

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**Facultad de Ciencias Agropecuarias**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera**

**CONDICIONES ABIÓTICAS PARA EL CULTIVO DE  
MICROALGA ESPIRULINA (*Arthrospira platensis*),  
BAJO CONDICIONES DE LABORATORIO,  
EN LA REGIÓN TACNA**

**TESIS**

Presentada por:

**Bach. DIEGO SEBASTIAN SANCHEZ ESPINOZA**

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO PESQUERO**

**TACNA- PERÚ**

**2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera**

**“CONDICIONES ABIÓTICAS PARA EL CULTIVO DE MICROALGA  
ESPIRULINA (*Arthrospira platensis*), BAJO CONDICIONES DE  
LABORATORIO, EN LA REGIÓN TACNA”**

Tesis sustentada y aprobada el 30 de Diciembre del 2024; estando el jurado calificador y asesor integrado por:

PRESIDENTE

:

  
.....  
Dr. Luis Antonio Espinoza Ramos

SECRETARIO

:

  
.....  
Dr. Luis Alberto Bernardo Rivera Chipana

VOCAL

:

  
.....  
Bigo Pesq. Nélver Coronel Flores

ASESOR

:

  
.....  
Dr. Julio César Isique Calderón

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Julio César Isique Calderón, en mi condición de ASESOR(A) acredito con Resolución de Facultad y/o Posgrado N° 8468-2024-FCAG, del Trabajo de Tesis, titulado: "**CONDICIONES ABIÓTICAS PARA EL CULTIVO DE MICROALGA ESPIRULINA (*Arthrospira platensis*), BAJO CONDICIONES DE LABORATORIO, EN LA REGIÓN TACNA**". Presentado por el (la) bachiller Diego Sebastian Sanchez Espinoza. Para optar el grado académico y/o título profesional en Ingeniero Pesquero.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento original que, según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 17%. Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis y/o trabajo enunciado líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para optar el grado académico Ingeniero Pesquero, según corresponda para su publicación en el Repositorio Institucional.



ASESOR: Doc. Julio César Isique Calderón

DNI: 00491790



Tesista: Bach. Diego Sebastian Sanchez Espinoza

DNI: 70433400

## DEDICATORIA

*“Quiero dedicárselo a mi padre, que desde el cielo sigue guiándome y dándome la fuerza para no rendirme y siendo uno de mis principales motivos para luchar por mis metas, ya que con su partida fue un impulso muy grande para poder terminar esta meta que me propuse. A mi madre por ser mi bastón y no dejarme caer en todo este tiempo, seguir luchando a pesar de todas sus enfermedades y problemas, siempre cuidándome, seguir apostando en mí y no dejando que me rinda. A mi hermana menor que se convirtió en mi gran apoyo en estos tiempos, convirtiéndose en mi mejor amiga y compañera en este momento tan difícil. A mi familia que siempre me motiva a seguir creciendo y dando ánimos para no flaquear en especial a mi abuela Mamita Marina que desde el cielo me sigue motivando, todos mis tíos en especial a mi tía Angela, Guina, Nela, mi tío Jose Luis y Luis Enrique que me apoyaron de muchas formas emocional, económicamente y con sus consejos”.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, por permitirme llegar hasta este punto y por otorgarme la salud necesaria para alcanzar mis objetivos. Su infinita bondad y amor me han acompañado en cada paso, evitando que me desvíe de mi camino.*

*Un agradecimiento especial al Dr. Julio César Isique Calderón, asesor de esta investigación, por sus valiosas críticas, correcciones y reflexiones durante el proceso de desarrollo de este trabajo, así como por el apoyo emocional que me brindó para no rendirme y la paciencia que tuvo conmigo.*

*Asimismo, agradezco a los docentes de la Escuela de Ingeniería Pesquera por compartir sus enseñanzas y orientaciones, las cuales han sido fundamentales en mi formación profesional.*

*A mi tía Angela que me ayudo en todas mis dudas, siempre llamándome para que termine mi tesis y ser un gran profesional.*

*A la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna que me dio la oportunidad de formarme profesionalmente y a través del Vicerrectorado de Investigación me otorgó el financiamiento de fondos canon y regalías mineras, en fondos concursables; los mismos que me posibilitaron el término de este proyecto de investigación.*

*Agradecer al Vice Rectorado Académico y al Instituto de Investigación por el apoyo de financiamiento por Fondos de Canon, Sobrecañon y Regalías mineras, mediante la RR N° 8782-2021-UNJBG.*

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
1.1 PROBLEMA GENERAL .....	3
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1 Problema general .....	3
1.2.2 Problema específico .....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	4
1.4 FORMULACIÓN DE OBJETIVOS .....	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos .....	6
1.5 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS .....	7
1.5.1 Hipótesis general .....	7
1.5.2 Hipótesis específicas .....	7
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>MARCO TEÓRICO. ....</b>	<b>9</b>
2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	9
2.1.1 Antecedentes internacionales. ....	9
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	11
2.2 BASES TEÓRICAS .....	13
2.2.1 Microalgas .....	13
2.2.2 Espirulina.....	14
2.3 TAXONOMÍA .....	15

2.4	FACTORES ABIÓTICOS.....	15
2.5	USO Y APLICACIONES DE LAS MICROALGAS .....	18
2.6	FACTORES CLIMÁTICOS .....	19
2.7	FACTORES NUTRICIONALES.....	19
2.8	CONTEO CELULAR.....	20
2.8.1	CÁMARA DE NEUBAUER.....	20
2.8.2	DISCO SECCHI.....	22
2.9	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	24

### **CAPÍTULO III**

<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>26</b>	
3.1	LUGAR DE EJECUCIÓN.....	26
3.2	TIPO, DISEÑO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	26
3.3	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	28
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	28
3.4.1	Población.....	28
3.4.2	Muestra.....	29
3.5	MATERIAL BIOLÓGICO, EQUIPOS, INSTRUMENTOS, Y REACTIVOS ....	29
3.5.1	Material biológico.....	29
3.5.2	Equipos.....	29
3.5.3	Instrumentos .....	30
3.5.4	Reactivos.....	31
3.6.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	31
3.6.1	Acondicionamiento del laboratorio para el cultivo de la espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ). .....	31
I.	Acondicionamiento de laboratorio.....	31
II.	Instalación y operación de los equipos.....	34

III.	Acondicionamiento e instalación de blowers .....	34
IV.	Cultivo de la cepa espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ).....	36
V.	Efectos abióticos para el cultivo de la espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ).....	38
VI.	Observaciones del comportamiento de la espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ).... .....	39
VII.	Mediciones del cultivo de la espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ).....	40
VIII.	Anomalías observadas durante el cultivo de la espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ).....	42
IX.	Obtención de espirulina seca.....	43
	3.6.2. Características físicas .....	45
3.7	TÉCNICAS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN .....	46
3.8	TÉCNICAS PARA PROCESAR DATOS .....	46
<b>CAPÍTULO IV</b>		
	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
4.1	Resultados: Objetivo específico 1 .....	48
4.2	Resultado: Objetivos específicos 2 .....	52
4.3	Resultado: Objetivo específico 3.....	55
<b>CAPÍTULO V</b>		
	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>57</b>
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>60</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>61</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>62</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>65</b>

## ÍNDICE DE TABLA

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Propiedades físicas y composición bromatológica de la espirulina .....	23
<b>Tabla 2.</b> Tratamientos empleados para el diseño experimental en el cultivo de espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ).....	27
<b>Tabla 3.</b> Operacionalización de variables .....	28
<b>Tabla 4.</b> Características físicas de la espirulina.....	45
<b>Tabla 5</b> Cuadro esquemático para el resultado óptimo de espirulina.....	48
<b>Tabla 6.</b> Transparencia en 200 ml, pH 9,5.....	49
<b>Tabla 7.</b> Transparencia en 200 ml, pH 10,5.....	49
<b>Tabla 8.</b> Transparencia en 500 ml, pH 10,5.....	50
<b>Tabla 9.</b> Transparencia en 1 L, pH 10,5.....	50
<b>Tabla 10.</b> Transparencia en 2 L, pH 10,5.....	50
<b>Tabla 11.</b> Transparencia en 6L, pH 10,5.....	51
<b>Tabla 12.</b> Transparencia en 12 L, pH 10,5.....	51
<b>Tabla 13.</b> Transparencia en 25 L, pH 10,5.....	51
<b>Tabla 14.</b> Transparencia en 50 L, pH 10,5.....	52
<b>Tabla 15.</b> Densidad Poblacional en 500 ml, pH 10,5. ....	52
<b>Tabla 16.</b> Densidad Poblacional en 1 L, pH 10,5. ....	53
<b>Tabla 17.</b> Densidad Poblacional en 2 L, pH 10,5. ....	53
<b>Tabla 18.</b> Densidad Poblacional en 6 L, pH 10,5. ....	54
<b>Tabla 19.</b> Densidad Poblacional en 12 L, pH 10,5. ....	54
<b>Tabla 20</b> Densidad Poblacional en 25 L, pH 10,5.....	55
<b>Tabla 21.</b> Densidad Poblacional en 50 L, pH 10,5. ....	55
<b>Tabla 22.</b> Análisis Proximal .....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Especie espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ).....	14
<b>Figura 2.</b> Conteo de espirulina, metodología Cámara Neubauer, tomada en el laboratorio de acuicultura.....	21
<b>Figura 3.</b> Disco de Secchi .....	23
<b>Figura 4.</b> Flujograma del cultivo de la espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) .....	32
<b>Figura 5.</b> Acondicionamiento del cepario microalgas del laboratorio de Acuicultura ESIP .....	33
<b>Figura 6.</b> Acondicionamiento de estantería en el laboratorio cepario de microalgas ESIP .....	33
<b>Figura 7.</b> Instalación de equipos en el laboratorio cepario de microalgas ESIP.....	34
<b>Figura 8.</b> Instalación de mangueras de aire para la espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ).35	
<b>Figura 9.</b> Instalación de blowers (aireadores) para la espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ). .....	35
<b>Figura 10.</b> Acondicionamiento final de blowers para la espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ). .....	36
<b>Figura 11.</b> Acondicionamiento de la cepa espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ). .....	37
<b>Figura 12.</b> Inicio del cultivo y registro de crecimiento de la espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ). .....	37
<b>Figura 13.</b> Control de la temperatura de la espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) en el cepario .....	38
<b>Figura 14.</b> Control del pH de la espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ). .....	38
<b>Figura 15.</b> Inicio del cultivo de espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ). .....	39
<b>Figura 16.</b> Final del cultivo de espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ). .....	40
<b>Figura 17.</b> Medición de pH de la espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ). .....	41
<b>Figura 18.</b> Medición de transparencia de la espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ), con disco Secchi.....	41

<b>Figura 19.</b> Mortandad de la espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) en tratamiento 1. ....	42
<b>Figura 20.</b> Mortandad de la espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) en tratamiento 2. ....	42
<b>Figura 21.</b> Espirulina filtrada y fresca. ....	44
<b>Figura 22.</b> Espirulina en secador de aire frío. ....	44
<b>Figura 23.</b> Espirulina seca. ....	45
<b>Figura 24.</b> Grupos de espirulina en inicios de tratamiento. ....	67
<b>Figura 25.</b> Medición de la densidad aparente de la espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ). ....	67
<b>Figura 26.</b> Espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) vista al microscopio. (40X) ....	68
<b>Figura 27.</b> Conteo poblacional con microscopio y en la cámara de Neubauer. ....	68
<b>Figura 28.</b> Observando para el conteo poblacional de espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) con microscopio y en la cámara de Neubauer. ....	69
<b>Figura 29.</b> Prueba normal de Kolmogorov-Smirnov. ....	72
<b>Figura 30.</b> Información de campos categóricos TEMP. ....	72
<b>Figura 31.</b> Información de campos continuos células. ....	73
<b>Figura 32.</b> Caja de bigotes de las medias de tratamientos en el cultivo de espirulina. ....	74

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo 1.</b> Análisis proximal de la espirulina cultivada en laboratorio.....	65
<b>Anexo 2.</b> Análisis proximal de la espirulina cultivada en laboratorio.....	65
<b>Anexo 3.</b> Análisis de digestibilidad por pepsina.....	66
<b>Anexo 4.</b> Evidencia fotográficas.....	67
<b>Anexo 5.</b> Análisis estadístico del objetivo 2.....	69
<b>Anexo 6.</b> Tabla de horario de medición de la temperatura ambiente.....	74

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue cultivar espirulina (*Arthorspira platensis*) y evaluar los efectos abióticos que podrían optimizar su crecimiento poblacional y el rendimiento proteico en condiciones de laboratorio en la región de Tacna. Para ello, se implementó un diseño experimental clásico que incluyó un grupo de control y tres tratamientos experimentales, cada uno con tres repeticiones.

El cultivo se llevó a cabo durante un año en el Cepario, laboratorio de Acuicultura de Microalgas de la Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Se acondicionaron 18 frascos de vidrio con una capacidad de 200 mL en la fase inicial. El control del crecimiento poblacional se realizó semanalmente, tomando una alícuota de 100 mL de cada tratamiento y realizando el recuento de las células algas con la cámara de Neubauer. Se utilizaron un potenciómetro (peachímetro), un termómetro y un disco Secchi para evaluar el efecto de los tratamientos a diferentes niveles de pH, temperatura y densidad sobre el crecimiento poblacional.

Adicionalmente, se llevaron a cabo análisis proximal, digestibilidad por pepsina para determinar la calidad nutricional, centrándose en el contenido proteico. Los resultados mostraron que la espirulina logró crecer en los dos niveles de pH evaluados y en tres temperaturas diferentes. Sin embargo, el tratamiento experimental con pH 10,5 y temperatura de 31°C favoreció significativamente el crecimiento poblacional, alcanzando la mejor tasa de crecimiento. En contraste, el tratamiento con pH 9,5 experimentó una tasa de mortalidad total. Los niveles de crecimiento fueron notablemente superiores en el tratamiento con pH 10,5, logrando un crecimiento del 100%.

**Palabras clave: cultivo, crecimiento, espirulina (*Arthosrpira platensis*), pH, temperatura**

## ABSTRACT

*The objective of this research was to cultivate Spirulina platensis and evaluate the abiotic effects that could optimize its population growth and protein yield under laboratory conditions in the Tacna region. For this, a classic experimental design was implemented that included a control group and three experimental treatments, each with three repetitions.*

*The cultivation was carried out for a year in the Cepario, Microalgae Aquaculture laboratory of the Professional School of Fisheries Engineering of the Jorge Basadre Grohmann National University in Tacna. 18 glass bottles with a capacity of 200 ml were conditioned in the initial phase. Control of population growth was carried out weekly, taking a 100 mL aliquot of each treatment and counting the algae with the Neubauer chamber. A potentiometer (peachimeter), a thermometer and a Secchi disk were used to evaluate the effect of treatments at different levels of pH, temperature and density on population growth.*

*Additionally, proximal analysis, pepsin digestibility was carried out to determine nutritional quality, focusing on protein content. The results showed that Spirulina platensis managed to grow at the two pH levels evaluated and at three different temperatures. However, the experimental treatment with pH 10,5 and a temperature of 31°C significantly favored population growth, reaching the best growth rate. In contrast, the pH 9,5 treatment experienced an overall mortality rate. Growth levels were notably higher in the pH 10,5 treatment, achieving 100% growth.*

**Keywords: cultivation, spirulina (*Arthosrpira Platensis*), pH, growth, temperature.**

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación se centró en buscar algunos parámetros abióticos vitales y necesarios para el cultivo de espirulina (*Arthrospira platensis*) en laboratorio, en la región Tacna con el fin de planear posteriormente un proceso de escalado en la región de Tacna. El propósito posterior de un escalamiento será proporcionar una alternativa alimenticia que podría mejorar el bienestar social, económico y ambiental de un gran sector de la población de la región. Para que la espirulina crezca de manera idónea y saludable, son necesarios ciertos nutrientes vitales y condiciones ambientales ideales como luz, temperatura, agitación y pH, entre otros factores que intervienen en el proceso de cultivo. Esta microalga posee un gran valor nutritivo en proteínas, minerales, carotenos y vitaminas, lo que la convierte en una excelente opción para contrarrestar y prevenir ciertos tipos de enfermedades. En el año 2012, Hussein A. Kaoud publicó el artículo “Effect of spirulina platensis as a dietary supplement on broiler performance in comparison with prebiotics” en la revista “Scientific Journal of Applied Research”. El experimento consistió en comparar el uso de espirulina contra dos tipos de prebióticos diferentes. Los prebióticos son conocidos por mejorar el sistema inmune, mejorar los síntomas de la intolerancia a la lactosa, mejorar la resistencia a las infecciones, reducir el colesterol, mejorar la presión sanguínea, mejorar la producción de vitaminas B, mejorar la absorción de los minerales calcio y magnesio y reducir el cáncer de colon (Kaoud, 2015).

En la región Tacna; la población censada al 2017 fue de 329,332 habitantes, con una tasa de crecimiento intercensal de 1,3 % ubicándose en el segundo grupo a nivel nacional; por otro lado, según la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar – ENDES mostró que el índice de anemia en Tacna continúa por debajo del promedio nacional

con 37%, mientras que la desnutrición afectó solo al 3,2%, adicionalmente las mayores prevalencias de sobrepeso y obesidad se dieron en la región Tacna con el 13,9 y el 5,3 %, respectivamente (Andina, 2017).

Este trabajo se divide en cuatro capítulos, en el Capítulo I: Planteamiento del problema, Capítulo II: Marco teórico, Capítulo III: Marco metodológico, Capítulo IV: Resultados, Conclusiones y Recomendaciones. Además, los Anexos correspondientes.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. PROBLEMA GENERAL

La espirulina (*Arthrospira plantensis*) se requiere cultivar en la región de Tacna, ya que no se ha difundido de manera masiva y real a nivel regional todas sus bondades nutricionales y preventivas contra enfermedades peligrosas como el cáncer, y anemia, entre otras. Tampoco se conoce si es posible cultivar la espirulina (*Arthrospira plantensis*), ya que la calidad de agua y temperatura son diferentes a otras regiones.

Los efectos que tendrá la temperatura y pH en el cultivo de la espirulina (*Arthrospira platensis*), en la región Tacna, deben ser investigados de modo científico y práctico.

El problema principal en la producción de espirulina radica en encontrar y aplicar los parámetros principales de temperatura y pH, necesarios para su adaptación y cultivo en la región Tacna, los cuales requieren ser abordados en la presente investigación. Además, también existen otros factores, no abordados por el presente, como son la luminosidad, tipo de nutrientes, etc.

### 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.2.1. Problema general

- ¿Cuáles serán las condiciones abióticas, temperatura y pH, que favorecerán el cultivo de la microalga espirulina (*Arthrospira platensis*), bajo condiciones de laboratorio, en la región Tacna?

### 1.2.2. Problema específico

- ¿Es posible determinar la temperatura y pH en el cultivo de la microalga espirulina (*Arthrospira platensis*), bajo condiciones de laboratorio?
- ¿Cómo será la densidad poblacional en el cultivo de la microalga espirulina (*Arthrospira platensis*) cultivada bajo condiciones de laboratorio?
- ¿Cuál será el valor nutritivo de la microalga espirulina (*Arthrospira platensis*) cultivada bajo condiciones de laboratorio?

### 1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La presente tesis basa su justificación en los siguientes aspectos:

- Para el cultivo exitoso de la espirulina, es muy importante abordar el estudio de las condiciones abióticas temperatura y pH necesarias para su buen desarrollo. Por lo que su desarrollo en lo concerniente a cultivo, procesamiento y valoración nutritiva como producto académico puede propiciar mejoras en el desarrollo acuícola en la carrera Profesional de Ingeniería Pesquera en la región de Tacna.
- **Conveniencia o relevancia**, respecto a aportes a la carrera: el nuevo “boom” de la pesquería está orientado hacia el primer eslabón de la cadena alimentaria, es decir la producción de fitoplancton, en este caso específico se trata de microalgas que pueden ser empleadas para producción ceparia o directamente consumo humano, obviando algunos eslabones de la cadena trófica, lo cual significa un gran ahorro de energía y esfuerzos en la cadena intermediaria productiva del alimento. Es decir, el consumo de estas microalgas supone un ahorro considerable en términos de utilización de otros recursos proteicos, como el mismo pescado, en fresco, que requiere entre otros procesos lo siguiente:

adquisición, transporte, preparación o separación de las partes comestibles y posterior consumo en alguna de las formas apropiadas. Esto no ocurriría con los productos a base de microalgas, donde su uso y consumo debe darse en forma directa, obviando todos los pasos previos señalados para el aprovechamiento proteico de especies de pescado, cualquiera fuere su forma de consumo.

- **Teórica (justificación teórica).** Esta investigación es necesaria llevarla a cabo porque la acuicultura necesita ser empleada en la producción alimentaria desde su inicio o primer nivel, señalando que la importancia teórica del trabajo radica, en ensayar parámetros de adaptación a las condiciones climáticas del cultivo y aislamiento; así mismo controlar las etapas de producción primaria mejorar su adaptabilidad; y ofrecer el producto en alguna de las formas comunes de consumo de alimentos proteicos, que se pretenda aporten los requerimientos mínimos de energía calórico proteico para los seres vivientes.
- **Práctica:** La implicancia práctica radica en demostrar la gran posibilidad de desarrollar tecnología adaptativa para la microalga en estudio; la misma que es importada de otro país a costos todavía onerosos, cuando la producción de estas microalgas sólo demanda moderados esfuerzos, en comparación con sus grandes beneficios nutricionales.
- **Razón Social:** Las razones finales de la presente investigación llevada a una escala que contribuya a un mejor aspecto productivo de este recurso microalga podría generar mejores opciones de situación laboral, por un lado y por otro se llegaría mediante la difusión, y consumo a una población que no esté bien nutrida y que pueda consumir cada vez más

proteínas y nutrientes en general (vitaminas, lípidos, carotenos, minerales) para un mejor desarrollo y mejor calidad de vida.

- **Utilidad Metodológica:** Como consecuencia de las razones sociales del párrafo anterior se podría obtener una metodología óptima para el cultivo de la espirulina.

Existen parámetros críticos para el cultivo de la microalga en estudio que necesitan dilucidarse para su reproducción en ambientes controlados, tales como la temperatura y el pH. Siendo necesario definir experimentalmente estos parámetros en diferentes tratamientos experimentales.

## **1.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

- Determinar las condiciones abióticas (temperatura y pH) que favorecen el cultivo de la microalga espirulina (*Arthrospira platensis*), bajo condiciones de laboratorio, en la región Tacna.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar la temperatura y pH de la microalga espirulina (*Arthrospira platensis*), cultivada bajo condiciones de laboratorio.
- Determinar la densidad poblacional en el cultivo de microalga espirulina (*Arthrospira platensis*) cultivada bajo condiciones de laboratorio.
- Determinar el valor nutritivo de la microalga espirulina (*Arthrospira platensis*) cultivada bajo condiciones de laboratorio.

## **1.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

### **1.5.1. Hipótesis general**

- Es posible determinar las mejores condiciones abióticas, de temperatura y pH, para el cultivo de microalga espirulina (*Arthrospira platensis*), bajo condiciones de laboratorio en la región Tacna.

### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- Es posible determinar los parámetros pH y temperatura para los diferentes tratamientos empleados en la microalga espirulina (*Arthrospira platensis*) cultivada bajo condiciones de laboratorio.
- Existen diferencias significativas en la densidad poblacional, en el cultivo de la microalga espirulina (*Arthrospira platensis*) bajo condiciones de laboratorio.
- El valor nutritivo de la microalga espirulina (*Arthrospira platensis*) cultivada en laboratorio tiene un valor de proteína superior al valor comercial, 60 a 70 %.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

- López (2013) en la investigación “*Superalimento para un mundo en crisis: Spirulina a bajo costo*”, resume lo siguiente:

La Spirulina 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 (sic). Es fácil de multiplicar y económica de producir. Se considera un superalimento. Es consumida por atletas de nivel olímpico y es el alimento de los astronautas. Sesenta gramos bastan para alimentar a una persona por día, con 10 gramos diarios se puede sobrevivir. El objetivo de este trabajo es dar la información necesaria para que pueda cultivarse en zonas rurales, como un complemento alimenticio. Material y Método: Se trabajó con la cepa Spirulina platensis, en una planta piloto cerca de Arica, Norte de Chile, en sistema de estanques abiertos, en una instalación tipo invernadero, con agitadores electromecánicos de baja potencia. Resultados y conclusiones: Las respuestas indicaron medias de producción diarias desde 3 g/m<sup>2</sup> en otoño-invierno hasta 4 g/m<sup>2</sup> en primavera-verano, con un costo de producción bajo los US\$ 7/kg, siendo la mitad de lo que cuesta la carne de res

de la calidad más alta. Se concluye que es recomendable su cultivo para pobladores de zonas rurales.

- Serrano y Triana (2006) en la investigación “Evaluación del pH en el cultivo de *Spirulina spp.*(*Arthospira*)”, resumen lo siguiente:

El estudio del cultivo de *Spirulina spp.* en condiciones de laboratorio es de interés debido a que en los últimos años se han descubierto sus grandes propiedades nutricionales, lo que hace necesario que se determinen factores importantes en su crecimiento como el pH. En este trabajo se buscó optimizar este factor para lograr una mejor productividad en cuanto a biomasa g/L; se reporta el efecto que tiene diferentes valores de pH sobre la formación de biomasa de *Spirulina spp.*, se emplearon valores de pH de 8,2 ; 8,6 ; 9,0 ; 9,4 ; 9,8 y 10,2. Los ensayos se llevaron a cabo en medio Zarrouk a una temperatura de 25 +/-2°C, aireación constante, fotoperiodo 12:12 h y 58,56  $\mu\text{mol}$  quanta  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de irradiancia. *Spirulina spp.* fue capaz de crecer bajo todos los pH probados, sin embargo, fue en el pH 9.0 en el cual presentó un menor tiempo de adaptación en las 30 primeras horas de cultivo y uno de los mejores rendimientos a lo largo del cultivo. Se realizó una segunda etapa experimental en la cual se escogió el pH 9,0 de la primera etapa y se implementó la adición de CO<sub>2</sub> al cultivo con el fin de evaluar la productividad del mismo, también se realizó un control sin CO<sub>2</sub> y se determinó que estadísticamente no hubo diferencias significativas entre los dos ensayos ( $p > 0.05$ ), sin embargo, el control presentó una caída más rápida en su crecimiento en el día 33, mientras que el ensayo con CO<sub>2</sub> continuó su crecimiento. Así mismo se determinó que la cantidad de CO<sub>2</sub>, así como el tiempo en la adición de este son muy pocos si se comparan con los beneficios que se pueden obtener en cuanto a productividad y por ende a rentabilidad.

- Asero (2014), en “Obtención de la espirulina en polvo por secado al vacío para el enriquecimiento nutricional de los productos alimenticios”, resume:

Se selecciona el tipo de espirulina, que se va a emplear para el secado, la misma que debe estar limpia y sin impurezas y se la congela para su conservación. Antes de realizar el secado al vacío y por una sola vez al inicio de la investigación se determina la temperatura de ebullición del agua como referencia, somete la biomasa congelada a 37°C calentamiento en baño María y se mide la temperatura en este cambio de estado físico, se homogeniza la muestra y se ubica parte superior de la cámara de vacío para proceder al secado.

Se realizan mezclas de polvo de espirulina con leche, jugo de tomate y harina de maíz. Las pruebas de degustación se realizaron a 10 personas (5 mujeres y 5 hombres) Obteniendo. mayor acogida las combinaciones con leche espirulina y con jugo espirulina. El rango de calificación fue de 1 a 3 y los datos obtenidos fueron de 3 muestras: M1=2,80 M2= 2.80 Y M3= 2,70.

- Labaut y col. (2014), en Microalgas bentónicas de la laguna La Redonda y su relación con las características del ecosistema, resume lo siguiente:

La laguna La Redonda de gran importancia para el turismo de la región y el país, por su riqueza de especies, sus valores estético-paisajísticos y su uso pesquero, se estudia como parte de un proyecto que busca identificar las características ecológicas del ecosistema para recuperar las poblaciones de trucha *Micropterus salmoides*, decrecidas en los últimos años. El objetivo de esta investigación fue identificar las microalgas bentónicas de la Laguna La Redonda y determinar su relación con las características de este ecosistema. El muestreo se realizó en diez estaciones en noviembre de 2013. La transparencia del agua se realizó mediante un disco de Secchi, la temperatura y el pH se determinaron con un pH-

metro portátil marca HACH. Para la clorofila a en el agua se utilizó el método fluorimétrico, de extracción con metanol y mediante dragado se tomaron muestras del sedimento superficial acumulado en el fondo de la laguna. Se identificaron varias clases de microalgas y cianoprocariotas, con una particular diversidad de diatomeas principalmente de acuatorios de alto contenido salino, con presencia de materia orgánica y con ciertos niveles de eutrofización. Otros grupos como las desmidiáceas también se presentaron a pesar del pH elevado del agua del acuatorio.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

- Huarachi y col. (2013) "Production of *Spirulina Platensis* (Cyanophyta) in conical photobioreactor tubules under laboratory conditions", señala:

La producción de la cyanophyta *Spirulina platensis* se investigó en un fotobiorreactor tubular cónico bajo condiciones de laboratorio. El fotobiorreactor a escala de laboratorio fue construido con un área basal de 0,221 m<sup>2</sup> y un cono (0,56 m de alto x 0,60m diámetro superior) diseñado con una manguera PVC (47 m de longitud con 12 mm de diámetro utilizando 40 m de largo para las 26 espiras que forman el cono; 6,4 m para el intercambiador de calor), reforzado con alambre de metal y forrado con papel aluminio; (volumen total = 4,085 L) . La superficie interna del cono (0,5982 m<sup>2</sup>) fue iluminado con lámpara de vapor de mercurio (12 h luz/12 h oscuridad). La operación del fotobiorreactor funcionó con una bomba de aire con un caudal 0,021 L/s dando como resultado una tasa de producción de biomasa seca de 3,362 g/m<sup>2</sup> y una concentración de clorofila a de 0,05658 mg/L con una iluminación de 5617,23 lux. El crecimiento de *S. platensis* en el fotobiorreactor tubular cónico se ajusta al modelo de la curva de crecimiento S en 22 días (R<sup>2</sup>=0,865; F=57,592).

Las algas pueden tolerar un amplio rango de condiciones de crecimiento, pero situaciones extremas pueden llevar la generación de sustancias oxígeno

reactivas altamente peligrosas (ROS) que pueden causar el deterioro del metabolismo celular y causar daños a componentes celulares. Los antioxidantes producidos por las algas alivian los efectos dañinos de las ROS. Mientras que la relevancia de la producción antioxidante en algas verde azuladas bajo estrés se ha reportado, la respuesta antioxidante requiere estudios adicionales. Este estudio muestra los efectos del cambio de pH en la actividad antioxidante y productividad de *Arthrospira platensis*.

El peso seco del alga (PS) fue llevado a pH 9,0. El alto contenido de carotenoides (10,6 y 2,4 mg/g PS, respectivamente) fue registrado a pH 8,5. El contenido fenólico más alto (12,1 mg de ácido gálico equivalentes (GAE)/g PS) se registró a pH 9,5.

La producción máxima de ficobiliproteína (159mg/g PS) se obtuvo a pH 9.0. La actividad antioxidante para la actividad radical mostro un poder reductor y que es llevado a pH 9,0 notándose un aumento de 567 250 y 206% comparado con el control positive respectivamente. La variación en la actividad de las enzimas antioxidantes superóxido dismutasa.

- Zafra y col (2013). Cultivo experimental de *Arthrospira jenneri* con medio nutritivo de residuos de pescado

Se investigó la evolución del cultivo de *Arthrospira jenneri* "espirulina" con residuos de anchoveta a concentraciones de 5, 10 y 15 mL en una corrida experimental realizada de diciembre a enero 2013. Se evaluó la densidad cada dos días a 0,1 -1 mL y las tasas de crecimiento. La muestra de agua se obtuvo del humedal Chou Chou (Salaverry) y la espirulina se separó a través de una malla de 40  $\mu$ . Se cultivó un litro de *A. jenneri* con 100 mL de inóculo, 10 ppt de salinidad, 9 de pH y 24°C, en sistema de botellas con aireación y luz continua por 15 días en un invernadero. La densidad de *A. jenneri* fue de 0,76; 1,85 y 2,08 x 10<sup>3</sup> tricomas mL<sup>-1</sup> y el crecimiento se inició al sexto día con tasas de crecimiento de 0,304; 0,369 y 0,377 día<sup>-1</sup> respectivamente. Se concluye que

mayor densidad y tasas de crecimiento específico de *A. jenneri* se obtuvo con 15 mL de residuos de anchoveta.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Microalgas**

Se entiende por microalgas a organismos de tamaño microscópico que contienen clorofila a y que llevan a cabo la fotosíntesis oxigénica, sin presentar diferenciación en estructuras como raíces, tallos ni hojas. Estas incluyen tanto a microorganismos de tipo eucariota como a los de tipo procariota. Son responsables de al menos el 50% de la productividad primaria en el planeta (García, 2014). La reproducción comúnmente ocurre por división binaria, con tiempos de duplicación que pueden ser de una hora o menos para las cianobacterias procariotas y de entre 8 a 24 horas o más para las eucariotas. (Romo, 2002)

Las microalgas desempeñan un papel esencial en la conservación del planeta. Actúan como los principales agentes en la fijación de CO<sub>2</sub> y en la producción de oxígeno. Como productores primarios, las microalgas forman la base de la cadena trófica que sustenta la vida en los océanos, ya que sirven de alimento para el plancton, moluscos, crustáceos, peces y, a su vez, para los seres humanos a través de la cadena alimentaria. (Palacios, 2016)

Las microalgas son los más mejores conversores de energía solar debido a su sencilla estructura celular. Además, al estar flotando en el agua, tienen una mejor accesibilidad al CO<sub>2</sub> y otros nutrientes. Se encuentran ampliamente distribuidas en la biósfera adaptadas a una gran cantidad de condiciones de crecimiento. (Torres y Flores, 2011)

## Figura 1.

*Especie espirulina (Arthrospira platensis)*



Nota: Tomado de Ecospirulina (s.f.)

### 2.2.2. Espirulina

La espirulina, figura 1, es una cianobacteria, antiguamente llamada alga verde-azulada, conforma organismos procariotas, es decir, que no contiene núcleo celular. Transportan su información genética, su ADN, en forma libre en el citoplasma y no dentro del núcleo celular. A su vez, en un plano más general, las procariotas pertenecen al dominio de las bacterias según las clasificaciones actuales de la biología. Son de los organismos más antiguos, simples y robustos que existen. (Argento y col, 2016)

Lo curioso de la espirulina es que es una bacteria capaz de hacer la fotosíntesis por oxígeno, es decir, tomando los electrones necesarios del agua que actúa como agente reductor y no de otros donantes como sulfuro o hidrógeno, como sucede en otro tipo de bacterias. Gracias al agua y al dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), produce azúcares y exceso de oxígeno que es liberado. Es por eso que son de

los organismos más antiguos conocidos y originarios formadores del planeta. La espirulina puede vivir tanto en aguas alcalinas como el océano, oasis, estuarios y lagos. (Argento y col, 2016)

La espirulina crece bien en lagos alcalinos en México y África formando floraciones masivas. Inicialmente fue un cultivo esencial y masivo de las poblaciones nativas de la zona; sin embargo, se ha extendido a Hawái, California, China, Taiwán, Japón desde finales de la década de los 70. Se estima que su producción en seco hasta alrededor las 3 000 toneladas/año. (Aquahoy, 2013)

### 2.3. TAXONOMÍA

<b>Dominio:</b>	Bacteria
<b>Filo:</b>	Cyanobacteria
<b>Clase:</b>	Cyanophyceae
<b>Subclase:</b>	Oscillatoriothrales
<b>Orden:</b>	Chroococcales
<b>Familia:</b>	Spirulinaceae
<b>Género:</b>	Spirulina
<b>Especie:</b>	platensis, maxima

**Fuente:** (Wikipedia, 2024), Ciferri O.1983

### 2.4. FACTORES ABIÓTICOS

El cultivo de microalgas espirulina a gran escala persigue la obtención de cantidades importantes de un producto de alto valor, por tanto, la productividad del sistema debe ser lo más maximizado posible. Los factores abióticos que son esenciales en el crecimiento óptimo para un mejor rendimiento son: (Fuentes, 2019)

- **La luz**

La espirulina absorbe la luz y utiliza su energía para construir moléculas de azúcar y producir oxígeno a partir de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O), en el proceso de fotosíntesis. (Bulboa y Olivares, 2008)

Esta habilidad de la espirulina para absorber y utilizar la luz en las reacciones fotoquímicas se debe a que ellas poseen pigmentos fotosintéticos como las clorofilas, capaces de captar y llevar la energía de la luz hacia la maquinaria fotosintética. (Bulboa y Olivares, 2008)

La intensidad de luz recibida por las algas incide directamente sobre la actividad fotosintética. Si la luz es insuficiente, el alga no obtiene suficiente energía para el crecimiento. Al aumentar la intensidad, aumenta la fotosíntesis hasta un límite en que las algas se saturan y un mayor incremento en la iluminación no va a producir un aumento en la fotosíntesis. Una exagerada iluminación es perjudicial para el alga, es inhibitoria para el crecimiento y daña los tejidos, es la llamada foto inhibición o foto inactivación definida como un descenso de la capacidad fotosintética provocada por elevadas intensidades de luz, implicando la foto destrucción de pigmentos fotosintéticos. Los efectos dañinos de la iluminación pueden ser intensificados por otros factores, como deficiencia de nutrientes o temperaturas elevadas. (Bulboa y Olivares, 2008)

En el caso de cultivos en ambientes controlados la luz es suministrada por diferentes tipos de luces, las que reproducen las condiciones más adecuadas para el desarrollo y crecimiento del cultivo. (Bulboa y Olivares, 2008)

- **El fotoperiodo**

Es la cantidad de horas de luz que recibe un organismo al día, siendo una medida de la alternancia natural (u artificial) día/noche a la que están sometidas las

algas, lo cual incide sobre los ritmos diarios de las algas y que generalmente son reproducidos para su cultivo. (Bulboa y Olivares, 2008)

- **La temperatura**

La temperatura es una medida del calor dentro de un sistema y es expresado en °C en la escala de Celsius o en K en la escala de Kelvin. Altas temperaturas resultan en la desnaturalización de las proteínas, el deterioro enzimas y membranas celulares. Bajas temperaturas pueden causar la alteración de las proteínas y lípidos de las membranas celulares y daños mecánicos a las células por la producción de cristales de hielo. Algunas especies de microalgas pueden crecer, entre 15 a 30 °C, (dependiendo del tipo de microalga), en cambio la espirulina presenta un rango óptimo de 30 a 37°C (Bulboa & Olivares, 2008)

El calor es la energía del movimiento molecular. Es así como la temperatura regula la velocidad de los procesos biológicos a través de la actividad metabólica. Dentro del rango de tolerancia de cada especie, a menor temperatura el metabolismo es frenado o inhibido, mientras que este aumenta con el aumento de la temperatura, hasta llegar al máximo de aceptación, más allá del cual todo aumento de temperatura es perjudicial. (Bulboa y Olivares, 2008)

- **Salinidad**

La espirulina es extremadamente tolerante a los cambios en la salinidad. La mayoría de las especies crecen mejor con una salinidad ligeramente más baja que la de su hábitat nativo, que se obtiene al diluir el agua con sales minerales. Se ha encontrado que las salinidades de 24-30 g/L. son óptimas (sic). (Hernández-Pérez y Labbé, 2014)

- **pH**

El rango de pH para la mayoría de las especies de algas cultivadas está entre 8,5 y 10,5, con un rango óptimo de 9 – 10. El colapso completo del cultivo puede ocasionarse por no mantener un pH aceptable produciendo la interrupción de muchos procesos celulares. (Hernández-Pérez & Labbé, 2014)

El pH del cultivo está influenciado por varios factores como la productividad algal, la respiración, la alcalinidad y composición iónica del medio de cultivo. (Hernández-Pérez y Labbé, 2014)

- **Oxígeno disuelto**

La intensa fotosíntesis realizada durante el día en sistemas de cultivo puede aumentar los niveles de oxígeno disuelto a saturación > 200%. Se cree que una elevada saturación podría afectar la productividad de algas. A una saturación del 200% existe una reducción del 17% en la productividad, mientras que a 300% se reduce en un 25%. Todavía se requiere más investigación para demostrar el efecto de altos niveles de oxígeno. (Hernández-Pérez y Labbé, 2014)

## 2.5. USO Y APLICACIONES DE LAS MICROALGAS

Las microalgas se cultivan para diferentes fines:

- **Acuicultura:** Las microalgas constituyen la principal fuente de alimento utilizada en la nutrición de moluscos, rotíferos y fases larvarias de crustáceos, siendo además utilizadas como complemento en las dietas de peces o como medio para mantener la calidad del agua. (Luna, 2007)
- **Tratamiento de agua:** Las microalgas se emplean en el tratamiento de aguas residuales, detoxificación biológica y control de metales pesados en aguas naturales o en aguas industrialmente contaminadas. (Luna, 2007)
- **Biomedicina y farmacología:** Utilización en dietas de adelgazamiento y tratamientos de heridas; algunas microalgas presentan efectos

hipocolesterolémicos, actividad antibacteriana, inmunoreguladora, antifúngica y antitumoral. (Luna, 2007)

- **Alimentación humana y pienso animal:** Las microalgas representan una fuente de proteína con posibles aplicaciones en nutrición humana, pero principalmente se utiliza como complemento de piensos animales. Los hidrolizados proteicos son de gran utilidad en la industria médico farmacéutica. (Luna, 2007)
- **Biol:** este uso se ha dado a otras microalgas diferentes de la espirulina, como la *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros* sp, (Fuentes, 2019) etc. Sería un despropósito utilizar este importante recurso alimenticio de muchas bondades para uso humano, nutritivas y “quemarlo” como combustible.

## 2.6. FACTORES CLIMÁTICOS

El factor climático de mayor importancia para la rapidez del crecimiento y la calidad es la temperatura (sic). Por debajo de 20 °C deja de crecer. La óptima para el crecimiento es de 310.15°K (37°C) (sic). Por encima de 42°C la espirulina corre grave peligro. (Jourdan, 2000)

La iluminación es muy necesaria para la fotosíntesis; pero no debe ser mantenida de forma continua durante las 24 horas del día. Durante la noche siguen produciéndose reacciones bioquímicas, como la síntesis de proteínas y la respiración. Esta provoca la disminución de la biomasa, sobre todo cuando la temperatura es elevada. (Jourdan, 2000)

## 2.7. FACTORES NUTRICIONALES

La espirulina, actualmente se consume como un suplemento tradicional. Contiene por término medio:

- Proteínas: alrededor de un 60% en peso seco (Argento & col, 2016). Ver tabla 1.

- Glúcidos: entre un 8 y 14% (Argento & col, 2016)
- Lípidos: aproximadamente 6%. Puede variar en cantidad como en composición, dependiendo de las condiciones de cultivo, sobre todo luz y nitrógeno. Si la luz es escasa aumentará el contenido de lípidos como reserva de energía. (Argento & col, 2016)

Está compuesta en un 60% de su peso seco por proteína vegetal de fácil digestión. Además, contiene beta-caroteno, vitamina B-12, hierro, calcio, potasio, magnesio y otros minerales importantes; así también ácidos grasos esenciales. Los lípidos componen entre 4 – 7% del peso seco y la mitad de ellos son ácidos grasos esenciales. El principal de ellos es el gamma linoleico (GLA), ácido graso que se encuentra en la leche materna y ayuda a reducir los niveles de colesterol y triglicéridos en la sangre. (Argento & col, 2016)

Contiene 16% de carbohidratos. De ello un 9% es ramnosa, azúcar biológicamente activa. El hierro de la espirulina es 60% mejor absorbido que el sulfato de hierro común de muchos otros alimentos. (Argento y col, 2016)

## **2.8 CONTEO CELULAR**

### **2.8.1 CÁMARA DE NEUBAUER**

La densidad celular se puede determinar mediante el uso de Hematocitometro o cámara de conteo celular de Neubauer que es un dispositivo, mediante el cual se puede determinar el número de partículas suspendidas en un volumen conocido y de esta manera saber el número en el recipiente original

Conteo celular: Según Aguilar (1995), citado por Ynga (2011) La cámara de Nebauer es un portaobjetos de conteo para su uso en el microscopio óptico, con una depresión central en el fondo de la laminilla, en la que se ha marcado una retícula micrométrica. Es un cuadrado de 3 mm x 3 mm, con una separación entre

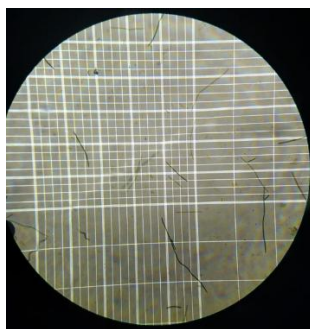
dos líneas consecutivas de 0,25 mm. Así pues, el área sombreada corresponde a 1 milímetro cuadrado. La depresión central del cubreobjetos está hundida 0,1 mm respecto a la superficie, de forma que, cuando se coloca el cubreobjetos, este dista de la superficie marcada 0,1 mm, y el volumen comprendido entre la laminilla y el aérea reticulada es de 0,1milímetro cúbico.

El proceso de conteo celular es el siguiente:

- Tomar 1 mL de la muestra del cultivo con la ayuda de una pipeta pasteur y colocarla en un vial.
- Fijar la muestra con lugol concentrado (1 gota) y homogenizarla
- Limpiar la cámara de conteo
- Colocar una gota de la muestra en la cámara de conteo, tratando de que ésta se extienda uniformemente en toda el área.
- Observar la muestra a través del microscopio para la realización del conteo por triplicado, dicho conteo se realiza en los cuadrados del centro (Fig.5), luego del cual se obtiene la media aritmética de sólo 5 cuadrantes y se lleva a la siguiente fórmula:

**Figura 2.**

*Conteo de espirulina, metodología Cámara Neubauer, tomada en el laboratorio de acuicultura.*



No células por ml = No de células de 5 cuadrantes centrales X 250000/5

Los datos son procesados en hojas de cálculo Excel

## 2.8.2 DISCO SECCHI

El disco Secchi es un instrumento que se usa para medir la transparencia del agua, la turbidez y la penetración de la luz en cuerpos de agua como lagos, ríos, y mares: Se sumerge el disco en el agua hasta que desaparece de la vista y se registra la distancia hasta ese punto. Suele tener un diámetro de 20 a 30 centímetros y está dividido en cuartos de color blanco y negro para mejorar el contraste. (AELS, 2024). En el proyecto se utilizó uno de un diámetro de 3 cm de color blanco para tener un mejor contraste.

Mide la profundidad a la que ya no se puede ver un patrón de alto contraste en el disco. A mayor profundidad Secchi, mayor transparencia del agua.

La profundidad Secchi es un indicador de la calidad del agua de los embalses. Se puede relacionar con otros parámetros ambientales para predecir nuevas observaciones. (AELS, 2024)

Disco de Secchi: se trata de un aparato simple (disco plano de 20-30 cm de diámetro) pintado en dos cuartos de color negro y dos blancos; y que se utiliza para medir la transparencia del agua. El nombre se debe a su inventor, el monje Pietro Angelo Secchi. Existen otras variantes del disco con mayor tamaño de diámetro, y sin alternar pintura negra y blanca. (AELS, 2024)

El disco se sumerge desde una embarcación en la superficie y se calcula la profundidad a la que se deja de ver como medida de transparencia de la columna de agua, y que resultará de la turbidez (partículas y seres vivos del plancton) y de la propia extinción progresiva de la luz solar (específica para la longitud de onda de cada color) que penetra en la superficie de la lámina de agua. (AELS, 2024)

Esta medida simple resulta muy útil para calcular la capa fótica. Es decir, la zona en la que penetra la luz y en la que es posible la producción primaria de las

microalgas y los vegetales del litoral. Es una de las medidas clave para evaluar el estado ecológico de un lago y monitorizar a largo plazo el ecosistema.

AELS Aula de Estudio del Lago de Sanabria (2024).

**Figura 3.**

*Disco de Secchi*



Nota.

<https://www.bing.com/images/search?q=disco+Secchi&go=Buscar&qs=ds&form=QBIDMH&first=1&cw=1257&ch=612>

**Tabla 1.**

*Propiedades físicas y composición bromatológica de la espirulina*

<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b> Composición: 100% micro-alga spirulina Apariencia: polvo fino y uniforme Color: Azul verde oscuro Olor: medio – fuerte Sabor: suave mente Densidad aparente: 0,35 – 0.55 kg/litro	<b>COMPOSICIÓN GRAL (en 10 g de spirulina)</b> Proteínas 55-70% Carbohidratos 15-25% Lípidos 4-7% Minerales 7-13% Humedad 3-7% Fibras 4-7%
<b>VITAMINAS (Cantidad x 10g)</b> Beta-caoteno 14 mg (Pro Vitamina A) 23000 UI Vitamina E (alfa-tocoferol) 1,00 mg Vitamina B1 (tiamina) 0,35 mg Vitamina B2 (rifboflavina) 0,40 mg Vitamina B3 (niacina) 1,40 mg Vitamina B6 (piridoxina) 80 mg	<b>AMINO-ÁCIDOS (Cantidades x 10 g)</b> Alanina 470 mg Arginina 430 mg Ácido Aspártico 610 mg Cisteína 60 mg Ácido Glutámico 910 mg Glicina 320 mg Histidina 100 mg

Vitamina B12	320 mcg	Isoleucina	350 mg
Inositol	6,40 mg	Leucina	540 mg
Folacina (Ácido Fólico)	1 mg	Lisina	290 mg
Biotina	0,50 mcg	Metionina	140 mg
Ácido Pantoténico	10 mcg	Fenilalanina	280 mg
<b>MINERALES</b>	100 mg	Prolina	270 mg
Calcio	80 mg	Serina	320 mg
Fósforo	40 mg	Treonina	320 mg
Magnesio	15 mg	Triptófano	90 mg
Hierro	90 mg	Tirosina	300 mg
Sodio	140 mg	Valina	400 mg
Potasio	300 mcg	<b>Total Aminoácidos</b>	6,20 g
Zinc	120 mcg		
Cobre	500 mcg	<b>ACIDOS GRASOS ESENCIALES</b>	
Manganeso	60 mcg	Linoleico	80 mg
Germanio	10 mcg	Gamma-lineolénico	100 mg
Selenio			
		<b>PIGMENTOS</b>	
		Ficocianina (azul)	1500 mg
		Clorofila (verde)	110 mg
		Carotenoides (naranja)	37 mg
<b>ACTIVIDAD ENZIMÁTICA</b>			
Superóxido dimutasa:	15000 unidades		

Nota. Datos tomados de (Argento & col, 2016)

## 2.9 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- **BIOMASA**

La biomasa es el conjunto de la materia orgánica, de origen vegetal o animal, y los materiales que proceden de su transformación natural o artificial (IDAE, 2020)

- **MICROALGA**

Una microalga es un organismo unicelular o un pequeño grupo de células que se caracteriza por ser microscópico y fotosintético (González, 2024)

- **ESPIRULINA**

La espirulina es un alga verde azulada que se caracteriza por ser rica en proteínas, vitaminas, minerales, carotenoides y antioxidantes. Su nombre científico es *Arthrospira* y es una cianobacteria unicelular filamentosa que habita en lagos alcalinos. (Chamorro y col, 2002)

- **DISCO SECCHI**

El disco Secchi es un instrumento que se usa para medir la turbidez, la visibilidad relativa y la profundidad de la luz en el agua. Su funcionamiento consiste en sumergirlo en el agua hasta que ya no se vea y medir la profundidad a la que desaparece. (Biologika, 2024)

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN**

La presente investigación se realizó en dos ambientes del Laboratorio de Acuicultura de la Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann; siendo:

1º Adaptación de la cepa y cultivo de la espirulina (*Arthrospira platensis*): llevada a cabo en el Laboratorio de Acuicultura ESIP, Cepario de Microalgas, Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera

2º Fase final se realizó también en el Laboratorio de Acuicultura ESIP, en la sala de cultivos auxiliares, compuesta, entre otros por tres birreactores, cuya capacidad es de 50 litros cada uno.

#### **3.2. TIPO, DISEÑO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

- Tipo: El empleado es de tipo cualitativo aplicado, experimental, dado que las variables se manipulan en los tratamientos diseñados para esta finalidad.
- Diseño: Diseño completamente al azar
- Nivel: Investigación aplica

**Tabla 2.**

*Tratamientos empleados para el diseño experimental en el cultivo de espirulina (Arthrospira platensis)*

<b>pH</b>	<b>TEMPERATURA</b>		
<b>pH</b>	<b>T°<sub>1</sub></b> <b>(T° Amb.)</b> (21°C a 29°C)	<b>T°<sub>2</sub></b> <b>(31 °C)</b>	<b>T°<sub>3</sub></b> <b>(37°C)</b>
<b>pH<sub>1</sub> (9,5)</b>	<b>T<sub>1</sub> x pH<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub> x pH<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>3</sub> x pH<sub>1</sub></b>
<b>pH<sub>2</sub> (10,5)</b>	<b>T<sub>1</sub> x pH<sub>2</sub></b>	<b>T<sub>2</sub> x pH<sub>2</sub></b>	<b>T<sub>3</sub> x pH<sub>2</sub></b>

Donde.

T°<sub>1</sub> es Temperatura ambiente (21°C a 29°C)

T°<sub>2</sub> es 31°C

T°<sub>3</sub> es 37 °C

pH<sub>1</sub> es 9,5

pH<sub>2</sub> es 10,5

Para todos los efectos se trabajó con 3 tratamientos y 3 repeticiones, con la finalidad de minimizar el error experimental. Todo ello con un grado de confianza del 95 %.

### 3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

En la tabla 3 adjunta se muestra los ítems que corresponde al cuadro de operacionalización de variables del presente proyecto:

**Tabla 3.**

*Operacionalización de variables*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA
<b>V.I.</b> <b>Condiciones de cultivo de la microalga espirulina (<i>Arthrospira platensis</i>)</b>	Las condiciones de cultivo son aquellos factores abióticos (T°, pH) o bióticos. (Hernández-Pérez y Labbé, 2014)	Factores abióticos y bióticos	Temperatura	°C
			pH	Unidades de pH, ácido o alcalino
			Conteo micro celular	Unidades de células
		Física	Transparencia	Unidades del disco Secchi en cm
<b>V.D.</b> <b>Cultivo de Espirulina</b>	La espirulina son microalgas de colores, textura característicos, alto valor nutricional. (Hernández-Pérez y Labbé, 2014)	• Características Físicas	Color, Aroma, Apariencia	Color verde azulado característico
		• Calidad productiva	Conteo total de unidades.	Unidades de células
		• Calidad nutritiva	Composición proximal.	Humedad, Proteínas, Lípidos, Carbohidratos, Cenizas.

### 3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.4.1 Población

La espirulina (*Arthrospira platensis*) procedente de la ciudad de Ica, tuvo un volumen 1 L.

### 3.4.2 Muestra

Se trató de una muestra atípica, debido a que la unidad experimental fue variando en cada fase, debido a la siembra y resiembra, según los tratamientos empleados. Así se inició con volúmenes de 200 ml, luego 500 ml, 1 L, 2 L, 6 L, 12 L, 25 L y finalmente de 50 L.

Por ello no se requirió realizar un muestreo específico, siendo conocida como muestra no probabilística o direccionada.

## 3.5. MATERIAL BIOLÓGICO, EQUIPOS, INSTRUMENTOS, Y REACTIVOS

### 3.5.1. Material biológico

Cepas de microalgas: espirulina (*Arthrospira platensis*) (forma líquida), procedentes de la empresa Inti Pacha, de la región Ica.

#### Nutrientes inicio

Bicarbonato de sodio	= 15 g/L
Sal marina	= 2 g/L
Nitrato de potasio	= 5 g/L
Sulfato de potasio	= 1g/L
Sulfato de magnesio	= 0,5 g/L

#### Nutrientes de reposición por cada Kg de cosecha

Bicarbonato de sodio	= 15 g/L
Sulfato de potasio	= 50 g
Urea	= 300 g
Soluc. de fierro	= 5 ml
Soluc. de fósforo	= 250 ml
Micronutrientes	= 5 ml

### 3.5.2 Equipos

Blowers de laboratorio (oxigenador), de 35 W, MODELO ACQ-003

Potenciómetro Hanna Checker (HI 98103), rango de 0,0 a 14,0 de pH. Precisión (a 20°C)  $\pm 0,2$  pH

Estufa (0 a 220 °C). Marca Memmert

Calentadores de agua, de 50 W, de 30 a 90 °C

Estanque fibra de vidrio tubular para cultivo capacidad 50L. Diámetro 40 cm x altura 180 cm.

Balanza Mecánica capacidad 5 kg.

Microscopio Serie B-380 (Optika).

Estantes metálicos de 0,40 x 1, 60 x 2,20 m

### **3.5.3. Instrumentos**

Disco Secchi de 3 cm de diámetro

Cámara Neubauer

Termómetro digital Tbt-10 h Rango de medida de 10 a 90 ° C

Portaobjetos x caja.

Laminilla x caja.

Matraces cónicos 250ml, 500ml y 100 ml

Botellones 7L y 20L.

Placas Petri.

Probetas 250ml, 500ml y 1L.

Pinzas universales.

Pipeta de 0,5mL, 1mL, 2mL, 5mL.

Frascos de vidrio x 100ml.

Pera Pipeteadora Universal Brand.

Gotero.

Lámparas fluorescentes de 36 w.

Tapones metálicos (papel aluminio).

Corchos de plástico.

Rotulador indeleble.

Hemocitómetros o Cámara de Neubauer.

Mechero Bunsen.

Malla tipo organza.

Mangueras para blowers x metros.

Unión "T" de plástico.

Baldes 5L y 20L.

Papel toalla.

#### **3.5.4. Reactivos**

Cloro (lejía 4,25%).

Etanol 96°.

Agua destilada.

Alcohol desinfectante en gel.

### **3.6. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

Con la finalidad de realizar el cultivo de la espirulina (*Arthrospira platensis*) se siguió el flujo de la figura 4, con algunas modificaciones.

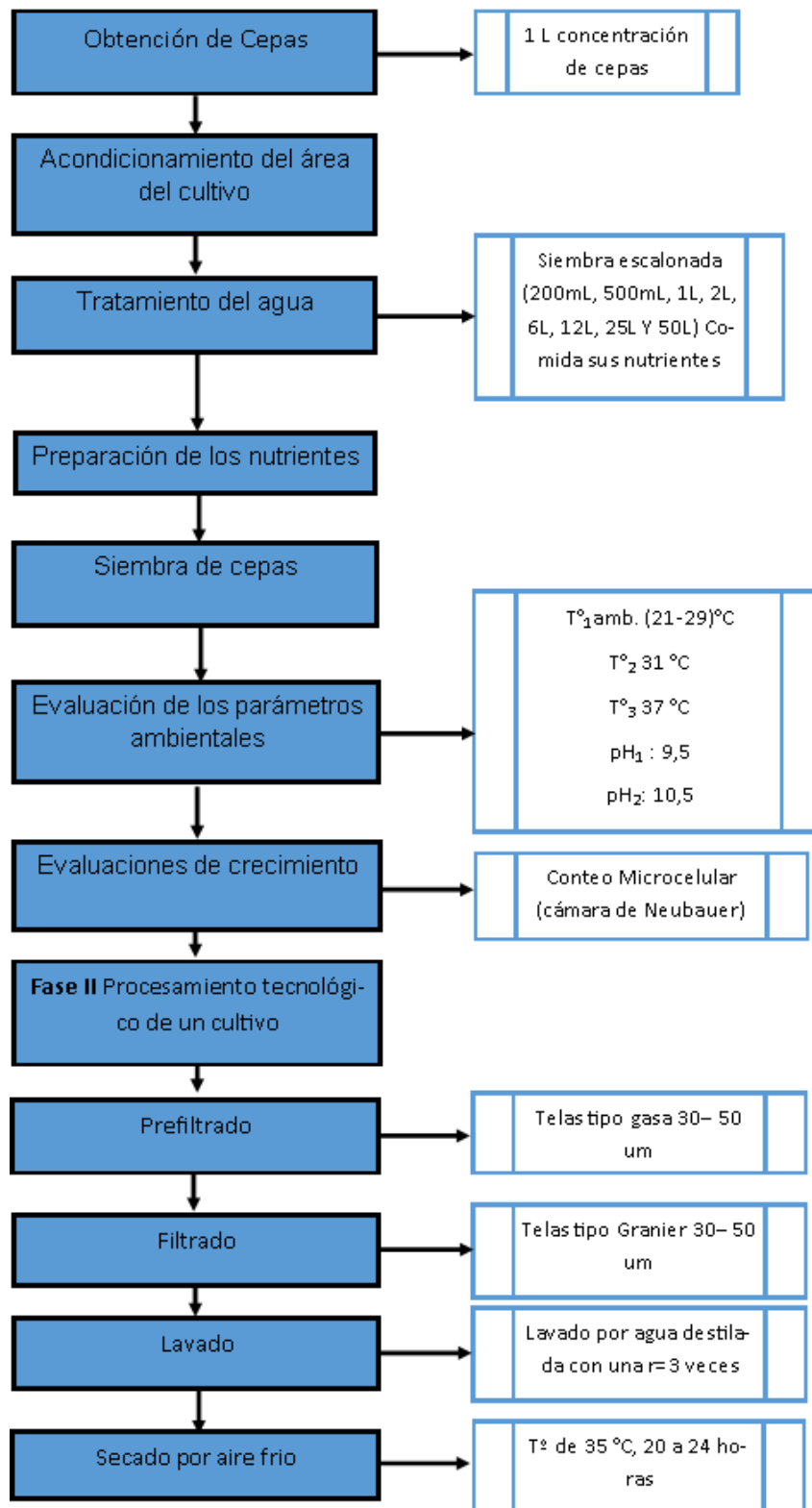
#### **3.6.1. Acondicionamiento del laboratorio para el cultivo de la espirulina (*Arthrospira platensis*).**

##### **I. Acondicionamiento de laboratorio.**

Para el acondicionamiento del laboratorio para el cultivo de la espirulina (*Arthrospira platensis*), se emplearon diversos materiales como: luces, estantes, materiales de vidrio, blowers, calentadores, potenciómetros, nutrientes y la cepa espirulina como se ve en la figura 5 y 6. Los cuales son para dar las condiciones correctas, para el proceso que se llevó en el Laboratorio de Acuicultura, cepario microalgas de la Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera. El objetivo de este acondicionamiento fue mejorar las posibles operaciones para este proceso con la finalidad de poder crear un ambiente adecuado para el cultivo de la espirulina (*Arthrospira platensis*) en un inicio del desarrollo del proyecto.

**Figura 4.**

*Flujograma del cultivo de la espirulina (Arthrospira platensis)*



**Figura 5.**

*Acondicionamiento del cepario microalgas del laboratorio de Acuicultura ESIP*



**Figura 6.**

*Acondicionamiento de estantería en el laboratorio cepario de microalgas ESIP*



## II. Instalación y operación de los equipos

Para la instalación de equipos se utilizó estantes metálicos y en cada nivel con sistema de luz, cableado y focos fluorescentes de 36 W. El objetivo de esta instalación fue dar un desarrollo óptimo del crecimiento, ya que la espirulina tiene reproducción asexual por fotoperiodo siendo muy necesaria la instalación de estos equipos luminarios, luego se instaló cada uno con su respectivo blower (aireadores), sus respectivos calentadores y dividirlo por sus respectivos tratamientos como se logra ver en la figura 7.

### Figura 7.

*Instalación de equipos en el laboratorio cepario de microalgas ESIP.*



## III. Acondicionamiento e instalación de blowers

En este punto se realizó la instalación de cada uno de los blowers (aireadores) como se ve en la figura 8 y 9, con el fin de que haya una agitación constante,

como se ve en fig. 9 ya que es un punto necesario para la aireación en el crecimiento de la espirulina, porque sin una constante agitación de la espirulina no tiene un desarrollo óptimo; sino se pudo generar un estrés en su crecimiento llevando a una mortalidad. En la figura 8 se puede ver la instalación final del blower.

**Figura 8.**

*Instalación de mangueras de aire para la espirulina (*Arthrospira platensis*).*



**Figura 9.**

*Instalación de blowers (aireadores) para la espirulina (*Arthrospira platensis*).*



**Figura 10.**

*Acondicionamiento final de blowers para la espirulina (*Arthrospira platensis*).*



**IV. Cultivo de la cepa espirulina (*Arthrospira platensis*).**

Se tomó registro de la espirulina procedente de la ciudad de Ica como se ve en la figura 11 y 12, donde se procede a colocarla en matraces, dividiéndolos en grupos controlados como se ve en la figura 12, para que pueda crecer y ver si es adaptable a este medio ambiente nuevo que se armó en el cepario, laboratorio de acuicultura ESIP. Se dividió en seis tratamientos y tres repeticiones cada uno y de manera escalonada hasta llegar, posteriormente, a estanques tubulares de fibra de carbono (biorreactores) con capacidad de 50 L. También en este proceso se preparó los nutrientes (19,3 g/L de la mezcla señalada anteriormente) que se tuvo que agregar cada tiempo de desdoble, que varió entre 13 a 30 días, según el volumen trabajado.

**Figura 11.**

*Acondicionamiento de la cepa espirulina (Arthrospira platensis).*



**Figura 12.**

*Inicio del cultivo y registro de crecimiento de la espirulina (Arthrospira platensis).*

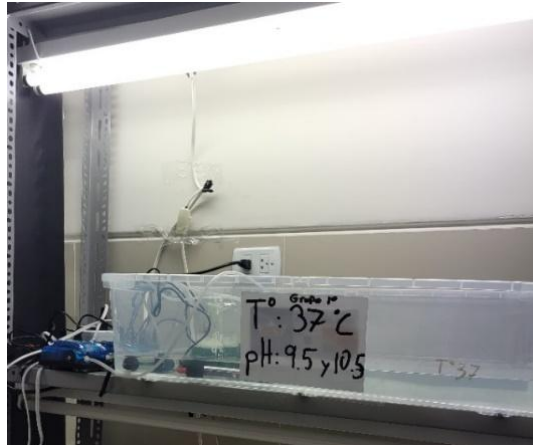


## V. Efectos abióticos para el cultivo de la espirulina (*Arthrospira platensis*).

En este punto se realizó la medición del pH y temperatura determinadas de la espirulina al principio diariamente para poder ver el desarrollo y crecimiento, teniendo en cuenta que la fase inicial se llevó en laboratorio cepario (fig. 13, 14 y 15) y posteriormente en biorreactores como se ven en la figura 15.

### Figura 13.

Control de la temperatura de la espirulina (*Arthrospira platensis*) en el cepario



### Figura 14.

Control del pH de la espirulina (*Arthrospira platensis*).



## VI. Observaciones del comportamiento de la espirulina (*Arthrospira platensis*).

El objetivo de la observación del comportamiento de la espirulina es ver desde la llegada de la espirulina a Tacna, su adaptación y crecimiento. En el proceso se presentaron diversas dificultades, como el lento crecimiento de la espirulina, posiblemente en un medio de laboratorio; también en un tratamiento hubo problemas con el pH, también hubo problemas con los calentadores que reventaron ya que se generaba una capa de sal que lo sobre calentaba, la luz artificial que se generaba mediante los focos no era suficientemente fuerte para su crecimiento e hizo que demorara mucho más de lo esperado, también habiendo una mortandad en los inicios del proyecto del 50% de los tratamientos. En la fase final de los biorreactores tuvo un crecimiento lento también, ya que no se generaba recepción de luz artificial y/o natural de manera directa. El ambiente era no adecuado para el crecimiento, por este motivo la espirulina se trasladó a otro laboratorio después de haber acabado el proceso de escalamiento en biorreactores como se logra ver en la figura 16 para que tuviera las cualidades óptimas para un desarrollo y no se generara más mortalidad. Finalmente se buscó obtener muestras de espirulina sólida seca para el proceso de análisis.

### Figura 15.

*Inicio del cultivo de espirulina (Arthrospira platensis).*



**Figura 16.**

*Final del cultivo de espirulina (Arthrospira platensis).*



**VII. Mediciones del cultivo de la espirulina (*Arthrospira platensis*)**

Se realizaron mediciones constantes y con mayor importancia del pH que no variará mucho porque fue un factor muy importante, ya que fue uno de los principales problemas que generó mortandad. También la temperatura para poder considerar que el tratamiento sea el correcto estipulado como se estableció en el proyecto inicial, cuyos resultados fueron plasmados en el informe final. En estos se utilizaron potenciómetro como se ve en la figura 17 que mide tanto la temperatura como el pH ya que el equipo multifacético que también se utilizó para medición de la temperatura y un Disco Secchi que mide la transparencia del agua con espirulina como se ve en la figura 18.

**Figura 17.**

*Medición de pH de la espirulina (Arthrospira platensis).*



**Figura 18.**

*Medición de transparencia de la espirulina (Arthrospira platensis), con disco Secchi.*



### **VIII. Anomalías observadas durante el cultivo de la espirulina (*Arthrospira platensis*).**

En esta observación se vio comportamientos anormales, ya que en el crecimiento fue normal en un tratamiento y en otro se generó un estrés considerable, que generó mortandad. Una de las posibles causas planteadas es el estrés de mantener un pH constante de 9,5 como se ve en la figura 19; contaminación posible de ese tratamiento por buscar tener un pH 9,5 y repitiendo el tratamiento por una segunda vez como se ve en la figura 21.

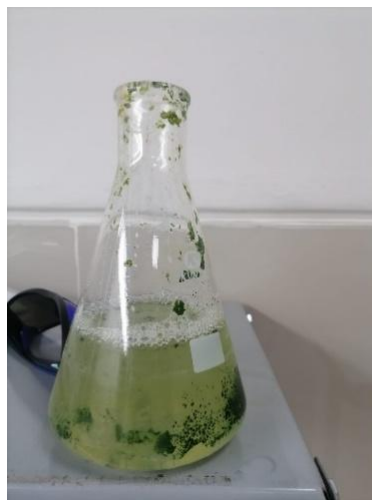
#### **Figura 19.**

*Mortandad de la espirulina (*Arthrospira platensis*) en tratamiento 1.*



#### **Figura 20.**

*Mortandad de la espirulina (*Arthrospira platensis*) en tratamiento 2.*



## **IX. Obtención de espirulina seca.**

Después de haber escogido la mejor cepa y colocado en el biorreactor se esperó que la transparencia del agua llegue a 1 cm (medida con el disco Secchi), y se filtró para la obtención de espirulina fresca, como se ve en la figura 21, poco a poco se repitió el filtrado para obtener muestra de espirulina fresca y poder obtener una materia prima de espirulina (*Arthrospira platensis*) considerable mediante la cosecha. En; en este punto hubo muchos imprevistos ya que la espirulina en los biorreactores generó mucho estrés y no se obtuvo buenos resultados para la obtención de espirulina fresca. Una posible alternativa de estrés es la agitación que se realizaba era muy fuerte y no se podía regular en menor medida haciendo que tenga un burbujeo espumoso donde el agua se evaporara mucho más rápido de lo normal y no dejaba una recolección de muestra eficaz (es su manera de reproducción, la espirulina llega a un tamaño máximo de 20 micras y se divide en 2 o 4 partes y va creciendo otra vez) y generó que hubiera una reducción considerable del cultivo de espirulina (*Arthrospira platensis*) en su volumen en los biorreactores por eso se optó utilizar otro medio de cultivo para poder darle mejores condiciones a la espirulina en otro laboratorio con una sensación térmica más favorable y agitación más controlada, mediante una pecera de forma rectangular alargada, con un mismo volumen de 50 L como el biorreactor y que volviera a desarrollarse de manera más adecuada, debido a que las muestras obtenidas en laboratorio eran muy pequeñas y en el secado solo se obtiene el 10% de la espirulina fresca. Como se ve en la figura 22 entra grandes volúmenes de espirulina, para luego tener pequeñas muestras de espirulina seca como se ve en la figura 23. La cantidad obtenida en cada cultivo en el bioreactor fue de 400 gramos de espirulina fresca.

**Figura 21.**

*Espirulina filtrada y fresca.*



**Figura 22.**

*Espirulina en secador de aire frío.*



**Figura 23.**

*Espirulina seca.*



### **3.6.2. Características físicas**

En la tabla 4 apreciamos las características físicas de la espirulina que se realizaron en la investigación y comparando con Farinango, 2014; teniendo en cuenta indicadores como color, apariencia y aroma.

**Tabla 4.**

*Características físicas de la espirulina.*

<b>Características Fís.</b>	<b>Tratamiento Experimental (1)</b>	<b>Farinango, 2014</b>
<b>Color</b>	Azul verdoso	Azul verdoso
<b>Apariencia</b>	Polvo fino	Polvo fino
<b>Aroma</b>	Planta marina	Planta marina

(1) Tratamiento 1, 2 y 3. Investigación experimental propia.

### **3.7. TÉCNICAS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN**

Las técnicas e instrumentos para recolectar la información (datos) están referidos a los métodos de análisis físicos y químicos, sensoriales, cuyos resultados fueron tabulados y posteriormente procesados empleando herramientas estadísticas descriptivas y estadística inferencial, donde se midió la variabilidad (CV, que corresponde a los tratamientos a emplear), Desviación Standard, medias de los mismos; que permitieron una confiabilidad o grado de confianza de un 95,00 %.

Se menciona las técnicas analíticas de laboratorio a emplearse:

- Determinación de parámetros abióticos, en los cultivos, tales como: Temperatura interna y externa de los medios de crianza o cultivo; determinación de pH. Empleo de termómetros calibrados y potenciómetro.
- Determinación de parámetros bióticos, en los cultivos, tales como: recuento celular en el microscopio, utilizando la cámara Neubauer, viéndose el crecimiento de células por volumen.
- Determinación del análisis proximal: Humedad, proteínas; extracto etéreo; carbohidratos totales, fibra cruda y minerales. –se emplearán los métodos oficiales de la AOAC (2017) Association of Official Agricultural Chemists.

### **3.8. TÉCNICAS PARA PROCESAR DATOS**

Las técnicas e instrumentos de los resultados de métodos de análisis físicos y químicos, sensoriales, cuyos resultados son tabulados y procesados empleando herramientas estadísticas descriptivas y estadística inferencial, donde se mida la variabilidad (CV, que corresponde a los tratamientos a emplear), Desviación

Standard, medias de los mismos; que permitan una confiabilidad o grado de confianza de un 95,00 %.

Se menciona las técnicas para procesar datos empleados:

- Temperatura, en los cultivos, tales como: Temperatura interna de los medios de crianza o cultivo. Empleo de termómetros.
- pH. - Medida del grado de acidez o alcalinidad de una sustancia o una solución. El pH se mide en una escala de 0 a 14. Se empleo de potenciómetro (peachímetro). El potenciómetro debe ser calibrado con patrón sustancia buffer tanto para el lado básico y ácido.
- Conteo microcelular. – recuento celular al microscopio, utilizando la cámara de Neubauer, crecimiento de células por volumen.
- Análisis proximal. - medición de proteínas, humedad, cenizas y grasas en la concentración de la espirulina, se emplea los métodos oficiales de AOAC (2017)
- Digestibilidad por pepsina. - es uno de los métodos enzimáticos utilizados cuando se desea evaluar la calidad proteica, para saber su mayor aprovechamiento para seres vivos.
- Transparencia. – La transparencia se mide con el Disco Secchi que se sumerge en un volumen de agua en la superficie y se calcula la profundidad a la que se deja de ver como medida de transparencia de la columna de agua, y que resultará de la turbidez (partículas y seres vivos) y de la propia extinción progresiva de la luz solar o artificial (específica para la longitud de onda de cada color) que penetra en la superficie de la lámina de agua., empleado por el disco Secchi. Estas se expresan en cm de profundidad del mismo. Enumeraciones altas señalan poca presencia de biomasa; numeraciones más bajas señalan un aumento de la biomasa.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

Se determinó las condiciones abióticas, temperatura y pH, que favorecieron el cultivo de microalga espirulina (*Arthrospira platensis*), bajo condiciones de laboratorio, en la región Tacna.

**Tabla 5**

*Cuadro esquemático para el resultado óptimo de espirulina.*

Medidas	Temperatura		
	Ambiente °C (21 a 29°C)	31 °C	37 °C
pH			
9,5	Ausencia de crecimiento	Ausencia de crecimiento	Ausencia de crecimiento
10,5	Crecimiento positivo	Crecimiento positivo	Crecimiento positivo

#### 4.1. Resultados: Objetivo específico 1

- Determinar los efectos abióticos: temperatura y pH en el cultivo de la microalga espirulina (*Arthrospira platensis*) cultivada bajo condiciones de laboratorio.

La finalidad de este objetivo fue observar la viabilidad de crecimiento y/o producción de masa celular de espirulina (*Arthrospira platensis*), para ello se tiene los resultados de la medición de la transparencia del cultivo, según el disco Secchi, los cuales se observan desde las tablas 6 hasta la tabla 13 (desde el día cero, hasta 11- 30 días, según el cultivo).

**Tabla 6.***Transparencia en 200 ml, pH 9,5.*

200ml	10/03/2022	-	27/03/2022			
pH 9,5	r1 densidad agua		r2 densidad agua		r3 densidad agua	
	Día cero	17avo día	Día cero	17avo día	Día cero	17avo día
T° 37 °C	5 cm	Muerte	5 cm	muerte	5 cm	muerte
T° 31 °C	5 cm	Muerte	5 cm	muerte	5 cm	muerte
T° Amb. °C	5 cm	Muerte	5 cm	muerte	5 cm	muerte

T° amb. = 21 a 29 °C

Se midió la transparencia con el Disco Secchi para tres repeticiones (r1, r2 y r3), en observación indirecta de la densidad poblacional, lo cual a su vez es un indicador del crecimiento celular de espirulina. Entendiéndose que, a menor visibilidad del Disco Secchi, indicará el desarrollo o aumento de población celular. Todo ello se realizó en un primer experimento medidos en un volumen de 200 ml de espirulina y un pH 9,5 y tres temperaturas diferentes. Aquí se observó un crecimiento inicial; sin embargo, no llegó al desdoble, entendiéndose que hay una mortandad al diecisieteavo día de cultivo. Este tratamiento con las mismas características, de pH 9,5, fue realizado (r2, r3) por segunda y tercera vez, hasta el dieciseisavo día de cultivo. Los resultados se repitieron igualmente sin obtener crecimiento alguno ver en la tabla 6, la figura 19 y 20.

**Tabla 7.***Transparencia en 200 ml, pH 10,5.*

200 ml	10/03/2022	-	21/03/2022			
pH 10,5	r1 densidad agua		r2 densidad agua		r3 densidad agua	
	Día cero	11avo día	Día cero	11avo día	Día cero	11avo día
T° 37 °C	5 cm	2 cm	5 cm	2 cm	5 cm	2 cm
T° 31 °C	5 cm	2 cm	5 cm	2 cm	5 cm	2 cm
T° Amb. °C*	5 cm	2 cm	5 cm	2 cm	5 cm	2 cm

T° amb. = 21 a 29 °C

La tabla 7 corresponde a un volumen de 200ml y un tiempo de producción de 11 días, con una medición de la transparencia con el disco Secchi. Esto indica inicialmente (día cero) una visibilidad de 5 cm hasta el día 11, disminuyendo a 2 cm de transparencia, lo cual significa que hubo desarrollo de biomasa.

**Tabla 8.***Transparencia en 500 ml, pH 10,5.*

500ml	21/03/2022	-	5/04/2022			
pH 10,5	r1 densidad agua		r2 densidad agua		r3 densidad agua	
	Día cero	15avo día	Día cero	15avo día	Día cero	15avo día
T° 37 °C	5,5cm	2 cm	5,5cm	2 cm	5,5cm	2 cm
T° 31 °C	5,5cm	2 cm	5,5cm	2 cm	5,5cm	2 cm
T° Amb.°C*	5,5cm	2 cm	5,5cm	2 cm	5,5cm	2 cm

T° amb. = 21 a 29 °C

La tabla 8 corresponde a un volumen de 500ml y un espacio de producción de 15 días, con una medición de la transparencia con el Disco Secchi lo cual indica inicialmente de 5,5 cm hasta al final en el día 15 tiene una transparencia de 2 cm.

**Tabla 9.***Transparencia en 1 L, pH 10,5.*

1 L	5/04/2022	-	5/05/2022			
pH 10,5	r1 densidad agua		r2 densidad agua		r3 densidad agua	
	Día cero	30avo día	Día cero	30avo día	Día cero	30avo día
T° 37 °C	5,5cm	2 cm	5,5cm	2 cm	5,5cm	2 cm
T° 31 °C	5,5cm	1,5 cm	5,5cm	1,5 cm	5,5cm	1,5 cm
T° Amb.°C*	5,5cm	3 cm	5,5cm	3 cm	5,5cm	3 cm

T° amb. = 21 a 29 °C

En la tabla 9 corresponde de un volumen de 1L y un espacio de producción de 30 días, con una medición de la transparencia con el Disco secchi lo cual indica inicialmente de 5,5 cm hasta al final en el día 30 tiene 1,5 cm de transparencia en el mejor resultado.

**Tabla 10.***Transparencia en 2 L, pH 10,5.*

2 L	5/05/2022	-	3/06/2022			
pH 10,5	r1 densidad agua		r2 densidad agua		r3 densidad agua	
	Día cero	28avo	Día cero	28avo	Día cero	28avo
T° 31 °C	4,5cm	2cm	4,5cm	2 cm	4,5 cm	2 cm

T° amb. = 21 a 29 °C

La tabla 10 corresponde a un volumen de 2 L y un espacio de producción de 28 días, con una medición de la transparencia con el Disco Secchi, desde el día cero inicialmente 4,5 cm hasta al final, día 28, con 2 cm de transparencia.

**Tabla 11.**

*Transparencia en 6L, pH 10,5.*

6 L	3/06/2022	-	17/06/2022			
pH 10,5	r1 densidad agua		r2 densidad agua		r3 densidad agua	
	Día cero	14avo día	Día cero	14avo día	Día cero	14avo día
T° 31 °C	4,5cm	2cm	4,5cm	2 cm	4,5cm	2 cm

La tabla 11 corresponde a un volumen de 6 L y un espacio de producción de 14 días, con una medición de la transparencia con el Disco Secchi inicialmente de 4,5 cm hasta al final, día 14 con 2 cm de transparencia.

**Tabla 12.**

*Transparencia en 12 L, pH 10,5.*

12 L	17/06/2022	30/06/2022
pH 10,5	r2 densidad agua	
	Día cero	13avo día
T° 31 °C	4,5cm	2,5cm

La tabla 12 corresponde a resultados en el biorreactor de 50 L. Se trabajó con un volumen de 12 L y un espacio de producción de 13 días, con una medición de la transparencia con el Disco Secchi inicialmente de 4,5 cm hasta al final, día 13 con 2,5 cm de transparencia.

**Tabla 13.**

*Transparencia en 25 L, pH 10,5.*

25 L	30/06/2022	21/07/2022
pH 10,5	r2 densidad agua	
	Día cero	21avo día
T° 31 °C	4,5 cm	3 cm

Los resultados de la Tabla 13 corresponden a un procedimiento en el biorreactor de 50 L con un volumen de

trabajo de 25 L. Se obtuvo una transparencia según Disco Secchi de 4,5 cm al final el día 21 se observó 2,5 cm.

**Tabla 14.***Transparencia en 50 L, pH 10,5.*

50 L	21/07/2022	17/08/2022
pH 10,5	r2 densidad agua	
	Día cero	27avo día
T° 31 °C	4,5 cm	1 cm

Los resultados de la Tabla 14 corresponden a un procedimiento en el biorreactor de 50 L con un volumen de trabajo de 50 L. Se obtuvo una transparencia según Disco Secchi de 4,5 cm (día cero) al final el día 21 se observó 2,5 cm.

#### 4.2. Resultado: Objetivos específicos 2

- Determinar la densidad poblacional en el cultivo de microalga espirulina (*Arthrospira platensis*) cultivada bajo condiciones de Laboratorio”

A continuación, se muestran, en la tabla 15, los resultados de la densidad poblacional del cultivo realizado en un volumen de 500 mL a pH 10,5 a 3 temperaturas diferentes.

El análisis estadístico reveló que no existen diferencias significativas, aunque a simple vista pareciera ser la existencia de una mejor opción a la temperatura 31 °C.

**Tabla 15.***Densidad Poblacional en 500 ml, pH 10,5.*

Densidad Poblacional de 500 ml			
pH 10,5	500mL	21/03/2022	5/04/2022
	r1 densidad poblacional	r2 densidad poblacional	r3 densidad poblacional
T° 37 °C	750x10 <sup>5</sup>	500 x10 <sup>5</sup>	450 x10 <sup>5</sup>
T° 31 °C	775 x10 <sup>5</sup>	700 x10 <sup>5</sup>	750 x10 <sup>5</sup>
T° Amb. °C	610 x10 <sup>5</sup>	610 x10 <sup>5</sup>	750 x10 <sup>5</sup>

T° amb. = 21 a 29 °C

En la tabla 15 se observa el crecimiento de la población en el cultivo, ver su forma física, para ver su mejor desarrollo y volumen poblacional a pH 10,5 y con 3 tratamientos

y 3 repeticiones, con un tiempo de crecimiento de 15 días, según se aprecia como el más alto en conteo la temperatura 31 °C.

Análisis estadístico de los resultados de densidad poblacional del cultivo de espirulina

**Tabla 16.**

*Densidad Poblacional en 1 L, pH 10,5.*

<b>Densidad Poblacional de 1 L</b>				
<b>pH 10,5</b>	<b>1 L</b>	<b>5/04/2022</b>	<b>5/05/2022</b>	<b>TOTAL</b>
	<b>r1 densidad poblacional</b>	<b>r2 densidad poblacional</b>	<b>r3 densidad poblacional</b>	
<b>T° 37 °C</b>	200 x10 <sup>6</sup>	153 x10 <sup>6</sup>	140 x10 <sup>6</sup>	164 x10 <sup>6</sup>
<b>T° 31 °C</b>	195 x10 <sup>6</sup>	180 x10 <sup>6</sup>	150 x10 <sup>6</sup>	<b>175 x10<sup>6</sup></b>
<b>T° Amb. °C</b>	162 x10 <sup>6</sup>	150 x10 <sup>6</sup>	150 x10 <sup>6</sup>	154 x10 <sup>6</sup>

T° amb. = 21 a 29 °C

En la tabla 16 se observa el crecimiento de la población en el cultivo, ver su forma física, para ver su mejor desarrollo y volumen poblacional a pH 10,5 y con 3 tratamientos y 3 repeticiones, con un tiempo de crecimiento de 30 días, según se aprecia como el más alto en conteo la temperatura 31 °C.

**Tabla 17.**

*Densidad Poblacional en 2 L, pH 10,5.*

<b>Densidad Poblacional de 2 L y T 31 °C</b>		
<b>5/05/2022</b>	<b>-</b>	<b>3/06/2022</b>
<b>r1 densidad poblacional</b>	<b>r2 densidad poblacional</b>	<b>r3 densidad poblacional</b>
140 x10 <sup>6</sup>	<b>160 x10<sup>6</sup></b>	132 x10 <sup>6</sup>

En la tabla 17 se observa el crecimiento de la población en el cultivo, ver su forma física, para ver su mejor desarrollo y volumen poblacional a pH 10,5 y con 1 tratamientos y 3

repeticiones, con un tiempo de crecimiento de 28 días, según se aprecia como el más alto en conteo la temperatura 31 °C y repetición 2.

**Tabla 18.**

*Densidad Poblacional en 6 L, pH 10,5.*

<b>Densidad Poblacional de 6 L y 31 °C</b>		
<b>3/06/2022</b>	-	<b>17/06/2022</b>
<b>r1 densidad pob.</b>	<b>r2 densidad pob.</b>	<b>r3 densidad pob.</b>
300 x10 <sup>6</sup>	<b>402 x10<sup>6</sup></b>	264 x10 <sup>6</sup>

En la tabla 18 se observa el crecimiento de la población en el cultivo, ver su forma física, para ver su mejor desarrollo y volumen poblacional a pH 10,5 y con 1 tratamientos y 3 repeticiones, con un tiempo de crecimiento de 14 días, según se aprecia como el más alto en conteo la temperatura 31 °C y repetición 2.

**Tabla 19.**

*Densidad Poblacional en 12 L, pH 10,5.*

<b>Densidad Poblacional de 12 L y 31°C</b>		
<b>17/06/2022</b>	-	<b>30/06/2022</b>
<b>r2 densidad pob.</b>		
	704 x10 <sup>6</sup>	

En la tabla 19 se observa el crecimiento de la población en el cultivo, ver su forma física, para ver su mejor desarrollo y volumen poblacional a pH 10,5 y con 1 tratamientos y 1 repeticiones, con un tiempo de crecimiento de 13 días, según se aprecia como el más alto en conteo la temperatura 31 °C.

**Tabla 20***Densidad Poblacional en 25 L, pH 10,5*

Densidad Poblacional de 25 L		
30/06/2022	-	21/07/2022
r2 densidad pob.	3625 x10 <sup>6</sup>	

Se determinó que el mejor crecimiento de la espirulina es a la temperatura de 31°C y pH 10,5, con un tiempo de duración de 13 días. Según se aprecia la r2 densidad poblacional es el más alto valor y utilizando como única muestra de las 3 repeticiones

**Tabla 21.***Densidad Poblacional en 50 L, pH 10,5.*

Densidad Poblacional de 50 L		
21/07/2022	-	17/08/2022
r2 densidad pob.	223 x10 <sup>8</sup>	
despues de cosecha densidad pobl.	480 x10 <sup>7</sup>	

En la tabla 21 se observa el crecimiento de la población en el cultivo, ver su forma física, para ver su mejor desarrollo y volumen poblacional a pH 10,5 y con 1 tratamientos y 1 repeticiones, con un tiempo de crecimiento de 27 días, según se aprecia como el más alto en conteo la temperatura 31 °C.

#### 4.3. Resultado: Objetivo específico 3

- Determinar el valor nutritivo de la microalga espirulina (*Arthrospira platensis*) cultivada bajo condiciones de laboratorio.

En la tabla 22 se muestra la comparación de los análisis proximales realizados en esta investigación y con otros 2 análisis proximales más de otras investigaciones.

**Tabla 22.**

*Análisis Proximal*

**ANÁLISIS PROXIMAL DE LA ESPIRULINA (*Arthrospira platensis*)**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>RESULTADO ESIP (1)</b>	<b>RESULTADO TEÓRICO (2)</b>	<b>RESULTADO ARGENTO (3)</b>	<b>RESULTADO FARINANGO (4)</b>
<b>Humedad %</b>	94,45%	7,50%	3-7%	5-7%
<b>Cenizas %</b>	0,81%	13,50%	7-13%	7-9%
<b>Proteínas %</b>	4,29%	71,50%	55-70%	55-70%
<b>Lípidos %</b>	0,16%	2,67%	4-7%	5-7%
<b>Carbohidratos %</b>	0,29%	4,83%	15-25	15-20%
<b>Total</b>	100%	100%		

(1) Resultados a base del Laboratorio de Tecnología pesquera ESIP

(2) Cálculos teóricos a base del resultado 1. ''

(3) Resultados: Argento & col. (2016)

(4) Resultados: Farinango (2014)

$$X = \frac{(y * (100 - humedad))}{(C + P + L + Ca)}$$

X= Resultado

y= parámetro a medir de ESIP.

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente proyecto de investigación para determinar las condiciones abióticas en el cultivo de la microalga espirulina (*Arthrospira platensis*), bajo condiciones de laboratorio, en la región Tacna, se evaluaron los parámetros por crecimiento, temperatura y pH. De acuerdo a lo obtenido por (Barreto & Delgado, 2021), acepta que su hipótesis planteada inicialmente, donde hubo un mejor crecimiento poblacional y rendimiento de proteínas de *S. platensis* en el nivel de pH 9, quien corroboró con el Análisis de Varianza y Prueba de Tukey, que confirmaron que el nivel de pH 9 fue superior a pH 10, evidenciándose diferencias significativas entre los mismos y con respecto al grupo control. (Barreto & Delgado, 2021), ya que en nuestro caso fue lo contrario ya que nuestro pH 10,5 fue mejor que el pH 9,5, ya que en este pH hubo una mortandad total en sus 3 tratamientos que se realizó con temperaturas de 37°C, 31 °C y Ambiente (21°C a 29°C), a diferencia del pH 10,5 que si cumplió el crecimiento hasta el objetivo final en sus 3 tratamientos de temperaturas de 37°C, 31 °C y Ambiente (21°C a 29°C).

En el caso de Rodriguez & Cuesta (2006) el su ensayo a pH 9,0 resultó ser el más adecuado en el incremento de la biomasa de su espirulina (*Arthrospira máxima*), bajo las condiciones establecidas que ellos aplicaron y en los ensayos a pH menos alcalinos resultaron poco benéficos para el desarrollo de la cianobacteria, ya que

no se obtuvo una buena producción de biomasa y en el ensayo a pH 10,2 que se presentaron tuvieron un menor incremento de biomasa, así como también propició una rápida caída en el cultivo, demostrando que pH extremadamente alcalino afectan significativamente el desarrollo de la espirulina que tuvieron en laboratorios de la Pontificia Universidad Javeriana de Colombia, Bogotá (Rodríguez & Cuesta, 2006). Por otro lado, al tratar de mantener un pH de 9,5 fue muy complicado ya que al día siguiente se disparaba por los carbonatos y salinidad que se usaba, también se da a conocer la diferencia de nutrientes, ya que en los 2 casos señalados el sustento de su alimentación principal es el bicarbonato de sodio y en nuestro caso fue una variedad de nutrientes y minerales que se agregó a parte del bicarbonato de sodio y sal yodada. Según (Rodríguez & Cuesta, 2006) los valores de pH de 8,2 y 8,6, se presentaron fases de adaptación más prolongadas (aproximadamente de 15h) que la correspondiente al control (12h) o ensayos evaluados con un pH de partida de 9,0, 9,4 y 9,8 la fase de adaptación fue menor, aproximadamente 8 h, 10 h y 9 h respectivamente, con respecto a la del control de 12 h; posiblemente porque las condiciones de alcalinidad favorecían de mejor manera el aumento progresivo de la biomasa. Para esta etapa es importante considerar el pH en el cual se presente un menor tiempo de adaptación, con el fin de obtener un mayor rendimiento en el periodo productivo ha asegurado que el intervalo óptimo de pH para una buena preservación en la viabilidad de las células de *Spirulina* spp. en un medio de 9,4 – 10,3, sin embargo los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que a un pH inferior al intervalo anterior (pH 9,0), se obtuvo la menor fase de adaptación con respecto a los valores establecidos para otros ensayos y para el caso del ensayo a pH 10,2, se presentó la fase de adaptación más prolongada (18 h) con respecto a todos los ensayos y al control, resultado indicativo de que las condiciones muy alcalinas tampoco son

favorables para el buen desarrollo del cultivo (Rodríguez & Cuesta, 2006). Por otro lado, se aplicó un uso de luz artificial con un periodo de 12 h tratando de simular en un ecosistema natural que se desarrolla la espirulina dando un crecimiento normal en el tratamiento de pH 10,5 llegando a la fase final del proyecto.

Según (Prada, 2024) en su trabajo de investigación, "Producción de *Arthrospira platensis* (Spirulina)", señala que la composición química de la Spirulina sp. en 100 g, tiene Humedad 4,05 g, Proteína 65,16 g, Grasa 7,17 g, Carbohidratos 8,98 g, Fibra 0,43 g y Minerales 7,0 g. donde en nuestro caso se obtiene de 200 gr de muestra en el Análisis proximal una Humedad 7,5%, Cenizas 13,50%, Proteínas 71,50%, Lípidos 2,67%, Carbohidratos 4,83% y una Digestibilidad por pepsina como indicador del aprovechamiento nutricional de recurso alimenticio siendo bastante elevado del 79,7%, dando un mayor valor en proteínas y aceptación para el cuerpo.

## CONCLUSIONES

1. Se logró determinar las mejores condiciones de la temperatura y pH según el diseño experimental planteado en el presente, siendo de 31°C y pH 10,5 para el cultivo de la espirulina (*Arthrospira platensis*).
2. La temperatura de 31 °C y pH 10,5 resulto ser la más adecuada para el cultivo espirulina (*Arthrospira Platensis*) en este proyecto de investigación.
3. La mejor densidad poblacional obtenida, fue de  $223 \times 10^8$  en un volumen de 50L y en relación de la transparencia se alcanzó la medida con Disco Secchi una distancia de 1 cm.
4. Los valores para la composición química proximal obtenida en el presente estudio para la espirulina fueron: siendo Humedad 7,5%, Proteínas 71,50%, Lípidos 2.67%, Carbohidratos 4,83%, Cenizas 13,50%. Además, el análisis de Digestibilidad por pepsina alcanzo los valores de 79,7% considerado para un buen aprovechamiento alimenticio.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda a futuros tesisistas investigar otros parámetros de crecimiento de la espirulina tales como fotoperiodo, grados de oxigenación, aspecto nutricional, no considerado en el informe.
- Realizar estudios comparativos con otros tipos de espirulina (*Arthrospira platensis*) con la espirulina (*Arthrospira maxima*) y la *Chlorella vulgaris*.
- Realizar estudios económicos o planes de negocios para un escalamiento y mejor oportunidad de la espirulina (*Arthrospira platensis*).
- *Se recomienda poder buscar fondos concursables del estado peruano como: PNIPA, PROCOMPITE, INNOVATE PERÚ y AGROIDEAS; ya que existen amplias posibilidades para generar una empresa en la forma de asociación o empresa.*

## BIBLIOGRAFÍA

AELS Aula de Estudio del Lago de Sanabria (2024). Disco de Secchi Un espacio didáctico de conocimiento y análisis científico de ecosistemas acuáticos de Zamora

<https://aulaestudiolagosanabria.info/Glosario%20de%20T%C3%A9rminos/disco-de-secchi/>

Andina. (2017). *Midis y Tacna firmarán compromiso para reducir la anemia y desnutrición infantil*. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-midis-y-tacna-firmaran-compromiso-para-reducir-anemia-y-desnutricion-infantil-692469.aspx>

AOAC (2017) Association of Official Agricultural Chemist, Official Methods of Analysis, Ed., Washington, D.C.

*Aquahoy*. (30 de ABRIL de 2013). Obtenido de Aquahoy: <https://www.aquahoy.com/i-d-i/valor-nutricional/17836-primer-perfil-quimico-de-las-cinco-microalgas-mas-consumidas-del-mundo>

Argento, F., Lezama, J. M., Sempere, C., y Van Lierde, F. (2016). *Factibilidad Técnica y Económica de la Producción de spirulina*. Buenos Aires, Argentina: ITBA.

Asero Farinango, L. N. (2014). "Obtención de la espirulina en polvo por secado al vacío para el enriquecimiento nutricional de los productos alimenticios". Universidad Central del Ecuador, Quito, Quito-Ecuador. Recuperado el 20 de enero de 2014, de <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/a3f14981-25e0-4792-a245-3410dbd1b37a>

Barreto, G., y Delgado, & C. (2021). *Cultivo de Spirulina platensis en diferentes niveles de pH y rendimiento de proteínas*. Lambayaque: Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo".

*Biologika*. (2024). Obtenido de Biologika: <https://biologika.co/products/disco-secchi-biologika#:~:text=Un%20disco%20secchi%20es%20un,de%20agua%20como%20r%C3%ADos%2C%20lagos.&text=USOS:%20Permite%20visualizar%20la%20claridad,de%20luz%20en%20el%20agua>.

Bulboa, C., y Olivares, C. (2008). *Manual técnico para modulo demostrativo: Cultivo de algas*. (F. d. Mar., Ed.) Carolina del Norte, Estados Unidos: Universidad Carolina del Norte.

Ciferri, O. (1983). "Spirulina, the edible microorganism". *Microbiological reviews* 47 (4): 551–578. PMC 283708

Chamorro, G., Salazar M., Gomes, K., Pereira, C., Ceballos, G y Castillo, L. (2002). Actualización en la farmacología de Spirulina (Arthrospira), un alimento no convencional. *scielo*.

Ecospirulina. (s.f.). *ecospirulina*. Obtenido de ecospirulina: <https://www.ecospirulina.es/mini-guia-espirulina/que-es-la-espirulina/>


- Farinango, L. N. (2014). "Obtención de la espirulina en polvo por secado al vacío para el enriquecimiento nutricional de los productos alimenticios".
- Fuentes, J. K. (2019). "Estudio comparativo del rendimiento de biomasa de dos tipos de *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros sp* microalgas utilizando diferentes tipos de luz para uso energético, en la región, Tacna". Tacna, Tacna, Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann Tacna.
- García Cubero, R. (2014). Producción de biomasa de microalgas rica en hidratos de carbono acoplada a la eliminación fotosintética de CO<sub>2</sub>. Obtenido de <https://digital.csic.es/handle/10261/101928>
- González, A. (2024). *Cajamar*. Obtenido de Cajamar: <https://www.cajamar.es/storage/documents/microalgas-1444391623-ca345.pdf>
- Hernández-Pérez, A., y Labbé, J. I. (2014). *Microalgas, cultivo y beneficios*. *Revista de biología marina y oceanografía* (Vol. 49(2)). Obtenido de <https://doi.org/10.4067/S0718-19572014000200001>
- Huarachi, R., Yapó, U., Dueñas, A., Soto, A. y González R. (2013). "Production of *Spirulina Platensis* (Cyanophyta) in conical photobioreactor tubules under laboratory conditions". En U. Y. Ronald Huarachi, *The Biologist* (págs. 217-227). Perú: Dialnet. Recuperado el 2 de Julio de 2013
- IDAE. (2020). Biomasa. Instituto para la diversificación y ahorro de energía. nión Europea. <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biomasa#:~:text=La%20biomasa%20es%20el%20conjunto,su%20transformaci%C3%B3n%20natural%20o%20artificial.>
- Jourdan, J.-P. (2000). *Cultivo artesanal de spirulina*. Francia: Le Castanet.
- Kaoud, (2015). Effect of spirulina platensis as a dietary supplement on broiler performance in comparison with prebiotics, Vol, 1 (2): 1-6, Science Arena Publications, <https://sciarena.com/storage/models/article/EMy0VBTQoTkOkiQzIK9cStz5MCIUJhPGZ1hCVSyKhUYSD0BixPrw62RrN4eS/effect-of-spirulina-platensis-as-a-dietary-supplement-on-broiler-performance-in-comparison-with-pr.pdf>
- Labaut, Y., Betancourt, C., Comas, A., Salvat, H. y Toledo, L. (2014), en *Microalgas bentónicas de la laguna La Redonda y su relación con las características del ecosistema* [https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/RIDUNRN\\_d2275b78b451c1fdb23923603a813fe9](https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/RIDUNRN_d2275b78b451c1fdb23923603a813fe9)
- López, E. P. (Enero-Abril de 2013). Superalimento para un mundo en crisis: Spirulina a bajo costo. *scielo*, 135-139. Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v31n1/art16.pdf>
- Luna, L. G. (2007). Microalgas: Aspectos ecológicos y biotecnológicos. *Revista Cubana de Química*, 3-20.

- Palacios Bohórquez, D. E. (2016). Efecto de los espectros de luz azul, roja y verde en la multiplicación celular y síntesis bioquímica de *Rhodomonas* spp. Y *Tetraselmis* spp. en condiciones in vitro. 77. (F. d. Naturales, Ed.) Guayana: Universidad de Guayaquil.
- Prada, R. G. (2024). “*Producción de Arthrospira platensis (Spirulina)*”. Ica: Universisda Nacional “San Luis Gonzaga”.
- Rodríguez, A. y Cuesta, T. (2006). *Evaluacion del ph en el cultivo DE Spirulina (Arthrospira)*. Bogota: Pontificia Universidad Javeriana.
- Romo Piñera, A. K. (2002). MANUAL PARA EL CULTIVO DE MICROALGAS. Obtenido de <http://biblio.uabcs.mx/tesis/TE1366.pdf>
- Serrano, A. R. y Triana, F. (2006). *Evaluacion del ph en el cultivo de Spirulina spp.(Arthospira)*. Bogotá. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8281/tesis261.pdf>
- Torres Badillo, R. G., y Flores Tomala, D. G. (2011). Control de procesos de energías renovables: proceso de producción de biodiesel usando algas. una alternativa para no afectar el ecosistema o la cadena alimentaria. Aspectos técnicos y económicos. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/20018>
- Wikipedia. (2024). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia: [https://es.wikipedia.org/wiki/Spirulina\\_\(g%C3%A9nero\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Spirulina_(g%C3%A9nero))
- Ynga, G., A ,(2011) “Cultivo Masivo de Microalgas en Biorreactores Verticales”. Tesis para obtener el título, profesional de Biólogo. UNAS.
- Zafra, T., A., Moya, M.J., Gonzales, V. F., Alayo, R.E., Briceño, V. V., Quispe R.E., Castro, A.J. y Vela, A.K.(2013). Cultivo experimental de *Arthrospira jeneri* con medio nutritivo de residuos de pescado. REBIOL 2013; 33(2): 84-89, Julio - Diciembre Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo. Perú.  
file:///C:/Users/USUARIO/AppData/Local/Temp/MicrosoftEdgeDownloads/c3f508b8-cf70-4322-b320-26b831a8935e/560-Texto%20del%20artículo-1203-1-10-20140526.pdf


## ANEXOS

### ANEXO 1 .

#### Análisis proximal de la espirulina cultivada en laboratorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA PESQUERA  
 LABORATORIO DE TECNOLOGÍA PESQUERA




**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**  
ANÁLISIS PROXIMAL

SOLICITANTE : **Diego Sebastián Sánchez Espinoza**  
 Proyecto de Tesis “ Condiciones Abióticas para el Cultivo de Microalga Espirulina (*Arthrospira platensis* ) , Bajo Condiciones de Laboratorio en la Región Tacna ”

MUESTRA: **Espirulina (*Arthrospira platensis* )**  
 FECHA DEL ANÁLISIS: **08 de julio del 2024**  
 METODOLOGÍA : **Según Normas de la AOAC 2017**

PARÁMETROS	RESULTADOS
Humedad %	94,45
Cenizas %	0,81
Proteínas Totales%	4,29
Lípidos Totales %	0,16
Carbohidratos Totales %	0,29



-----  
**MSc. Leonardo Sheron Ramírez**  
 Jefe del Laboratorio

### ANEXO 2 .

#### Análisis proximal de la espirulina cultivada en laboratorio

PARÁMETROS	RESULTADOS (Laboratorio ESIP)	RESULTADOS (Teóricos)
<b>Humedad %</b>	94,45	7,5
<b>Proteínas %</b>	4,29	71,50
<b>Lípidos %</b>	0,16	2,67
<b>Carbohidratos %</b>	0,29	4,83
<b>Cenizas %</b>	0,81	13,50
<b>TOTAL</b>	100,00	100,00

## ANEXO 3

### Análisis de Digestibilidad por Pepsina

LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA							
<i>Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos</i>							
<b>INFORME DE ENSAYOS</b> N° 003269 - 2024							
<b>SOLICITANTE</b>	: UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE G.						
<b>DIRECCIÓN LEGAL</b>	: AV. MIRAFLORES NRO. SN CERCADO (CIUDAD UNIVERSITARIA) TACNA - TACNA - TACNA						
	RUC: 20147796634      Teléfono: 952 913 350						
<b>PRODUCTO</b>	: ESPIRULINA ARTHROSPIRA PLATENSIS						
<b>NÚMERO DE MUESTRAS</b>	: Uno						
<b>IDENTIFICACIÓN/MTRA.</b>	: S.I.						
<b>CANTIDAD RECIBIDA</b>	: 558,9 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.						
<b>MARCA(S)</b>	: S.M.						
<b>FORMA DE PRESENTACIÓN</b>	: Envasado, la muestra ingresa en bolsa de polietileno, a -0,8 °C de temperatura.						
<b>SOLICITUD DE SERVICIO</b>	: S/S N°EN-001633 -2024						
<b>REFERENCIA</b>	: ACEPTACION TELEFONICA						
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	: 20/06/2024						
<b>ENSAYOS SOLICITADOS</b>	: FÍSICO/QUÍMICO						
<b>PERÍODO DE CUSTODIA</b>	: No aplica						
<b>RESULTADOS :</b>							
<b>ENSAYOS FÍSICOS/QUÍMICOS :</b>							
ALCANCE : N.A.							
<table border="1"><thead><tr><th>ENSAYOS</th><th>RESULTADO</th></tr></thead><tbody><tr><td>1.- Proteína (g / 100 g de muestra original) (Factor: 6,25)</td><td>5,6</td></tr><tr><td>2.- Digestibilidad por Pepsina (g / 100 g de muestra original)</td><td>79,7</td></tr></tbody></table>		ENSAYOS	RESULTADO	1.- Proteína (g / 100 g de muestra original) (Factor: 6,25)	5,6	2.- Digestibilidad por Pepsina (g / 100 g de muestra original)	79,7
ENSAYOS	RESULTADO						
1.- Proteína (g / 100 g de muestra original) (Factor: 6,25)	5,6						
2.- Digestibilidad por Pepsina (g / 100 g de muestra original)	79,7						
<b>MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO :</b>							
1.- AOAC 978.04 (A) Cap. 3, Pág. 28, 21st Edition 2019							
2.- Análisis de Piensos y Forrajes. MAX BECKER 1961							
FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 14/08/2024 Al 12/09/2024.							

## ANEXO 4

### Evidencia Fotográficas.

#### Figura24.

*Grupos de espirulina en inicios de tratamiento*



#### Figura 25.

*Medición de la densidad aparente de la espirulina (Arthrospira platensis)*



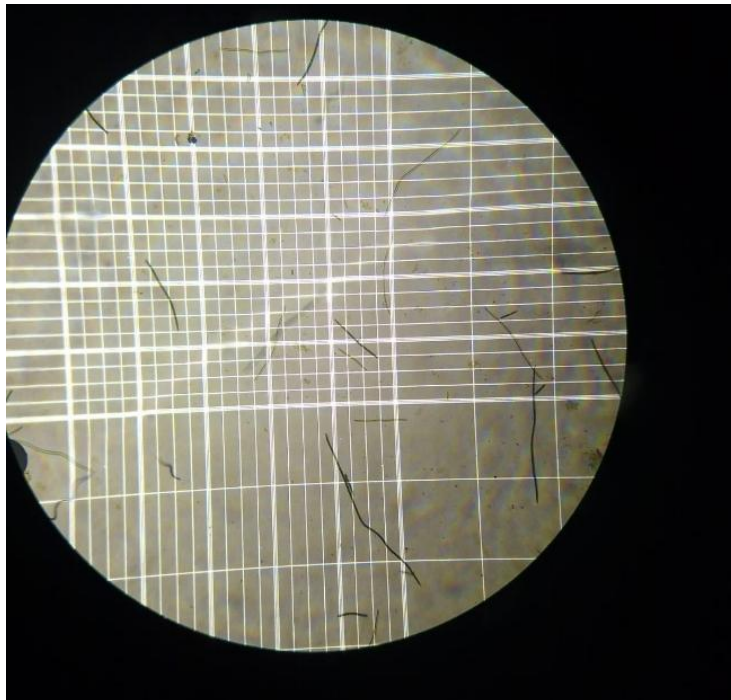
**Figura 26.**

*Espirulina (Arthrospira platensis)* vista al microscopio. (40X)



**Figura 27.**

Conteo poblacional con microscopio y en la cámara de Neubauer.



## Figura 28

Observando para el conteo poblacional de espirulina (*Arthorspira platensis*) con microscopio y en la cámara de Neubauer.



## ANEXO 5 .

### Análisis estadístico del objetivo 2.

Análisis estadístico de los resultados de tratamientos experimentales: cultivo de espirulina

```
GET DATA
  /TYPE=XL
  /FILE='D:\TESISTAS\Diego Sanchez\2024\ANVA.1.xls'
  /SHEET=name 'Hojal'
  /CELLRANGE=FULL
  /READNAMES=ON
  /DATATYPEMIN PERCENTAGE=95.0.
```

```
Advertencia. Nombre de comando : GET DATA
(2101) La columna no contenía ningún tipo reconocido; toma como valor
predeterminado "Numérico[8,2]"
* Columna 5
EXECUTE.
DATASET NAME ConjuntoDatos1 WINDOW=FRONT.
```

```
GET DATA
  /TYPE=XLS
  /FILE='D:\TESISTAS\Diego Sanchez\2024\ANVA.1.xls'
  /SHEET=name 'Hoja3'
  /CELLRANGE=FULL
  /READNAMES=ON
```

```

/DATATYPEMIN PERCENTAGE=95.0.
EXECUTE.
DATASET NAME ConjuntoDatos2 WINDOW=FRONT.
DATASET ACTIVATE ConjuntoDatos2.
DATASET CLOSE ConjuntoDatos1.
MEANS TABLES=TEMP VAR
/CELLS=MEAN COUNT STDDEV.

```

## Medias

### Resumen de procesamiento de casos

	Incluido		Casos Excluido		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
TEMP	9	100,0%	0	0,0%	9	100,0%
celulas	9	100,0%	0	0,0%	9	100,0%

### Informe

	TEMP	celulas
N	9	9
Media		164,44
Desv. Desviación		21,795

```

MEANS TABLES=TEMP VAR
/CELLS=MEAN COUNT STDDEV VAR
/STATISTICS ANOVA.

```

### Resumen de procesamiento de casos

	Incluido		Casos Excluido		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
TEMP	9	100,0%	0	0,0%	9	100,0%
celulas	9	100,0%	0	0,0%	9	100,0%

### Informe

	TEMP	celulas
N	9	9
Media		164,44
Desv. Desviación		21,795
Varianza		475,028

\*Nonparametric Tests: One Sample.  
 NPTESTS  
 /ONESAMPLE TEST (TEMP VAR)  
 /MISSING SCOPE=ANALYSIS USERMISSING=EXCLUDE  
 /CRITERIA ALPHA=0.05 CILEVEL=95 SEED=2000000.

### Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig. <sup>a</sup>	Decisión
1	Las categorías de TEMP se dan con las mismas probabilidades.	Prueba de chi-cuadrado para una muestra	1,000	Conserve la hipótesis nula.
2	La distribución de celulas es normal con la media 164 y la desviación estándar 21,795.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	,092 <sup>b</sup>	Conserve la hipótesis nula.

- a. El nivel de significación es de ,050.  
 b. Lilliefors corregido. Se muestra la significancia asintótica.

### Prueba de chi-cuadrado para una muestra

TEMP

### Resumen de prueba de chi-cuadrado de una muestra

N total	9
Estadístico de prueba	,000 <sup>a</sup>
Grado de libertad	2
Sig. asintótica (prueba bilateral)	1,000

- a. Hay 3 casillas (100%) con valores esperados menores que 5. El valor mínimo esperado es 3.

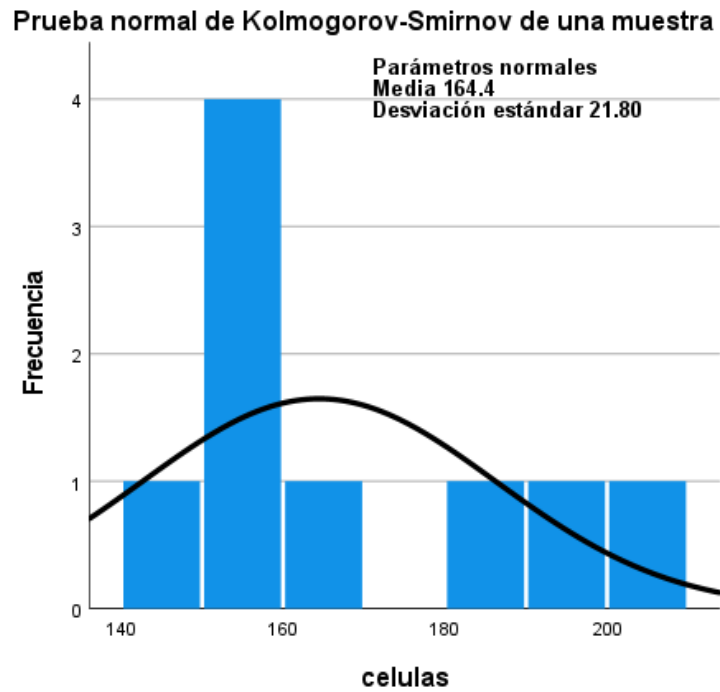
### Resumen de prueba normal de Kolmogorov-Smirnov de una muestra

N total	9	
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,256
	Positivo	,256
	Negativo	-,143
Estadístico de prueba	,256	
Sig. asintótica (prueba bilateral) <sup>a</sup>	,092	

- a. Lilliefors corregido

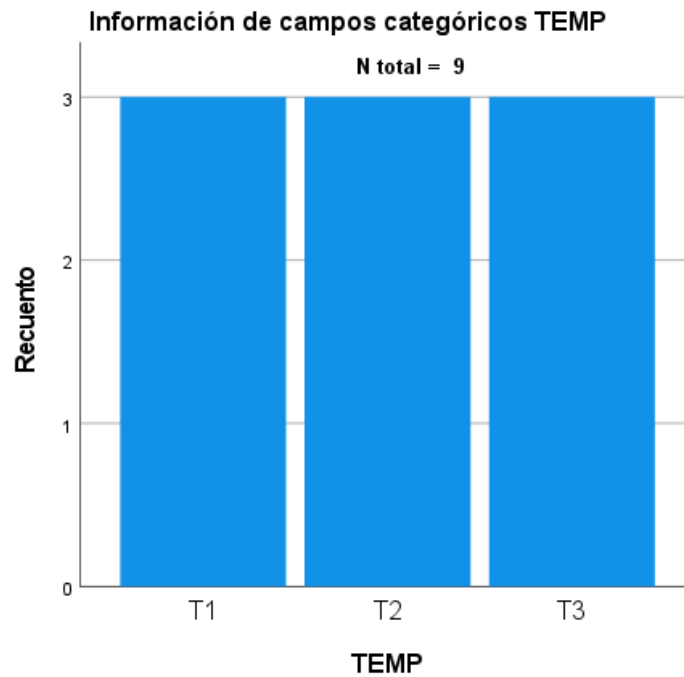
**Figura 29.**

*Prueba normal de Kolmogorov-Smirnov*



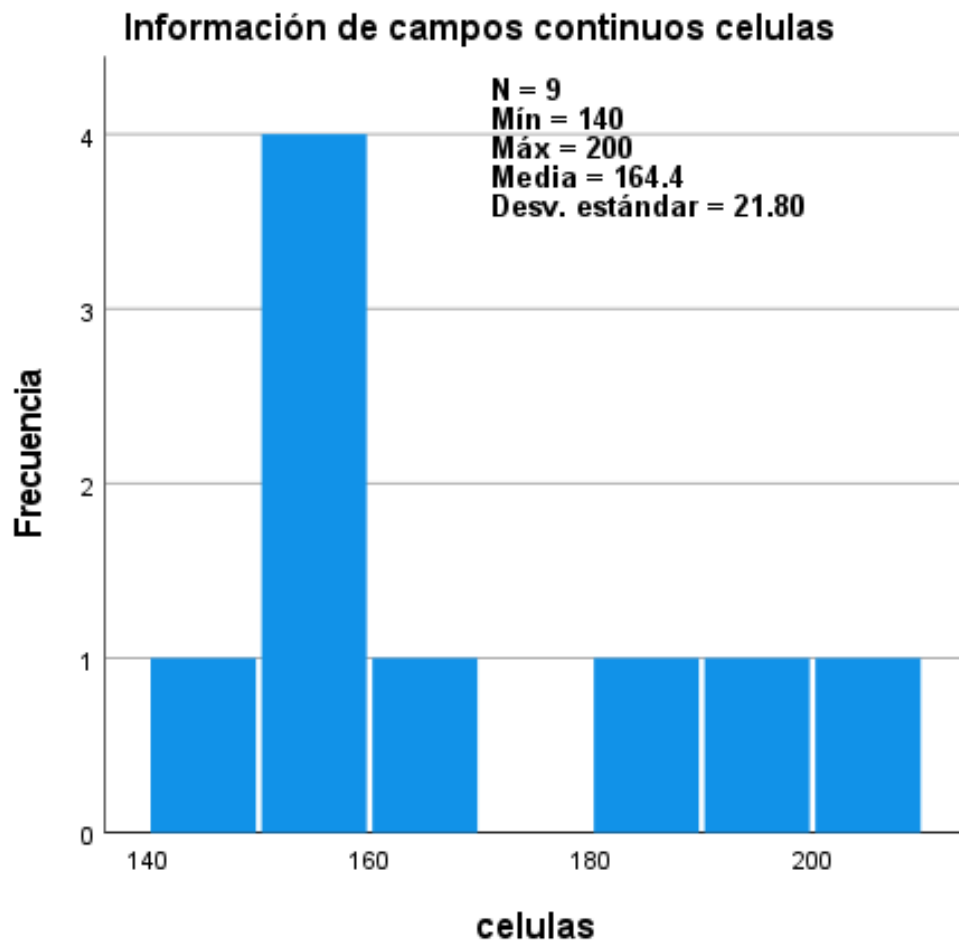
**Figura 30**

*Información de campos categóricos TEMP*



**Figura 31**

*Información de campos continuos celulas*



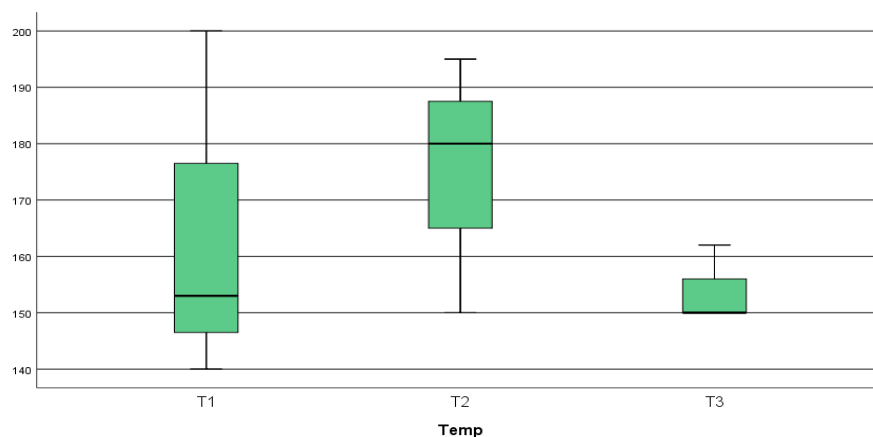
ANOVA (Análisis de varianza)

**ANOVA**

Var	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	661.556	2	330.778	0.632	0.563
Dentro de grupos	3138.667	6	523.111		
Total	3800.222	8			

**Figura 32.**

*Caja de bigotes de las medias de tratamientos en el cultivo de espirulina*



**ANEXO 6 .**

**Tabla de horario de medición de la Temperatura Ambiente**

N°	Mes	Día	Turno	Promedio horario de toma	Temperatura
1	Marzo	10-15	Mañana	7:30 am – 8:00 am	25,5°C – 27°C
2	Marzo		Tarde	12:30 pm – 1:00 pm	28°C – 29°C
3	Marzo	15-31	Mañana	7:30 am – 8:00 am	25°C – 26,5°C
4	Marzo		Tarde	12:30 pm – 1:00 pm	27,5°C – 29°C
5	Abril	1-15	Mañana	7:30 am – 8:00 am	24,5°C – 25,5°C
6	Abril		Tarde	12:30 pm – 1:00 pm	26,5°C – 28°C
7	Abril	15-30	Mañana	7:30 am – 8:00 am	24°C – 25,5°C
8	Abril		Tarde	12:30 pm – 1:00 pm	26,5°C – 27°C
9	Mayo	1-15	Mañana	7:30 am – 8:00 am	24,5°C – 26°C
10	Mayo		Tarde	12:30 pm – 1:00 pm	26°C – 27°C
11	Mayo	15-31	Mañana	7:30 am – 8:00 am	24,5°C – 26°C
12	Mayo		Tarde	12:30 pm – 1:00 pm	26°C – 27°C
13	Junio	1-15	Mañana	7:30 am – 8:00 am	23°C – 24,5°C
14	Junio		Tarde	12:30 pm – 1:00 pm	25°C – 26°C
15	Junio	15-30	Mañana	7:30 am – 8:00 am	23°C – 24,5°C
16	Junio		Tarde	12:30 pm – 1:00 pm	25°C – 26°C
17	Julio	1-15	Mañana	7:30 am – 8:00 am	21°C – 23°C
18	Julio		Tarde	12:30 pm – 1:00 pm	23°C – 25°C

19	Julio	15-31	Mañana	7:30 am – 8:00 am	21°C – 23°C
20	Julio		Tarde	12:30 pm – 1:00 pm	23°C – 25°C
21	Agosto	1-15	Mañana	7:30 am – 8:00 am	21°C – 23°C
22	Agosto		Tarde	12:30 pm – 1:00 pm	23,5°C – 25°C
23	Agosto	15-31	Mañana	7:30 am – 8:00 am	21°C – 23°C
24	Agosto		Tarde	12:30 pm – 1:00 pm	23,5°C – 25°C