



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
EVALUACION DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

PRODUCCIÓN DE “*Arthrospira platensis*” (SPIRULINA)

Presentado por:

RAI GABRIEL, PRADA QUISPE

Bachiller del nivel **PREGRADO** de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos. El resultado obtenido es **8 % de porcentaje de similitud** por el cual se otorga el calificativo de:

APROBADO

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

APROBADO OBTUVO EL 8% (MENOR AL 20% REQUERIDO)

Ica, 24 de septiembre de 2021

.....
JUAN MARINO ALVA FAJARDO
DIRECTOR DE UNIDAD DE INVESTIGACION
FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y DE
ALIMENTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA Y DE ALIMENTOS



“PRODUCCIÓN DE *Arthrospira platensis* (SPIRULINA)”

Línea De Investigación
Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnologías Sostenibles

TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
PESQUERO POR LA MODALIDAD DE EXAMEN DE SUFICIENCIA ACADEMICA

AUTOR

Bach. PRADA QUISPE, RAI GABRIEL

ICA – PERÚ

2024

DEDICATORIA

Dedico este trabajo monográfico a mi querido abuelo, quien fue una de las personas que me inspiro y motivo a alcanzar mis sueños y no rendirme jamás, a mis padres quienes estuvieron conmigo en todo momento y a todos los maestros que me influenciaron en mi carrera.

| ÍNDICE | |
|--|-----------|
| | Pág. |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. <i>Arthrospira platensis</i> (SPIRULINA) | 2 |
| 2.1. Características generales | 2 |
| 2.1.1. Clasificación taxonómica | 3 |
| 2.1.2. Hábitat. | 4 |
| 2.1.3. Reproducción | 4 |
| 2.1.4. Cinética de crecimiento | 4 |
| 2.2. Composición nutricional. | 5 |
| 2.3. Beneficios. | 9 |
| III. SISTEMAS DE CULTIVO | 10 |
| 3.1. Sistemas de cultivos abiertos | 10 |
| 3.1.1. Lagos y estanques naturales | 10 |
| 3.1.2. Sistemas inclinados | 10 |
| 3.1.3. Tanques circulares | 11 |
| 3.1.4. Raceways | 12 |
| 3.2. Sistemas de cultivos cerrados | 12 |
| 3.2.1. Fotobiorreactores en columna | 12 |
| 3.2.2. Fotobiorreactores planos | 13 |
| 3.2.3. Fotobiorreactores tubulares | 13 |
| IV. PRODUCCIÓN DE ESPIRULINA (<i>Arthrospira platensis</i>) | 15 |
| 4.1. Proceso tecnológico | 15 |
| 4.1.1. Medios de cultivo | 18 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2. Consideraciones generales durante el cultivo de microalgas | 19 |
| 4.2.1. Radiación | 19 |
| 4.2.2. Nutrientes | 19 |
| 4.2.3. Tiempo de retención | 19 |
| 4.2.4. Turbulencia | 19 |
| 4.2.5. Oxígeno disuelto y pH | 19 |
| 4.2.6. Carbono | 20 |
| 4.3.Productores de Spirulina en Perú | |
| 4.3.1. Acuícola Mares del Sur SAC. | 20 |
| 4.3.2. Alimenta algae SAC | 20 |
| 4.3.3. Andexs Biotechnology SRL | 21 |
| 4.3.4. Astaxlife Biotechnology EIRL | 21 |
| 4.3.5. Bioandexs Tech SRL | 21 |
| 4.3.6. Thesco SAC | 21 |
| 4.3.7. Universidad Católica de Santa María | 21 |
| V. CONCLUSIONES | 22 |
| VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 23 |
| VII. ANEXOS | 26 |

| ÍNDICE DE TABLAS | |
|---|------|
| | Pág. |
| TABLA I. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA <i>Arthrospira sp.</i> | 3 |
| TABLA II. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA <i>Spirulina sp.</i> en 100 g. | 6 |
| TABLA III. CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS DE LA <i>Spirulina sp.</i> POR CADA 10 g. | 6 |
| TABLA IV. CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS DE LA <i>Spirulina sp.</i> POR CADA 10 g. | 7 |
| TABLA V. ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES EN LA <i>Spirulina sp.</i> | 7 |
| TABLA VI. MINERALES EN LA <i>Spirulina sp.</i> en 10 g. | 8 |
| TABLA VII. COMPOSICIÓN VITAMÍNICA DE LA <i>Spirulina sp.</i> en 100 g. | 8 |
| TABLA VIII. MEDIO DE CULTIVO ZARROUK. | 27 |
| TABLA IX. MEDIO DE CULTIVO CON UREA | 28 |
| TABLA X. SOLUCIÓN 1 PARA EL MEDIO DE CULTIVO UTEX | 28 |
| TABLA XI. SOLUCIÓN 2 PARA EL MEDIO DE CULTIVO UTEX | 29 |

| ÍNDICE DE FIGURAS | |
|--|------|
| | Pág. |
| Figura 1. Cianobacteria <i>Arthrospira platensis</i> | 3 |
| Figura 2. Ciclo de vida <i>Arthrospira platensis</i> | 5 |
| Figura 3. Sistema inclinado | 11 |
| Figura 4. Tanque circular | 11 |
| Figura 5. Raceways | 12 |
| Figura 6. Fotobiorreactores en columnas | 13 |
| Figura 7. Fotobiorreactores planos | 13 |
| Figura 8. Fotobiorreactores en serpentina plano | 14 |
| Figura 9. Diagrama de flujo para la obtención de Spirulina (<i>Arthrospira platensis</i>) deshidratada | 16 |
| Figura 10. Estanque de cultivo de Spirulina | 30 |
| Figura 11. Agitado del medio de cultivo | 30 |
| Figura 12. Pelletizado de la biomasa húmeda | 30 |
| Figura 13. Secado de las hebras de Spirulina | 31 |
| Figura 14. Hebras de espirulina deshidratada | 31 |

I. INTRODUCCIÓN

La Spirulina es un producto de fácil producción, con un elevado contenido de proteínas, minerales, ácidos grasos y vitaminas, el cual tiene un mínimo impacto ambiental. [1]. Según, [2]. en la década de 1990 se impulsaron las iniciativas para producir algas destinadas para el consumo humano, debido a su gran aporte de proteínas, por ello es considerado como un superalimento.

La *Arthrospira platensis* conocida en el mercado bajo el nombre de Spirulina, es una microalga que presenta el color verde azulado que pertenece al grupo de las cianobacterias, siendo el organismo más estudiado por sus importantes beneficios. Esta especie puede adaptarse a distintas condiciones de cultivo, lo que no solo favorece a su adaptación al sistema de cultivo, sino que también incrementa su contenido de proteínas y aumenta la productividad de biomasa. Para el cultivo de Spirulina existen dos tipos de sistemas, el sistema cerrado y abierto. En nuestro país las empresas emplean mayormente el sistema Raceways debido a que su construcción es considerablemente más económica, aunque existen algunos inconvenientes para el control de los parámetros de cultivo, es imprescindible que se mantenga la temperatura óptima para el cultivo de la espirulina, la radiación necesaria para que pueda realizar el proceso de fotosíntesis y la agitación para que el cultivo pueda airearse y reciban la luz homogéneamente lo que permitirá su crecimiento. En cuanto al proceso de secado es importante recalcar que no debe de emplearse un secado agresivo ya que esto ocasionara que la espirulina pierda sus propiedades.

Por tal motivo el objetivo de la presente monografía es poder describir e informar a toda la comunidad de interés, la recopilación de información científica, la información recopilada describirá la producción de una cianobacterias de mucho interés comercial como es la *Arthrospira platensis*, comercialmente llamada como Spirulina.

II. *Arthrospira platensis* (SPIRULINA)

La espirulina es una microalga que pertenece al grupo de las cianobacterias, y tiene forma de filamentos no ramificados. En su composición proximal destaca su porcentaje de proteína entre 65 – 75 % aproximadamente, contiene aminoácidos esenciales que son indispensables para una dieta saludable, por lo cual se incluye como alimento de distintas especies desde insectos, crustáceos, peces, aves de corral, ganado vacuno y porcino e inclusive el hombre. Esta cianobacteria al ser incluida en mínimas porciones en la alimentación de los peces genera efectos positivos en el crecimiento, fisiología de la especie y resistencia a posibles enfermedades, como también una mejor calidad de la carne. Su cultivo se considera como una fuente de alimento alternativo debido a que su velocidad de crecimiento es mayor en comparación a los cultivos agrícolas, siendo parecido a los de algunos microorganismos como levaduras y bacterias, duplicando su biomasa en un aproximado de 3 a 5 días. Además de sus beneficios nutricionales, su cultivo muestra pocos limitantes, y se desarrolla fácilmente en aguas cálidas y altamente alcalinas, reduciendo la posibilidad de contaminación con otros microorganismos. Su pared celular es delgada y no tiene celulosa, haciendo fácil su digestión, a comparación de otras variedades de algas verdes. Las cosechas de espirulina no presentan dificultades, los estudios de toxicidad manifiestan que es inocua, lo que hace posible emplearla como complemento alimenticio de animales y de humanos [2].

Es necesario nombrar a las especies más conocidas del género *Arthrospira* como son *Arthrospira platensis*, *Arthrospira Maxima* y *Arthrospira Fusiformis*, de las cuales la *A. platensis* es la de mayor importancia industrial.

2.1. Características generales.

La cianobacteria *A. platensis*, conocida también como alga azul, o comercialmente como “Spirulina”, está compuesta por células que miden de 3.5 a 10 μm (milimicrones) de ancho y se colocan una junto a la otra. El filamento presenta forma de espiral y tiene un diámetro de 20 a 100 μm , o toma una forma recta en cultivos artificiales [3]. Dispone un grupo multicelular de tricomas cilíndricos, con una hélice abierta longitudinalmente a toda la estructura del filamento, Colla et al., [4].

En los cultivos cerrados como en los cultivos abiertos, la composición de la Spirulina está directamente relacionada a las condiciones del cultivo, incluyendo los factores

como pH, luminosidad, presencia de agentes contaminantes, temperatura, tipo de biorreactor, biomasa inicial y densidad poblacional. Radmann et al., [5].

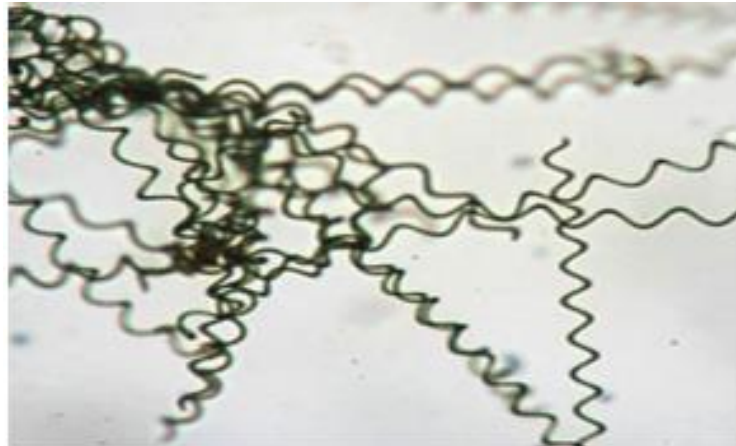


Figura 1. Cianobacteria *Arthrospira platensis*.
Fuente: [6].

2.1.1. Clasificación taxonómica.

La clasificación taxonómica de la *Arthrospira* (Spirulina), se muestra en la tabla 1. [7].

TABLA 1.

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA Arthrospira sp.

| Grupo | Nombre |
|-------------------|------------------------------|
| Reino | Bacteria |
| Phyllum | Cyanobacteria |
| Clase | Cyanophyceae |
| Sub clase | Oscillatoriophyceidae |
| Familia | Phormidiaceae |
| Género | <i>Arthrospira</i> |
| Especie | <i>Platensis</i> |
| Nombre científico | <i>Arthrospira platensis</i> |

Fuente: [7]

2.1.2 Hábitat.

Esta microalga crece en regiones con elevadas concentraciones de salinidad, por lo que su cultivo es perfecto para llevarse a cabo en zonas costeras incluso en zonas secas. Para su desarrollo la *Arthrospira* necesita aguas alcalinas con un pH alrededor de 9 a 11, pudiendo aumentar su contenido de proteína hasta 5 veces más en comparación a la carne y un contenido balanceado de los aminoácidos a diferencia de las otras especies de algas [8].

La temperatura y el pH son componentes considerablemente importantes, ya que a temperaturas inferiores a los 15 °C impide el desarrollo de esta especie, mientras que un descenso en el pH puede originar que el cultivo sea afectado por la proliferación de bacterias o algas oportunistas. La luz es otro parámetro considerable en el cultivo de *Arthrospira*, ya que el proceso de fotosíntesis se refuerza con el aumento de la intensidad de la luz hasta lograr su máxima tasa de crecimiento [9].

2.1.3. Reproducción.

Su reproducción inicia cuando los valores de temperatura del cultivo exceden los 20 °C., alcanzando su parámetro óptimo entre los 35 y 38 °C para poder lograr la velocidad de crecimiento máxima. De la misma manera nivel de pH óptimo para el cultivo de esta especie es de 8 a 11. [1].

2.2.4 Cinética de crecimiento.

La *Arthrospira platensis* presenta 4 fases en su crecimiento, las cuales se detallan a continuación [10].

- a. **Fase de adaptación.** El cultivo de esta especie se adapta a las condiciones establecidas, la tasa de crecimiento es mínima, y aumenta progresivamente con el tiempo de cultivo y la capacidad biológica de adaptarse de la cepa empleada.
- b. **Fase de crecimiento exponencial.** El cultivo de *A. platensis* se ha adecuado a las condiciones de su desarrollo. Se produce la multiplicación celular hasta que las células se ocultan una sobre otra, lo que provoca una disminución en el ingreso de la luz originando una inhibición en su crecimiento. La pérdida de nutrientes ocasiona una interferencia en la respiración celular.
- c. **Fase estacionaria.** Se produce el descenso de la tasa de crecimiento, la entrada de luz en las células es limitado, y la respiración celular

aumenta. Debido al metabolismo oxidativo de la especie, disminuye la biomasa. En esta fase se alcanza la máxima concentración de biomasa aproximadamente, logrando generar un balance entre la concentración máxima y la pérdida de la biomasa.

- d. Fase de muerte.** Las *A. platensis* van reduciéndose, librando materia orgánica en su ambiente de crecimiento. Esta última etapa se caracteriza por presentar un reducido ingreso de luminosidad y nutrientes [10].

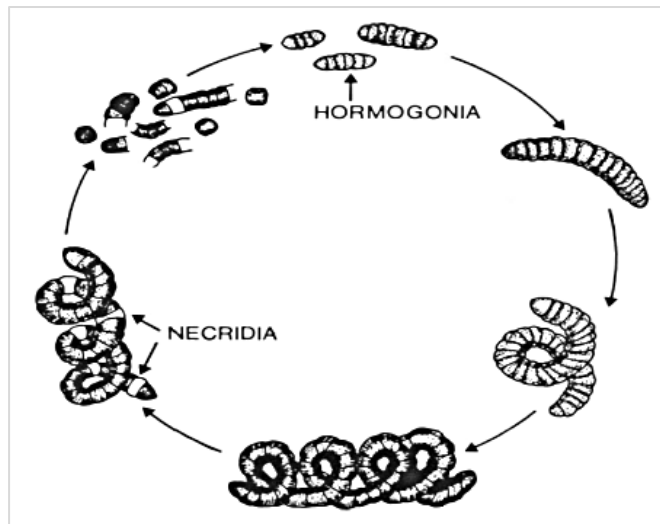


Figura 2. Ciclo de vida *Arthrospira platensis*.
Fuente: [11]

2.2. Composición nutricional.

La FDA de Estados Unidos (Administración de alimentos y medicamentos) ha clasificado diferentes productos de *Arthrospira* seca nombrándolos como “Generally Recognized as Safe” (GRAS) o generalmente conocidos como seguros para el consumo humano. [12].

La Spirulina contiene los más importantes principios nutritivos tanto en cantidad como en calidad, presenta proteínas (aminoácidos esenciales), minerales, vitaminas, etc.

Según [10] la calidad nutritiva de una proteína está definida por los aminoácidos presentes en su composición, la cantidad, la proporción y disponibilidad de la misma. Las microalgas son consideradas como una fuente importante de proteína. A su vez la Spirulina es rica en vitaminas especialmente las del complejo B y B12. [13].

TABLA II.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA *Spirulina sp.* en 100 g.

| Componente | Cantidad |
|------------------|--------------|
| Valor energético | 361.09 Kcal. |
| Humedad | 4.05 g. |
| Proteína | 65.16 g. |
| Grasa | 7.17 g. |
| Carbohidratos | 8.98 g. |
| Fibra | 0.43 g. |
| Minerales | 7.0 g. |

Fuente: [14].

TABLA III.

CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS DE LA *Spirulina sp.* POR CADA 10 g.

| Aminoácidos esenciales | Cantidad |
|------------------------|----------|
| Fenilalanina | 280 |
| Isoleucina | 350 |
| Leucina | 540 |
| Lisina | 290 |
| Metionina | 140 |
| Triptófano | 90 |
| Treonina | 320 |
| Valina | 400 |

Fuente: [14] .

TABLA IV.

CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS DE LA *Spirulina sp.* POR CADA 10 g.

| Aminoácidos no esenciales | Cantidad |
|---------------------------|----------|
| Acido aspártico | 610 |
| Ácido glutámico | 910 |
| Alanina | 470 |
| Arginina | 430 |
| Cisteína | 60 |
| Glicina | 320 |
| Histidina | 100 |
| Prolina | 270 |
| Tirosina | 300 |
| Serina | 320 |

Fuente: [14].

TABLA V.

ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES EN LA *Spirulina sp.*

| Ácidos grasos esenciales | g./100 g. |
|---------------------------|-----------|
| Ácido palmítico | 0.46 |
| Ácido palmitoleico | 0.10 |
| Ácido oleico (Omega 9) | 0.009 |
| Ácido linoleico (Omega 3) | 0.19 |
| Ácido gama - linolénico | 0.32 |
| Ácido esteárico | 0.02 |
| Ácido mirístico | 0.004 |

Fuente: [14].

TABLA VI.

MINERALES EN LA Spirulina sp. EN 10 g.

| Minerales | Cantidad |
|-----------|----------|
| Calcio | 100 mg. |
| Hierro | 15 mg. |
| Zinc | 300 µg |
| Fosforo | 90 mg. |
| Magnesio | 40 mg. |
| Cobre | 120 mg. |
| Sodio | 60 mg. |
| Potasio | 160 mg. |
| Manganeso | 500 µg |
| Cromo | 28 µg |
| Selenio | 2 µg |

Fuente: [14].

TABLA VII.

COMPOSICIÓN VITAMÍNICA DE LA Spirulina sp. EN 100 g.

| Vitaminas | Cantidad |
|----------------------|-----------------|
| Provitamina A | 0.11 – 0.20 g. |
| Niacina B3 | 0.014 mg. |
| Tiamina B1 | 3.00 – 4.00 mg. |
| Riboflavina B2 | 2.50 – 3.50 mg. |
| Cobalamina B12 | 0.15 – 0.25 mg. |
| Vitamina K | 2.20 mg. |
| Vitamina E | 5.00 – 7.00 mg. |
| Ácido fólico B9 | 4.00 – 5.00 mg. |
| Ácido pantoténico B5 | 0.50 – 0.80 mg. |
| Biotina B7 | 5.00 µg |

Fuente: [13]

2.3. Beneficios.

Esta cianobacteria posee propiedades inmunológicas, antioxidantes, antivirales y antitóxico, ya que facilita en la eliminación de metales pesados. [15].

- Suplemento anti-envejecimiento debido a la fácil digestión y a los antioxidantes.
- Fuente de hierro asimilable.
- Presenta una mínima cantidad de grasas saturadas.
- Rica en ácidos grasos saturados que no pueden encontrarse en huevos, carne o lácteos.
- Baja en calorías.
- Eficaz contra anemia, desmineralización y agotamiento.
- Ayuda a recuperar la forma física, energía y a desintoxicar el organismo.

III. SISTEMAS DE CULTIVO

El cultivo de la especie *Arthrospira platensis* conocida comúnmente como Spirulina es la más investigada mundialmente en distintos medios nutritivos y condiciones de parámetros fisicoquímicos, debido a que puede ser cultivada de manera extensiva, semi intensiva e intensiva y a puede ser empleada como alimento en las dietas de peces y humanos. [16].

Existen dos tipos de sistemas de cultivos de la espirulina, el sistema de cultivo abierto y el sistema de cultivo cerrado o también conocido como sistema por fotobiorreactor. Los sistemas abiertos no presentan protección del medio ambiente y están más expuestos a una posible contaminación de los factores ambientales como también a la contaminación procedente de insectos, roedores, etc. Los cultivos cerrados presentan una mayor protección del ambiente con la finalidad de disminuir la probabilidad de contaminación y optimizar las condiciones ambientales como la temperatura del cultivo.

3.1.Sistemas de cultivos abiertos.

Los sistemas de cultivos abiertos no presentan protección frente a las condiciones ambientales, por lo que son más propensas a contaminación del aire, a las aves, a los insectos, a la lluvia, etc. Este sistema ha sido durante muchos años el más utilizado por su menor costo y la mayor duración de las construcciones empleadas para realizar este cultivo. Existen 4 clases principales de sistemas de cultivos abiertos: Lagos y estanques naturales, sistemas inclinados, tanques circulares y raceways. [17].

3.1.1. Lagos y estanques naturales.

Existen lagos y estanques que presentan oprimas condiciones para el desarrollo de la Spirulina. Este sistema es el más sencillo, ya que no se necesita invertir ningún tipo de coste, pero a su vez no permite realizar un control de las condiciones ambientales, por lo cual la producción es limitada. [18].

3.1.2. Sistemas inclinados.

Debido a la inclinación que presenta el sistema se genera una turbulencia necesaria para obtener una producción eficaz de Spirulina. [17].

Este tipo de sistema presenta algunos problemas debido a que en los puntos donde la agitación es mínima ocurre una sedimentación de las algas y una elevada tasa de pérdida de CO₂. También requiere una gran cantidad de energía para poder realizar el proceso de bombeo desde la parte inferior a la parte superior del sistema. [19].



Figura 3. Sistema inclinado.

Fuente: [19].

3.1.3. Tanques circulares.

Los tanques circulares han dejado de ser empleados por las plantas comerciales debido al costo que representa su construcción y a que generan un elevado gasto de energía, que son necesarios para movilizar los brazos mecánicos que agitan el cultivo. [19].



Figura 4. Tanque circular.

Fuente: [19].

3.1.4. Raceways.

Este sistema es el más utilizado por las plantas comerciales de producción de Spirulina y su construcción es considerablemente económica. El tipo más sencillo es un tanque de fondo ovalado y poco profundo, sus paredes pueden ser construidas de cualquier material resistente y se le colocara una lámina impermeable (mayormente liner). Una de las desventajas de los raceways es que los tanques no pueden ser operados con niveles de agua por encima de los 15 cm. ya que ocasionan una disminución del flujo y la turbulencia. [19].



Figura 5. Raceways.

Fuente: [19].

3.2. Sistemas de cultivos cerrados.

La dependencia de las condiciones ambientales es el principal inconveniente en los cultivos. Por ello, surge la necesidad de crear un sistema que se fundamentó en la construcción de reactores cerrados que mantengan las condiciones de cultivo regulares en todo momento. Se denomina fotobiorreactor a todo aquel sistema en el que presente una separación física y transparente entre el cultivo y el ambiente que lo rodea, lo que permite un mayor control de las condiciones del cultivo. [18].

3.2.1. Fotobiorreactores en columna.

Son aquellos de construcción sencilla, que se basan en la columna de burbujeo de material transparente. Este fotobiorreactor presenta algunos inconvenientes como la pérdida de captación sola en las horas del día, ya que al ampliar su diámetro crece la zona oscura (zona central de la columna) disminuyendo la productividad. [17].



Figura 6. Fotobiorreactores en columnas.
Fuente: [17].

3.2.2. Fotobiorreactores planos.

Este método es el más empleado para producir organismo fototróficos en laboratorios, ya que permiten medir la irradiación en la superficie fácilmente. Se complica su construcción si los fotobiorreactores son demasiado largos por la complejidad que presenta su geometría para soportar la presión hidrostática. Aunque puedan inclinarse son dispositivos de forma vertical por lo que dependen del burbujeo para captar luz durante el día. [17].



Figura 7. Fotobiorreactores planos.
Fuente: [19].

3.2.3. Fotobiorreactores tubulares.

Estos fotobiorreactores son los más actuales. Si bien son dispositivos más sofisticados y especializados, también son más costosos que los anteriores. Estos modelos buscan la simplicidad y economía a la vez intentan optimizar su producción aprovechando el suelo y la radiación solar. Existen tres tipos de

fotobiorreactores tubulares que son los helicoidales, en serpentina plano o vertical y en forma de árbol de navidad. [17].



Figura 8. Fotobiorreactores en serpentina plano.
Fuente: [17]

IV. PRODUCCIÓN DE *Arthrospira platensis* (SPIRULINA)

En la actualidad la Spirulina es un producto posicionado en la categoría de consumo humano en Perú. [20]. Es comercializado en su mayoría por tiendas minoristas de productos naturales, bajo el formato de capsulas y en polvo. El producto se obtiene de las importaciones de países como China, EE.UU., México, Chile; creciendo en los últimos años un 8 % al año. [21]. Considerando que un 90 % de los peruanos está dispuesto a pagar un poco más para adquirir un producto que sea beneficioso para la salud. [22].

Teniendo en cuenta todos los beneficios que proporciona la Spirulina (*Arthrospira platensis*), no solo por su importante valor nutricional, sino también por sus diversas bondades; es que podemos considerar un futuro favorable en relación a su demanda y cultivo en nuestro país, sea para consumo directo o incluido en los procesos de distintas industrias.

4.1. Proceso tecnológico.

Independientemente de la tecnología empleada en el cultivo de *Arthrospira Platensis*, los métodos de las operaciones deben de ser óptimas para conseguir eficiente disposición de luz, mínimas pérdidas de CO₂, y una eficiente eliminación de oxígeno generado. [23].

La producción de spirulina inicia con el cultivo de la microalga, continuamente la etapa de filtrado, prensado, pelletizado, secado y finalmente empaquetado del producto.

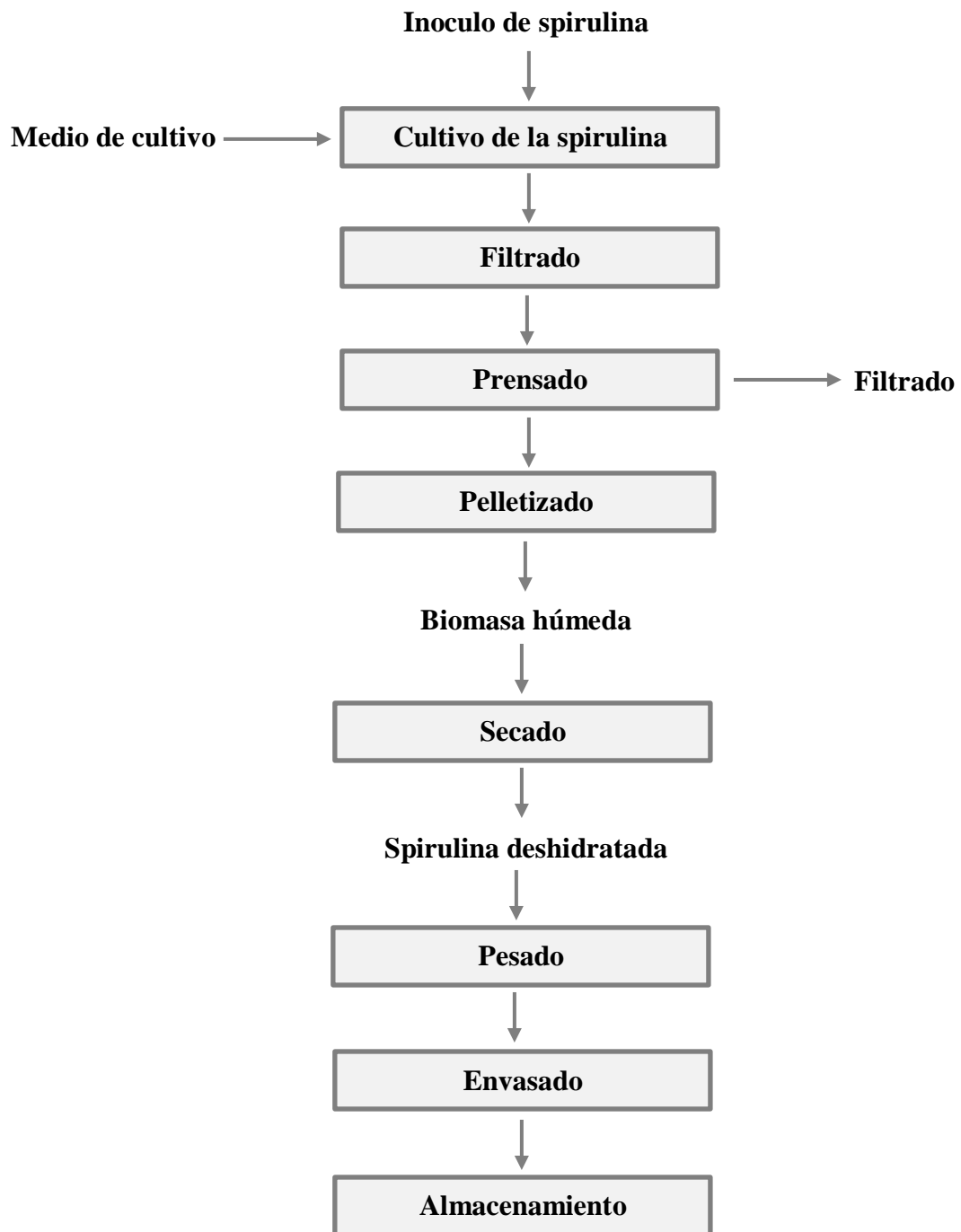


Figura 9. Diagrama de flujo para la obtención de Spirulina (*Arthrospira platensis*) deshidratada. Fuente: [24].

a. Inoculo para el cultivo.

Se selecciona y establece el medio de cultivo en donde se realizará el mantenimiento de la cepa *Arthrospira platensis* y cosecha de biomasa microalgal. Teniendo en cuenta que el inoculo (cultivo madre) es la primera fase para la producción de spirulina, esta es preparada en un laboratorio para luego ser inoculado en los estanques.

b. Cultivo de la spirulina.

El cultivo se realiza cuando la Spirulina sp. llega a su fase de crecimiento de máxima estacionaria. Debido a que es una especie que se reproduce por bipartición al momento de la cosecha se extrae del sistema de cultivo aproximadamente la mitad del medio, el cual pasara al proceso de filtrado dejando la parte restante recirculando desde la parte inferior del estanque hasta la parte superior con la ayuda de los agitadores lo cual permite que la spirulina se oxigene y les de la luz necesaria para realizar el proceso de la fotosíntesis.

c. Filtración.

En esta etapa se cosecha la parte superficial del estanque y se coloca en unos soportes que son los filtros o mallas de filtrado con un tamaño de 40 micras, de tal manera que el agua que excede cae al estanque, una vez que se obtiene una especie de pasta de espirulina se procede a la siguiente etapa.

d. Prensado.

La parte solida de la spirulina que se queda en la malla de filtrado será llevada a una maquina prensadora para poder reducir su cantidad de humedad.

e. Pelletizado.

En esta etapa la lámina de espirulina, pasara por una máquina de pelletizado, obteniendo el producto en forma de pellets o filamentos.

f. Secado.

Los pellets son llevados al horno de secado, por un tiempo aproximado de 4 a 5 horas a una temperatura alrededor de 40 - 45 °C, de tal manera que el producto contendrá una humedad de hasta 4 – 5%.

g. Envasado.

El producto obtenido será pesado y consecutivamente envasado en bolsas de aluminio con cerrado hermético, evitando el ingreso de oxígeno.

h. Almacenamiento.

El producto final será almacenado en una zona habilitada, de baja humedad, la cual cumple con todos los requisitos necesarios para que el producto se conserve en las mejores condiciones y consecutivamente a su comercialización.

4.1.1. Medios de cultivo.

- **Medio de cultivo Zarrouk.**

Es el primer medio formulado para el cultivo de espirulina y usado actualmente. Este medio fue establecido en el año 1966, y estudios anteriores establecen que algunos componentes presentan una alta concentración de nutrientes por lo que pueden ser diluidos. Radmann E. et al. [5]. El medio se muestra en la tabla 8. (Anexo A). El sulfuro es componente de algunos aminoácidos esenciales al igual que de vitaminas y sulfolípidos, por lo tanto, ayuda al crecimiento del alga. El bicarbonato actúa como fuente de carbono y a su vez regula la alcalinidad del cultivo. La spirulina por ser una cianobacteria no-diazotrófica necesita nitrógeno en el medio principalmente suministrado por el NaNO_3 , el cual es indispensable para el crecimiento y sus concentraciones no deben ser inferiores a 2.5 g. / L. Raouf *et al.*, [25].

- **Medio de cultivo urea.**

Este medio consta básicamente de una fuente de carbono y una de nitrógeno, es básicamente bicarbonato y urea como se muestra en la tabla 9 (Anexo B). La urea conocida también como carbonildiamida, cuya fórmula química es representada por $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$. Es una sustancia higroscópica es decir que posee la capacidad de absorber agua de la atmósfera. [26].

La urea como fuente de nitrógeno para el cultivo de la spirulina aumenta la producción y el contenido de clorofila. La urea se hidroliza a amoníaco en un medio básico y en concentraciones elevadas puede llegar a ser tóxica, a su vez el amoníaco puede causar problemas en la nutrición del alga debido a su volatilidad, lo cual podría solucionarse al adicionar urea continuamente. Danesi et al., [27].

- **Medio de cultivo UTEX.**

Se recomienda que en este medio se prevenga la formación de precipitados preparando dos soluciones las cuales están descritas en las tablas 10 y 11 (Anexo C). Después de preparar las dos soluciones, se debe traspasar la solución 2 en la solución 1 y mezclar por completo, para una mejor conservación del medio se sugiere mantenerlo a bajas temperaturas. [28]-

4.2. Consideraciones generales durante el cultivo de microalgas.

4.2.1. Radiación. [29]. se debe tener en cuenta que la energía luminosa es un limitante del crecimiento durante el proceso de fotosíntesis, por lo que la distribución de energía debería de ser homogénea para obtener una máxima productividad.

4.2.2. Nutrientes. El nutriente más importante en cultivo de microalgas después del carbono es el nitrógeno, que es agregado como nitrato (NO_3^-) o como amonio (NH_4^+). [30]. y es un factor indispensable en las microalgas para la regulación de lípidos. (Park *et al.* 2011). El fósforo cumple una importante función en la formación de ácidos nucleicos y transferencia de energía, por ello que la ausencia de este en el medio de cultivo crea una limitación en el crecimiento. [29].

4.2.3. Tiempo de retención. El tiempo de retención es el tiempo que transcurre entre cada suministro de nuevo medio de cultivo. Lo más recomendable sería que el tiempo de retención sea el mismo que necesitan las algas para consumir todo su medio de cultivo. [31].

4.2.4. Turbulencia. La turbulencia es un factor importante, ya que mediante este proceso se produce la oxigenación del medio de cultivo, optimización de la fotosíntesis, homogenización de los nutrientes, además del aporte de CO_2 para el crecimiento celular. Alveal *et al.* [32].

4.2.5. Oxígeno disuelto y pH. Un intenso proceso de fotosíntesis durante el día origina la saturación de oxígeno en el cultivo en valores superiores al 200 %. [29] y Park *et al.* [33]. concluyen que a una saturación de oxígeno entre 200 y 300 % se ve afectada la productividad de la biomasa microalgal reduciéndola en un 17 y 25 %. [31]. establecen que, a elevadas intensidades de luz, sobresaturación de oxígeno y falta de dióxido de carbono en el cultivo se

ocasiona el fenómeno de fotooxidación provocando la muerte de las microalgas.

El factor pH en el medio de cultivo es un delicado aspecto, debido a que la ingesta de carbono inorgánico por las algas eleva el pH del medio y desplaza el equilibrio hacia los carbonatos. Las algas al no usar el carbonato pueden tener limitaciones en su crecimiento. [31].

4.2.6. Carbono. Si el cultivo es alimentado con suficiente CO₂ se incrementa su producción de distintas formas. Para el cultivo las principales fuentes de carbono inorgánico están conformadas por el dióxido de carbono libre y el bicarbonato. Sin embargo, es más económico el dióxido de carbono debido a que ingresa a la célula por difusión caso contrario del bicarbonato que lo hace por transporte activo, por lo que para mejorar la producción es más recomendable incorporar CO₂. [31].

4.3. Productores de Spirulina en Perú.

La Spirulina en nuestro país es empleada mayormente como un aditivo alimenticio y tiene dos presentaciones como son capsulas o en polvo. Debido al aumento de su demanda es que las empresas peruanas han presentado un gran interés en el negocio del cultivo, cosecha, secado y en la venta de esta microalga. A continuación, se muestra una lista de las principales empresas que trabajan con esta microalga.

4.3.1. Acuícola Mares del Sur SAC.

Empresa dedicada al cultivo, cosecha y repoblamiento de algas marinas. Realiza actividades de repoblación, comercialización, elaboración de productos de valor agregado y áreas de investigación. La Spirulina que produce está dirigida principalmente a los mercados de productos naturistas.

Los clientes principales son: Pluspetrol, Municipalidad de Ventanilla, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Copeinca, Ministerio de la Producción, ICU y Austral.

4.3.2. Alimenta algae SAC.

Esta compañía es parte del grupo Alimenta, el cual está dedicado a la comercialización de huevos, cultivo de palta y cultivo de Spirulina (Alimenta algae). Se encuentra ubicada en el desierto del departamento de Ica.

4.3.3. Andexs Biotechnology SRL.

El centro de operaciones de esta empresa se encuentra ubicada en Arequipa y está dedicada al cultivo de microalgas, a la atracción de carotenos y alimentos nutritivos, con una capacidad de 300 Kg. /mes.

La marca comercial de su producto spirulina es Bionutrec y la comercializa a nivel nacional en forma de comprimidos y capsulas.

4.3.4. Astaxlife Biotechnology EIRL.

Esta empresa realiza las actividades de cultivo, cosecha y venta de spirulina en presentaciones de capsulas y polvo dirigidas para el consumo humano.

4.3.5. Bioandexs Tech SRL.

La empresa Bioandexs, se encuentra ubicada en la ciudad de Arequipa, y está dedicada a la innovación, investigación y desarrollo de productos biotecnológicos. Uno de los productos que produce y comercializa es la espirulina empleando biorreactores tipo “Race ways”. Para el cultivo de esta microalga emplea una cepa de origen peruano que es recolectada de la laguna Orovilca.

4.3.6. Thesco SAC.

Compañía con sede en Pucusana, dedicada a la producción de espirulina en biorreactores cerrados para el mercado de peces ornamentales, con la marca SUMAQPET.

4.3.7. Universidad Católica de Santa María:

Universidad arequipeña que cuenta con su propia planta de cultivo de espirulina para la comercialización de capsulas en botica, farmacias y tiendas de productos naturistas. [34].

V. CONCLUSIONES

La spirulina es una microalga que presenta un elevado contenido proteico por eso es considerado como un complemento alimenticio.

Se debe mantener un continuo control de los parámetros del sistema de cultivo (luz, temperatura, agitación, etc.) para asegurar un alto rendimiento de la biomasa microalgal.

El proceso de secado se debe de realizar bajo los parámetros de temperatura de 40 °C – 45 °C por un tiempo aproximado de 4 a 5 horas para mantener las propiedades nutritivas del producto.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Rodríguez, A. y Triana, F. (2006). Evaluación del pH en el cultivo de *Spirulina* spp. (*Arthrospira*) bajo condiciones de laboratorio. Tesis para optar el Título de Microbiólogo Industrial. Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.
- [2] FAO. (2008). Cultivo de *Spirulina máxima* para suplemento proteico, Fundación CIPAV, 1(1), pp. 17-21. Recuperado de: <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/lrrd/lrrd1/1/gloria.htm>. FAO, (2016). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma., p.224. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5555s.pdf>.
- [3] Desmorieux H., Decaen N., (2005). Convective drying of *Spirulina* in thin layer. EN: Journal of Food Engineering. Vol. 66; p. 497-503.
- [4] Colla L.M., Reinehr C.O., Reichert C., Costa J.A.V., (2007). Production of biomasa and nutraceutical compounds by *Spirulina platensis* under different temperature and nitrogen regimes. EN: Bioresource Technology. Vol 98; p. 1489-1493.
- [5] Radmann, E. *et al.* (2007). Optimization of the repeated batch cultivation of microalga *Spirulina platensis* in open raceway ponds. EN: Aquaculture. Vol 265; p. 118-126.
- [6] Saitama, O. (2010). DOGAN *Arthrospira platensis*. Disponible en: <http://www.bio.nite.go.jp/dogan/project/view/SP2>
- [7] Vonshak, A., & Tomaselli, L. (1996). *Arthrospira* (*Spirulina*): Systematics and Ecophysiology. En *The ecology of Cyanobacteria*". Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Holland.
- [8] DESAI Krutika, SIVAKAMI Subramanian. (2006). *Spirulina*, the wonder food of the 21st Century. EN: Asia Pacific Biotech News. Vol. 8, No. 23; p. 1298-1302.
- [9] AST Ingeniería, (2013). Aplicaciones de las microalgas. AST Ingeniería S.L.
- [10] Becker, E. & Venkataram, L., (1982). Biotechnology and exploitation of algae the Indian Approach. GTZ. Agency for Technical Cooperation.
- [11] Ciferri *et al.* (1983).
- [12] Bohórquez S., (2016). Propuesta gastronómica nutricional a base de granada (*Punica granatum*) y espirulina (*Arthrospira platensis*) [Tesis de Investigación]. [Lima, Perú.]: Universidad San Ignacio de Loyola.

- [13] Zambrano, C. (2005). Producción de biomasa y contenido de ácidos grasos en *Spirulina* bajo diferentes concentraciones de fosforo reactivo soluble (FRS) y fotoperiodo. Tesis Maestría. Facultad de Ciencias. Pontificia Universidad Javeriana, 52-57.
- [14] Le Bour (2015 y Citado por Mendoza K. S., (2017). Muffins de chocolate con relleno de mermelada de kiwi enriquecida con spirulina (*Arthrospira platensis*). Universidad Nacional de san Agustín de Arequipa.
- [15] (Misbahuddin, 2013).
- [16] Zafra, A. *et al.* (2013) Cultivo experimental de *Arthrospira jenneri* con medio nutritivo de residuos de pescado. Red Biol. 33(2), pp. 6-8. Disponible en: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/faccbiol/article/view/560/523>.
- [17] Janes, A. (2019). Proyecto de diseño de una planta para la producción de cianobacterias (*Arthrospira platensis*) en fotobiorreactores. Disponible en: <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/183935?locale-attribute=en>
- [18] Gaitero, A. (2012). Biofijación de CO₂ mediante el cultivo de algas. Diseño de un prototipo de fotobiorreactor para el cultivo de "*Spirulina platensis*". Disponible en: <http://www.conama2012.conama.org/conama10/download/files/conama11/CT%202010/1896706028.pdf>
- [19] Barra, R. (2010). Diseño de un fotobiorreactor industrial para cultivo de *Spirulina* (*Arthrospira platensis*). Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24663/1/TESIS%20RONNY%20%20BARRA.pdf>.
- [20] Baltazar, P. (2019). Entrevista a experto en algas. (Mendiola, L., & Deza, E. Entrevistadores) Lima.
- [21] Gallardo, C. (2019). Entrevista a experto en digestión animal. (L. Mendiola, & E. Deza, Entrevistadores)
- [22] Química Suiza. (2018). Química Suiza Industrial. Disponible en: <http://www.qsindustrial.biz/es/noticia/tendencias2019-para-la-industria-de-alimentos-en-peru/>
- [23] (García, De Vicente, & Galán, 2018).

- [24] Barrios, I. (2017). Efecto de la cantidad de biomasa algal y tiempo de secado por ventana refractante sobre sus características fisicoquímicas de *Spirulina* sp. deshidratada. Disponible en:
http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/3656/1/RE_IND.ALIM_IBONNY.BARRIOS_CANTIDAD.DE.BOMASA_DATOS.PDF
- [25] Raouf, B. (2006). Formulation of a low cost medium for mass production of *Spirulina*. EN: Biomass and Bioenergy. Vol. 30; p. 537-542.
- [26] Textos científicos, (2007). Urea. Disponible en:
<http://www.textoscientificos.com/quimica/urea>
- [27] Danesi, E. *et al.* (2002). An investigation of effect of replacing nitrate by urea in the growth and production of chlorophyll by *Spirulina platensis*. EN: Biomass and Bioenergy.
- [28] UTEX (2006). *Spirulina* Medium. Disponible en: www.utex.org.
- [29] Ruiz, A. (2008). Remoción de nutrientes de agua residuales urbanas por *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus obliquus* en cultivos libres e Inmovilizados. Tesis de Doctorado Universidad Autónoma de Baja California Ensenada. México. 147 pp.
- [30] Hernández, A. & Labbé, J. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. Revista de Biología marina y Oceanografía. Vol. 49, N°2: 157 - 173.
- [31] Álvarez, M. & Gallardo, T. (1989). Una revisión sobre la biotecnología de las Algas. Bot. Complutensis. 15: 9 - 60.
- [32] Alveal, K. *et al.* (1995). Manual de métodos ficológicos. Concepción, Chile: Universidad de Concepción. 863 p.
- [33] Park, C. *et al.* (2011). Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production. Bioresource Technology 102: 35 - 42.
- [34] Universidad Católica de Santa María. (2016). Planta de spirulina en el campus Huasacahe de la UCSM. Obtenido de Universidad Católica de Santa María:
<http://www.ucsm.edu.pe/planta-de-spirulina-en-el-campushuasacahe-de-la-ucsm/>

VII. ANEXOS

Anexo A. Medio de cultivo Zarrouk.

TABLA VIII.
MEDIO DE CULTIVO Zarrouk.

| Sustancia | Concentración (g. / L.) |
|--|-------------------------|
| NaHCO ₃ | 13.61 |
| Na ₂ CO ₃ | 1.03 |
| K ₂ HPO ₄ | 0.50 |
| NaNO ₃ | 2.50 |
| KSO ₄ | 1.00 |
| NaCl | 0.20 |
| MgSO ₄ 7H ₂ O | 0.04 |
| CaCl ₂ 2H ₂ O | 0.01 |
| FeSO ₄ 7H ₂ O | 0.05 |
| H ₃ BO ₃ | 2.86 |
| MnCl ₂ 4H ₂ O | 1.81 |
| ZnSO ₄ 7H ₂ O | 0.22 |
| NaMoO ₄ 2H ₂ O | 0.39 |
| CuSO ₄ 5H ₂ O | 0.079 |
| Co(NO ₃) ₂ 6H ₂ O | 0.049 |
| VO ₂ SO ₄ 5H ₂ O | 49.6 mg. |
| K ₂ Cr ₂ (SO ₄) ₄ 2H ₂ O | 96.0 mg. |
| NiSO ₄ 7H ₂ O | 47.8 mg. |
| Na ₂ WO ₄ 2H ₂ O | 17.9 mg. |
| TiOSO ₄ | 33.3 mg. |
| Co(NO ₃) ₂ 6H ₂ O | 44.0 mg. |

Fuente: Radmann *et al.*, (2007).

Anexo B. Medio de cultivo Urea

TABLA IX
MEDIO DE CULTIVO CON UREA

| Sustancia | Concentración (g. / L.) |
|----------------------|---------------------------------|
| Bicarbonato de sodio | 25,61 g. / L. agua destilada |
| Urea | 3.5 g. / 500 ml. agua destilada |

Fuente: Danesi *et al.*, (2002).

Anexo C. Medio de cultivo *Utex*.

TABLA X.
SOLUCIÓN 1 PARA EL MEDIO DE CULTIVO UTEX.

| Sustancia | Concentración |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| NaHCO ₃ | 13.61 g. / 500 ml. H ₂ O |
| Na ₂ CO ₃ | 4.03 g. / 500 ml. H ₂ O |
| K ₂ HPO ₄ | 0.5 g. / 500 ml. H ₂ O |

Fuente: *Utex*, (2006).

TABLA XI.

SOLUCIÓN 2 PARA EL MEDIO DE CULTIVO UTEX.

| Sustancia | Concentración |
|--|-------------------------------------|
| NaNO ₃ | 2.5 g. / 500 ml. |
| K ₂ SO ₄ | 1 g. / 500 ml. |
| NaCl | 1 g. / 500 ml. |
| MgSO ₄ 7H ₂ O | 0.2 g. / 500 ml. |
| CaCl ₂ 2H ₂ O | 0.04 g. / 500 ml. |
| Na ₂ EDTA 2H ₂ O | 0.75 g. / L. |
| FeCl ₃ 6H ₂ O | 0.097 g. / L. |
| MnCl ₂ 4H ₂ O | 0.041 g. / L. |
| ZnCl ₂ | 0.005 g. / L. |
| CoCl ₂ 6H ₂ O | 0.002 g. / L. |
| Na ₂ MoO ₄ 2H ₂ O | 0.004 g. / L. |
| CuSO ₄ 5H ₂ O | 0.02 g. / L. |
| ZnSO ₄ 7H ₂ O | 0.044 g. / L. |
| CoCl ₂ 6H ₂ O | 0.02 g. / L. |
| MnCl ₂ 4H ₂ O | 0.012 g. / L. |
| Na ₂ MoO ₄ 2H ₂ O | 0.012 g. / L. |
| H ₃ BO ₃ | 0.62 g. / L. |
| Na ₂ EDTA 2H ₂ O | 0.05 g. / L. |
| HEPES buffer pH 7.8 | 2.4 g. / 200 ml. H ₂ O |
| Vitamina B ₁₂ | 0.027 g. / 200 ml. H ₂ O |

Fuente: Utex, (2006).

Anexo D. *Imágenes del proceso tecnológico.*

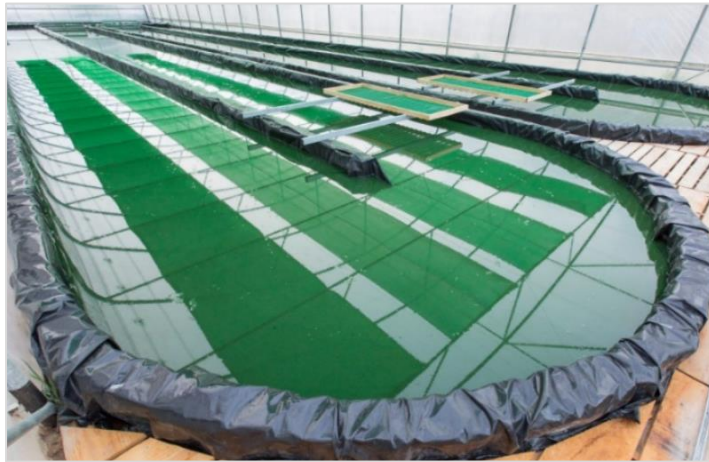


Figura 10. Estanque de cultivo de spirulina.
Fuente: KORU ESPIRULINA (2016).

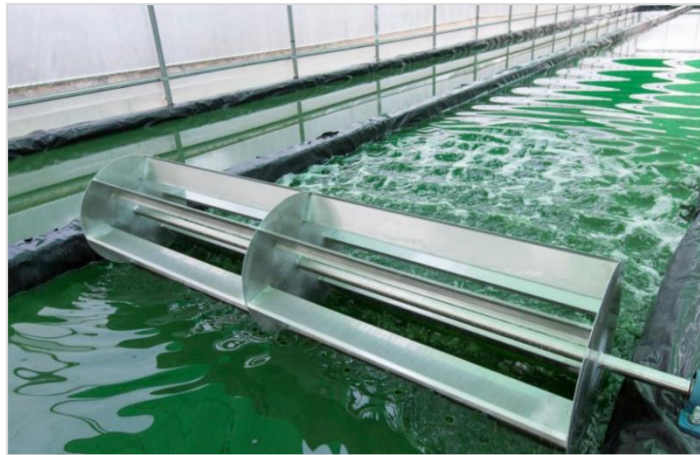


Figura 11. Agitado del medio de cultivo.
Fuente: KORU ESPIRULINA (2016).



Figura 12. Pelletizado de la biomasa húmeda.
Fuente: KORU ESPIRULINA (2016).

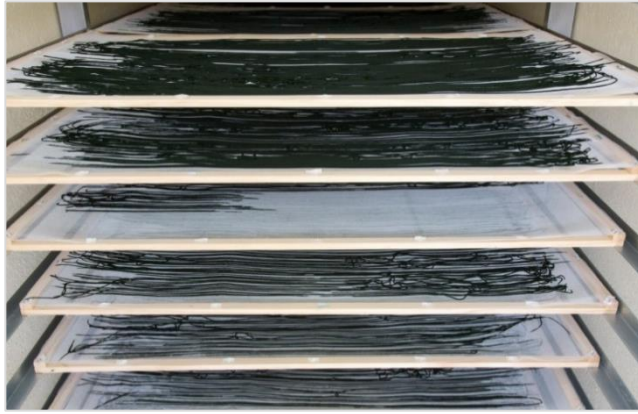


Figura 13. Secado de las hebras de espirulina.
Fuente: KORU ESPIRULINA (2016).



Figura 14. Hebras de espirulina deshidratada.
Fuente: KORU ESPIRULINA (2016).