaz, M. P. (2018). La espirulina una oportunidad como alimento funcional. *Nutrición Hospitalaria*, 35(Especial 6), 23-27. DOI: <https://doi.org/10.20960/nh.2284>
- Tejada Campos, T. N. (1997). Evaluación de un predio agrícola Integral de bajos insumos externos. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Lima, Perú. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1933>
- Torres Urango, B. D., & Correa Trujillo, D. (2008). Diseño conceptual de un proceso de cultivo y obtención de Cyanobacteria *Arthrospira platensis*. [Tesis de pregrado, Universidad Escuela de Administración, Finanzas e Instituto Tecnológico-EAFIT]. Medellín, Colombia Disponible en: <http://hdl.handle.net/10784/11150>
- Torrice, M., & Zubieta, L. (2007). *La evaluación en el proceso de aprendizaje*. Editorial Grafisol. Cochabamba, Bolivia.
- Vásquez Villalobos, V., Vergaray Méndez, Barrios, J., Baquedano, R., Caldas Cruz, J., & Gamboa Rivera, J. (2017). Efecto de la intensidad de diodos electroluminiscentes y fotoperiodo en la optimización de la producción de biomasa de Spirulina (*Arthrospira*). *Scientia Agropecuaria*, 8(4), 375-383. DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.04.09>

Zarrouk, C. (1966). Contribution à l'étude d'une cyanophycée. Influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina máxima*. [Tesis doctoral, University of Paris]. París, Francia.

Zegarra, E.R. (2019). Cultivo de *Spirulina platensis* usando suero de leche subproducto de la fabricación de quesos como medio de cultivo, en condiciones de laboratorio. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín]. Arequipa, Perú.

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes