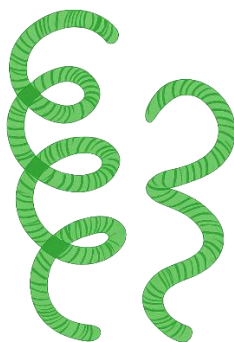




# **Manual técnico para el cultivo de la microalga *Arthrospira* sp. en ambientes controlados y exteriores**

**Centro Agroempresarial y Desarrollo Pecuario  
del Huila**



## **AUTORES**

**Ph.D. Silvia Cristina Carrera Quintana  
Ing. Martha Rocío Puentes Suarez  
Tec. Jesús David Delgado Rivera**

**Garzón-Huila 2025**

## 1. INTRODUCCION

La espirulina es una microalga con una antigüedad superior a los tres millones de años. Su nombre científico es *Arthrospira* sp., y pertenece al grupo de las cianobacterias procariotas multicelulares, caracterizadas por su coloración verde azulada y su estructura filamentosa (Medina, 2003). Esta microalga se reproduce por fisión binaria y habita de forma natural en lagos salinos o cavidades arcillosas con aguas alcalinas, estableciéndose principalmente en regiones cálidas.

A diferencia de estos ambientes naturales, en condiciones controladas —como en laboratorios— las variables ambientales se regulan rigurosamente para garantizar la inocuidad y calidad de la biomasa destinada al consumo humano o animal.

El ciclo reproductivo de *Arthrospira* sp. resulta particularmente interesante. Sus células, organizadas en filamentos simples, se multiplican mediante bipartición, un proceso que consiste en el fraccionamiento del tricoma maduro a través de un mecanismo intercelular, es decir, mediante una división interna (Medina, 2003). En ambientes controlados, esta microalga puede duplicar su biomasa aproximadamente cada siete horas, alcanzando una producción de hasta 1 500 kg/ha/año, dependiendo de la tecnología empleada (Ponce, 2013).

La espirulina es ampliamente valorada por su alto contenido nutricional. Diversos estudios señalan que entre el 60 % y el 75 % de su composición corresponde a proteínas (Gutiérrez, Castillo & Chamorro, 2015; Rincón, Semprún & Dávila, 2013), incluyendo aminoácidos esenciales que enriquecen la dieta de diversas especies. Por esta razón, se utiliza como suplemento alimenticio en crustáceos, peces, animales monogástricos y en seres humanos. Su cultivo requiere el control preciso de variables como temperatura, luminosidad, aireación y composición del medio de crecimiento, factores determinantes para obtener una biomasa de calidad.

Los aztecas, una de las civilizaciones indígenas más destacadas de la historia, fueron de los primeros pueblos en reconocer el potencial de la espirulina. Implementaron técnicas artesanales para recolectarla en el lago de Tenochtitlán, donde la microalga era posteriormente secada y comercializada en la ciudad. De manera similar, su presencia ha sido documentada en otras regiones del mundo. En el lago Chad, en África, las comunidades locales recolectaban cianobacterias, las secaban al sol y elaboraban con ellas galletas proteicas destinadas al consumo humano. La existencia de esta microalga en la Tierra se remonta a más de tres mil millones de años (Ramírez & Olvera, 2006; Ponce, 2013).

Una de las aplicaciones más prometedoras de la espirulina es su uso como fuente potencial de alimento (Rincón, Semprún & Dávila, 2013). Sin embargo, diversos estudios también han demostrado su utilidad en procesos de biorremediación y descontaminación de aguas residuales con alta carga de metales pesados, especialmente plomo (Ramos & Mendoza, 2022).

El presente manual tiene como propósito orientar el cultivo de la microalga *Arthrospira* sp. en condiciones de laboratorio y en sistemas de producción al exterior, proporcionando lineamientos claros y estandarizados para su propagación y manejo en ambos entornos. Se describen paso a paso los procedimientos utilizados para la preparación de cultivos, el seguimiento de la densidad celular y la evaluación del crecimiento en sistemas discontinuos a escala piloto, empleando tanto un medio de formulación artesanal como un medio basado en Zarrouk.

Los procedimientos aquí consignados fueron desarrollados en el laboratorio de Biotecnología del Centro Agroempresarial y de Desarrollo Pecuario del Huila (C.A.D.P.H.), ubicado en el municipio de Garzón, Huila, así como en las áreas destinadas para el cultivo exterior. Este manual incluye la descripción de las etapas del cultivo, los equipos e insumos necesarios y las precauciones de bioseguridad requeridas para garantizar la eficiencia operativa, la inocuidad del proceso y la integridad del personal.

Su finalidad es servir como una guía práctica y de apoyo para estudiantes, instructores y técnicos, facilitando el aprendizaje, el desarrollo de habilidades y la correcta ejecución de los procedimientos asociados al cultivo de *Arthrospira* sp. en ambientes controlados y en sistemas exteriores de producción.

## **2. OBJETIVOS**

### **Objetivo general:**

Establecer los procedimientos técnicos estandarizados para el cultivo de la microalga *Arthrospira* sp. en condiciones de laboratorio y en sistemas exteriores, con el fin de asegurar la eficiencia del proceso, la calidad de la biomasa producida y la seguridad del personal encargado.

### Objetivos específicos:

- Describir las normas de bioseguridad y buenas prácticas aplicadas al manejo de microalgas en laboratorio y en sistemas exteriores.
- Identificar y detallar los equipos, materiales e insumos necesarios para la instalación y operación de cultivos de *Arthrospira* sp. en ambos entornos.
- Estandarizar los procedimientos de preparación de los medios de cultivo, tanto artesanales como formulados (por ejemplo, medio Zarrouk), para su uso en laboratorio y al exterior.
- Establecer los protocolos para la inoculación, mantenimiento y monitoreo de cultivos en condiciones controladas dentro del laboratorio y en sistemas expuestos a condiciones ambientales.
- Definir los métodos de medición de la densidad celular y la evaluación de parámetros de crecimiento en los dos tipos de cultivo.
- Describir el proceso de cosecha, filtración y manejo de la biomasa producida, garantizando su calidad e inocuidad, tanto en cultivos internos como externos.
- Proporcionar lineamientos operativos para la instalación, supervisión y control de cultivos exteriores, considerando factores climáticos y ambientales.
- Brindar orientaciones prácticas que faciliten el aprendizaje técnico y favorezcan la correcta ejecución de los procesos de cultivo en ambos escenarios.

### 3. DESCRIPCION DEL LABORATORIO

El laboratorio del Centro Agroempresarial y de Desarrollo Pecuario del Huila cuenta con tres ambientes especializados, destinados a la realización de análisis relacionados con suelos, agua y aire. En uno de estos espacios se ha implementado el Cepario, orientado al análisis, mantenimiento y propagación de microalgas.

**3.1 Cepario:** El Cepario ocupa una superficie de 20 m<sup>2</sup> y ha sido diseñado específicamente para el mantenimiento de cepas de microalgas, tanto en medios sólidos como en agar, así como en tubos de ensayo y cajas Petri. Su objetivo principal es proporcionar un ambiente controlado y adecuado para la producción de Espirulina (Figura 1).

Este espacio mantiene una temperatura constante entre 28 °C y 35 °C, regulada mediante un sistema de iluminación dentro de un entorno completamente cerrado. Está equipado con cuatro estantes de cinco niveles cada uno, iluminados por 20 juegos de lámparas fluorescentes, que proporcionan una intensidad lumínica de entre 900 y 1050 lux. Cada

estante cuenta con válvulas plásticas ubicadas en la parte superior, las cuales permiten la adecuada aireación de los medios de cultivo inoculados. Además, el Cepario dispone de una cabina de flujo laminar equipada con mecheros, utilizada para llevar a cabo la inoculación de cultivos en medios como agar, tubos de ensayo, matraces Erlenmeyer y beakers de 100, 500 y 1000 mL. Estas actividades se realizan de forma diaria con el propósito de mantener las cepas en condiciones óptimas de conservación y crecimiento.



**Figura 1. Cepario**

**3.2 Sala de limpieza y esterilización:** La sección de limpieza de material ocupa un área de 12,5 m<sup>2</sup> (Figura 2) y se caracteriza por ser un espacio sin aire acondicionado. Está equipada con un estante de tres niveles y constituye un área fundamental para el apoyo a los procesos de cultivo y análisis en el laboratorio.

Esta sección dispone de tres autoclaves, utilizadas para la esterilización de medios de cultivo, cajas Petri, mangueras, vidriería y pipetas. Además, cuenta con estanterías destinadas al almacenamiento de reactivos químicos y vidriería aforada, asegurando el orden y la disponibilidad de los materiales necesarios para las distintas actividades del laboratorio.



**Figura 2. Sala de limpieza y esterilización**

**3.3 Laboratorio seco:** Esta sala, con un área de 36 m<sup>2</sup> (ver Figura 3), está destinada a la preparación de medios de cultivo, al desarrollo de cultivos microalgales y a la ejecución de diversos análisis químicos.

El espacio cuenta con un sistema de aire acondicionado que garantiza condiciones ambientales controladas, esenciales para la precisión y seguridad de las actividades de laboratorio. Está equipada con mesones de acero inoxidable, lo que facilita la limpieza y asegura un entorno higiénico adecuado para el manejo de reactivos y cultivos

Entre los equipos disponibles en esta sección se incluyen: una balanza de precisión, un homogeneizador, una plancha con agitador magnético, tres microscopios, un equipo de baño maría, un horno para secado de muestras y una nevera para el almacenamiento de soluciones químicas y medios ya preparados.



**Figura 3. Laboratorio seco.**

#### **4. PROCEDIMIENTOS**

El cultivo de espirulina se inició a partir de una cepa limpia y pura, asegurando la calidad y estabilidad del proceso desde su comienzo. Los cultivos empleados se caracterizan por ser completamente cosechados. Para determinar el medio de cultivo más adecuado para las condiciones de la región, se realizaron diversos análisis de seguimiento. Como resultado, se decidió emplear el medio Zarrouk, debido a los buenos resultados obtenidos en cuanto al crecimiento y la calidad de la biomasa.

**Elaboración del medio de cultivo:** Para la preparación del medio Zarrouk, se requieren los siguientes insumos estipulados en la tabla 1. Estos componentes se mezclan en agua destilada, utilizando las proporciones especificadas en la

**Tabla 1. Elaboración de medio de cultivo para espirulina.**

| <b>Nutrientes</b>                            | <b>Cantidad suministrada<br/>(1 Litro de agua<br/>esterilizada)</b> |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ )    | 7 g                                                                 |
| Sulfato de Magnesio ( $\text{MgSO}_4$ )      | 0,2 g                                                               |
| Nitrato de sodio ( $\text{NaNO}_3$ )         | 2,5 g                                                               |
| Sulfato de Hierro ( $\text{FeSO}_4$ )        | 0,04 g                                                              |
| Sal Marina                                   | 9 g                                                                 |
| Fosfato sódico ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ) | 0,5 g                                                               |

La semilla se siembra de forma manual, iniciando así el proceso de propagación del cultivo. En primera instancia, la siembra se realiza en tubos de ensayo, donde se lleva a cabo un seguimiento constante de la densidad de biomasa mediante observación microscópica. Una vez que la población algal alcanza una densidad adecuada, el cultivo se transfiere a matraces Erlenmeyer de 100 mL, a los cuales se adicionan 10 mL de medio de cultivo. Posteriormente, se realiza una nueva siembra en tubos de ensayo, continuando así el ciclo de propagación.

Esta técnica, ampliamente utilizada en microbiología para la multiplicación de cultivos, consiste en mantener varios lotes de microalgas en recipientes de diferente volumen (100, 500, 1000 y 5000 mL). Cada lote se cosecha por completo cuando la población alcanza su máxima densidad celular, utilizándose como inóculo para el siguiente lote, siempre en recipientes de mayor capacidad.

Generalmente, el primer lote se establece en tubos de ensayo, seguido de tres o cuatro etapas con volúmenes progresivamente mayores, hasta llegar a 1–5 litros en el Cepario. Este método es uno de los más empleados debido a su simplicidad, bajo costo, eficiencia, y por ofrecer una ventaja fundamental en términos de bioseguridad: si algún lote presenta contaminación, puede ser descartado sin comprometer la totalidad del sistema de producción.

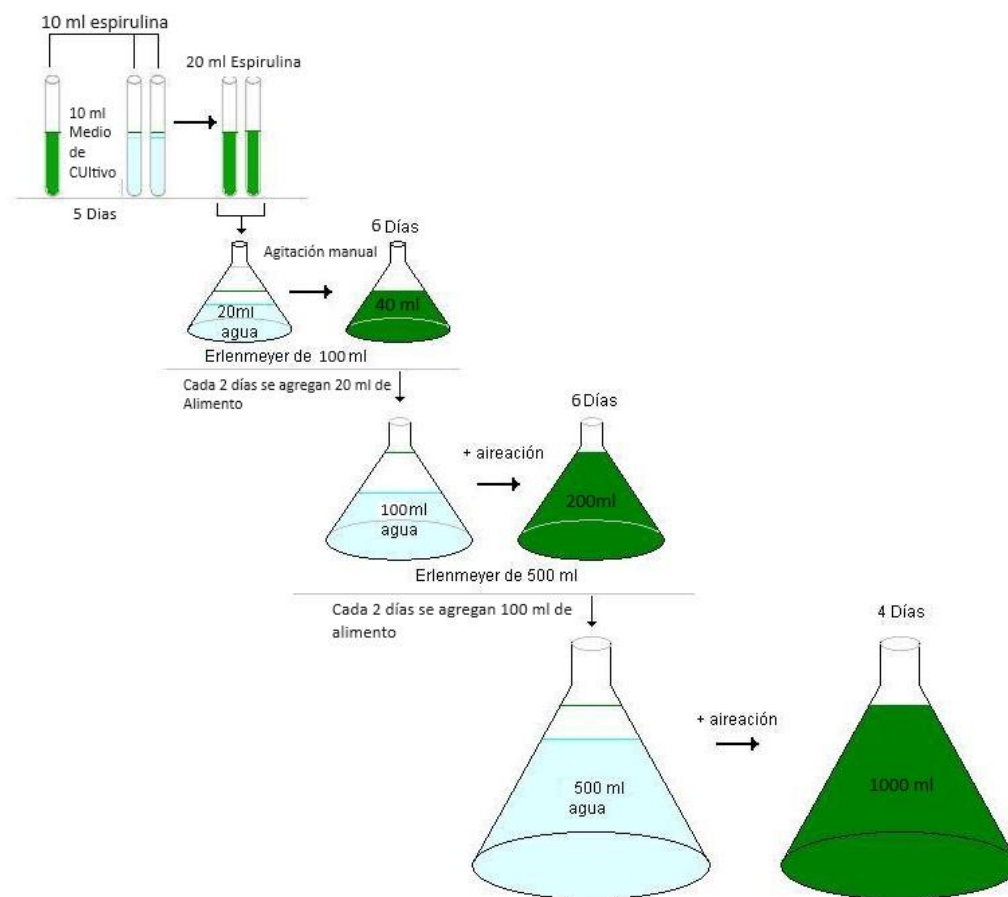


Figura 4. Cultivo tipo batch para la espirulina

#### 4.1 Inoculaciones:

Para iniciar un nuevo cultivo, es indispensable preparar los nutrientes únicamente después de verificar bajo el microscopio la calidad de la microalga que será utilizada como inóculo. Solo deben emplearse aquellos cultivos que se encuentren libres de contaminantes, con buena morfología y en condiciones óptimas. Además, los cultivos seleccionados como inóculo deben presentar alta densidad celular y encontrarse en fase exponencial de crecimiento.

Las inoculaciones se realizan tanto en el cepario como en el cultivo masivo, y, de acuerdo con los volúmenes a inocular, deben seguirse procedimientos estrictos para evitar cualquier riesgo de contaminación bacteriana.

Las actividades rutinarias efectuadas dentro del cepario, bajo la cabina de flujo laminar, consisten principalmente en la transferencia aséptica de inóculos hacia nuevos medios de cultivo. Estas incluyen:

- a) siembra en placas con agar,
- b) transferencia de placas de agar a tubos de ensayo,
- c) transferencia de tubos de ensayo a frascos de 100 mL,
- d) transferencia de frascos de 100 mL a frascos de 500 mL, y
- e) transferencia de frascos de 500 mL a frascos de 1000 mL.

## **5. EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS EN EL LABORATORIO Y EN EXTEIORES**

- Destilador de agua
- Autoclaves
- Hornos
- Aire acondicionado
- Bomba de vacío
- Campana extractora
- Nevera
- Microscopio
- Plancha con agitador
- Balanza
- Espectrofotómetro
- Horno para secado de muestras
- pH metro
- Erlenmeyer de 100 ml
- Erlenmeyer de 500 ml
- Erlenmeyer de 1 lt
- Frascos de 500 ml
- Tubos de ensayo
- Micropipetas de 1 ml
- Pipetas de 5 ml
- Pipetas de 10 ml
- Probetas de 500 ml

- Vasos de precipitación (0.5, 1 y 1 lt.)
- Láminas portaobjeto (cajas)
- Láminas cubreobjeto (cajas)
- Cajas de Petri
- Sensores o medidores de pH de campo.
- Termómetro ambiental y del agua.
- Luxómetro o medidor de intensidad lumínica.
- Baldes plásticos grado alimenticio.
- Tuberías en PVC (1/2", 1") para circulación.
- Uniones y válvulas de PVC.
- Mallas de filtración (50 A 36 Micras)
- Canecas de recolección.
- Bolsas herméticas para almacenamiento temporal.
- Jarras y recipientes grandes.
- Centrífuga artesanal o centrífuga de baja velocidad (en sistemas más tecnificados).
- Prensas manuales para extraer el exceso de agua.
- Deshidratador solar o deshidratador eléctrico.
- Bandejas de secado en acero inoxidable o plástico grado alimenticio.
- Molino o licuadora industrial (para hacer polvo fino).
- Tamiz o colador fino (para uniformar el producto).
- Selladora de bolsas (manual o eléctrica)
- Guantes (nitrilo o látex).
- Botas.
- Overoles o delantales.
- Escobas y cepillos para limpieza.
- Hipoclorito o desinfectantes permitidos.
- Reglas, marcadores o medidores de nivel.

## **6. MEDIDAS GENERALES**

Las siguientes medidas son de obligado cumplimiento en cualquiera de las áreas del laboratorio:

- El acceso al laboratorio estará limitado al personal autorizado por el Coordinador del Laboratorio.
- Todo el que ingrese al laboratorio debe hacer uso de botas de caucho y bata limpias.

- Todo el que ingrese al laboratorio debe desinfectar sus botas y manos ingresando al pediluvio y frotándose las manos con alcohol.
- Todas las áreas deberán estar siempre debidamente marcadas
- Las puertas y ventanas de cada una de las secciones deben permanecer cerradas para evitar transferencia de calor, de reactivos de un sitio a otro y por consiguiente el daño de los aires acondicionados.
- Todas las superficies de trabajo se limpiarán y desinfectarán diariamente antes de cada jornada de trabajo y siempre que se produzca un derrame.
- El laboratorio debe permanecer limpio y ordenado no se deben utilizar los pasillos como almacén. Siempre debe quedar un espacio libre no inferior en caso de que se necesite evacuar el laboratorio por alguna emergencia.
- El transporte de las muestras, medios o frascos dentro o entre laboratorios se realizará de tal manera que, en caso de caída, no se produzcan salpicaduras ni rupturas. Para ello, debe hacerlo en cajas plásticas y/o a través de las ventanas que comunican cada una de las secciones del laboratorio.
- Está rigurosamente prohibido pipetear con la boca. Se realizará pipeteo automático con material adecuado.
- Comer, beber y fumar esta formalmente prohibido en el área de trabajo del laboratorio, así como el almacenamiento de comida o bebida.
- El personal debe lavarse las manos frecuentemente durante las actividades rutinarias: Inoculación de cultivos, tras acabar la jornada laboral y siempre antes de abandonar el laboratorio (almorzar). Se usará un jabón antiséptico y el secado se realizará con papel.
- Las heridas y cortes en las manos, si se han producido en el laboratorio, serán comunicados a la directora del laboratorio deben ser convenientemente vendados y después es imprescindible ponerse guantes.

## **7. CULTIVO DE SPIRULINA AL EXTERIOR EN ESTANQUES**

La producción de espirulina en condiciones naturales requiere comprender adecuadamente las características ambientales del entorno, la calidad del agua disponible y los parámetros necesarios para mantener un cultivo estable. Asimismo, es fundamental conocer los procedimientos para la cosecha y el procesamiento artesanal de la biomasa. Esta sección describe de manera detallada el manejo de cultivos de espirulina en campo, orientando cada etapa del proceso según las directrices establecidas en este manual.



**Figura 1. Pileta artesanal para espirulina**

## **8. ELABORACIÓN DE ESTANQUES NATURALES**

La construcción adecuada del estanque es un componente crítico para el cultivo exitoso de espirulina en campo. Un diseño apropiado garantiza la estabilidad del cultivo, facilita las labores de manejo diario y reduce el riesgo de contaminación o pérdidas por factores ambientales. Los estanques pueden construirse con materiales accesibles en zonas rurales, siempre que se mantengan ciertos criterios técnicos fundamentales.

### **8.1. Materiales para la Construcción de Estanques Artesanales**

La selección del material depende de la disponibilidad local, el presupuesto y la durabilidad esperada. Entre las opciones más utilizadas se encuentran:

Plástico calibre 10: Económico y fácil de instalar. Adecuado para estanques pequeños o temporales. Se recomienda colocar una cama de arena fina o geotextil para evitar perforaciones.

Geomembrana (PVC o HDPE): Alta resistencia mecánica y química. Ideal para estanques de mayor tamaño. Su vida útil puede superar los 10 años con mantenimiento adecuado.

Cemento: Permite estructuras permanentes con estabilidad térmica. Requiere un recubrimiento interior (pintura epóxica o sellante) para evitar filtraciones y evitar el contacto directo del cemento fresco con el cultivo.

Piscinas prefabricadas: Fácil instalación y buen rendimiento para cultivos de pequeña y mediana escala. Generalmente cuentan con bordes rígidos que facilitan la agitación

Tanques IBC modificados: Útiles para volúmenes reducidos o áreas con poco espacio. Deben cortarse horizontalmente y recubrirse internamente para evitar la liberación de microplásticos o residuos del contenido anterior.

## **8.2. Requisitos Técnicos del Estanque**

Para asegurar que el cultivo en campo se mantenga estable, el estanque debe cumplir con las siguientes características:

- Profundidad máxima: 40 cm

Una menor profundidad permite mayor captación de luz y un calentamiento más uniforme. Las capas profundas reducen el crecimiento y dificultan la agitación.

- Forma rectangular con esquinas redondeadas

Facilita la circulación del agua y evita acumulaciones de biomasa en las esquinas, lo que reduce riesgos de anaerobiosis y degradación del cultivo.

- Superficie lisa y sin irregularidades

Evita que la biomasa quede atrapada en grietas o que se formen zonas muertas donde pueden proliferar microorganismos indeseados.

- Capacidad para permitir agitación manual o mecánica

El diseño debe permitir el uso de paletas, remos, tubos de PVC o agitadores improvisados, debido en parte a que la agitación permite: 1) evitar sedimentación, 2) distribuir luz y nutrientes, 3) prevenir el sobrecalentamiento en superficie.

- Evitar entrada de sedimentos o materia orgánica

Se recomienda instalar una barrera perimetral, zanjas de drenaje o una ligera elevación del estanque respecto al suelo natural.

- Protección contra lluvia:

La lluvia puede diluir el medio, disminuir el pH y ocasionar contaminación. Es recomendable instalar techos livianos, mallas o plásticos transparentes, asegurar buena ventilación para evitar acumulación de calor

- Protección contra sobrecalentamiento

En zonas con alta radiación, puede ser necesario un sombreado parcial (20–30 %), uso de mallas de sombra, barreras para el viento, incrementar frecuencia de agitación en horas de mayor calor

- Acceso adecuado para manejo y cosecha

Se recomienda un borde firme y seguro, con espacio suficiente para instalar mallas de filtración o mesas de trabajo.

### **8.3. Consideraciones de Ubicación del Estanque**

Al elegir la ubicación del estanque, se deben tener en cuenta:

- Exposición solar:

Ideal que reciba luz durante la mayor parte del día, pero con posibilidad de sombreado ligero en horas críticas.

- Terreno nivelado:

Evita acumulación desigual del agua y problemas de estructura.

- Distancia a fuentes de contaminación:

Lejos de áreas con animales, aguas residuales, actividades agrícolas intensivas

- Disponibilidad de agua segura:

Cercanía a la fuente de agua que se utilizará para reposición o preparación del medio.



**Figura 2. Invernadero de protección para producción de Spirulina**

## **9. PREPARACIÓN DEL MEDIO DE CULTIVO**

La fórmula estándar que usamos para los estanques está basada en un medio de cultivo de rápido crecimiento, es una formulación práctica, económica y pensada para quienes quieren trabajar de manera comercial sin complicaciones.

**Tabla XXXX.**

| Nutrientes                                                            | DOSIS gr/L |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| Bicarbonato de Sodio (NAHCO <sub>3</sub> )                            | 10         |
| Sal Marina (NACL)                                                     | 5          |
| Nitrato de Potasio (KNO <sub>3</sub> )                                | 1,8        |
| Fosfato Monoamónico (NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) | 0,2        |
| Sulfato de Potasio (K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )                  | 0,1        |
| Sulfato de Magnesio (MGSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O)            | 0,2        |
| Quelato de Hierro                                                     | 0,03       |

## 10. CONDICIONES AMBIENTALES Y PARÁMETROS DE CULTIVO DE LA ESPIRULINA

**Clima:** El clima influye directamente en el crecimiento y estabilidad del cultivo de espirulina, ya que las lluvias intensas pueden diluir el medio, disminuir el pH y provocar desbordamientos, mientras que los vientos incrementan la evaporación del agua y facilitan la entrada de contaminantes. Asimismo, la temperatura ambiental determina la temperatura del estanque y afecta el ritmo de crecimiento del cultivo. Por ello, en zonas con alta pluviosidad se recomienda instalar techos livianos o invernaderos artesanales que protejan adecuadamente las instalaciones.

**Temperatura:** La temperatura es un factor crítico en el desarrollo de la espirulina, cuyo crecimiento se reduce casi por completo por debajo de los 20°C, mientras que su temperatura óptima se sitúa en torno a los 37°C y presenta un alto riesgo de mortalidad cuando supera los 40°C. En estanques naturales poco profundos la temperatura tiende a elevarse rápidamente durante la mañana, favoreciendo la actividad metabólica y el crecimiento. En regiones cálidas se recomienda medir la temperatura varias veces al día para garantizar condiciones estables.

**pH:** El pH del agua debe mantenerse entre 9.5 y 11, rango que reproduce las condiciones alcalinas en las que la espirulina crece de manera natural y que, además, limita la proliferación de organismos contaminantes. Este valor puede disminuir por efecto de la lluvia, la falta de luz o el ingreso excesivo de agua nueva, mientras que tiende a aumentar con la alta luminosidad, la intensa actividad fotosintética o la evaporación del agua. Registrar el pH de forma diaria permite mantener un control adecuado del cultivo.

**Agua:** El cultivo puede desarrollarse utilizando agua de lluvia, agua potable sin cloro o agua de pozo o manantial previamente decantada, siempre que esté libre de contaminantes y

metales pesados. En caso de utilizar agua clorada, esta debe reposar durante 72 horas para eliminar el cloro residual, y si el agua es muy dura se recomienda añadir 0.1 g/L de carbonato de sodio y dejarla reposar para estabilizar su composición. El control de la calidad del agua es esencial para asegurar la salud del cultivo y la inocuidad del producto final.

**Salinidad:** La espirulina requiere un medio salino para su adecuado desarrollo, por lo que se recomienda mantener una salinidad mínima de 8 g/L y una alcalinidad de 0.1 mol/L, aportada principalmente por el bicarbonato de sodio. Estos parámetros garantizan la estabilidad química del medio y crean un entorno favorable para el crecimiento continuo de la biomasa.

**Luz:** La espirulina necesita aproximadamente 18 horas de luz diaria, combinando luz natural e iluminación indirecta, para mantener un ritmo de crecimiento adecuado. El éxito del cultivo depende de que reciba suficiente luz sin que la temperatura del estanque se eleve en exceso y de que exista un movimiento constante del agua que evite zonas de estancamiento. La exposición a luz intensa sin el movimiento apropiado puede provocar quemaduras en la capa superficial del cultivo, afectando su rendimiento y calidad.

## **11. MANEJO DEL CULTIVO AL EXTERIOR**

### **11. 1 Transparencia del Agua (Disco Secchi)**

La transparencia del agua en estanques naturales es un parámetro esencial para determinar la densidad del cultivo de espirulina. Para realizar esta medición se utiliza un disco Secchi artesanal, el cual debe introducirse verticalmente en el estanque hasta la profundidad en la que deja de ser visible.

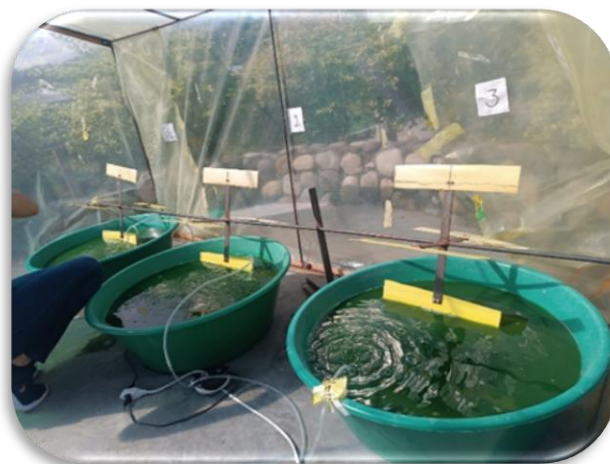
Esta lectura permite evaluar si el cultivo se encuentra muy diluido o demasiado concentrado. Los valores típicos indican que una lectura entre 1 y 3 cm corresponde a un cultivo denso, entre 4 y 6 cm a un cultivo de densidad media y más de 7 cm a un cultivo muy diluido. Para asegurar una medición confiable, el estanque debe permanecer libre de sedimentos y protegido tanto de la lluvia como del sobrecalentamiento, ya que estos factores pueden alterar la claridad del agua y afectar la estabilidad del cultivo.



**Figura 3. Disco secchi para transparencia de Spirulina**

### **11.2 Agitación**

La agitación del cultivo debe realizarse entre dos y cuatro veces al día, simulando el movimiento continuo que ocurre en las lagunas naturales donde crece la espirulina. Una agitación insuficiente provoca la formación de natas o apelmazamientos que dificultan la oxigenación y el crecimiento uniforme. Por el contrario, una agitación excesiva puede generar espuma y llegar a romper los tricomas, afectando la salud del cultivo. Mantener un equilibrio adecuado en la intensidad y frecuencia de la agitación es esencial para garantizar un desarrollo homogéneo.



**Figura 4. Aspas de agitación en los estanques**

### **11.3 Reposición del Agua**

En los cultivos al exterior, especialmente en zonas cálidas, la evaporación del agua puede ser considerable, por lo que es necesario reponerla periódicamente. La reposición debe realizarse utilizando agua con las mismas características que las iniciales: libre de cloro, previamente reposada, con las sales y el bicarbonato correspondientes ya incorporados y a temperatura ambiente. Esto permite mantener la estabilidad química del medio y evitar cambios bruscos que puedan afectar el crecimiento de la espirulina.

### **11.4 Control de Contaminantes**

Los cultivos en campo están expuestos a diversos contaminantes como rotíferos, protozoarios, larvas, materia orgánica y polvo arrastrado por el viento. La presencia de pequeños organismos nadando o puntos blancos en movimiento puede indicar la aparición de depredadores. En estos casos se recomienda incrementar el pH por encima de 10.5 para frenar su actividad, aumentar la salinidad del cultivo, filtrar una parte del agua o, si es necesario, realizar una renovación parcial o total del estanque. Estas acciones ayudan a preservar la pureza del cultivo y prevenir pérdidas significativas.

## **12. COSECHA**

La cosecha debe realizarse cuando el disco Secchi indique una transparencia entre 1 y 3 cm y el pH del cultivo sea superior a 10. Para el proceso artesanal se utiliza una malla o filtro de poliseda blanca o nylon de 30–50 micras, que se pasa manualmente por la superficie del estanque, permitiendo que el agua filtrada regrese para mantener el volumen del cultivo. La espirulina retenida sobre la tela se reúne con una espátula limpia y se traslada a un recipiente igualmente limpio, asegurando una manipulación higiénica de la biomasa.



**Figura 5. Cosecha artesanal de espirulina**

### **12.1 Lavado de la espirulina**

El lavado de la biomasa debe realizarse con agua hervida y enfriada, preparada con una concentración de sal de 3 g/L, y utilizando una mesa de lavado inclinada para facilitar el drenaje. Este procedimiento elimina impurezas, residuos minerales y otros sólidos, mejorando significativamente la calidad del producto final destinado al consumo humano.



**Figura 6. Lavado artesanal de la espirulina**

### **12.2. Prensado**

El prensado puede efectuarse con una prensa manual artesanal, una prensa hidráulica de baja presión o utilizando telas de seda sintética. Durante este proceso, el color del agua extraída actúa como indicador: un agua verde clara señala un prensado adecuado, mientras que un agua azul intensa indica que los tricomas están rompiéndose, lo que requiere disminuir la presión aplicada.

### **12.3. Extrusado**

Para el extrusado se emplea una mesa con embutidor, una jeringa grande o una pistola extrusora artesanal. La biomasa se moldea en forma de delgados “espaguetis”, lo que facilita un secado uniforme y más rápido, optimizando la eficiencia del proceso.



**Figura 7. Preparación de Espirulina para Secado**

#### **12.4. Secado**

El secado es un paso crítico para garantizar la calidad del producto final, evitar la formación de moho y prolongar su vida útil. Se recomienda trabajar a temperaturas entre 40 y 60 °C durante 2 a 3 horas, utilizando fuentes de energía eléctrica, gas o solar. En el caso del secado solar, se debe emplear una malla fina y asegurar la protección contra insectos. Cuando se realiza correctamente, la espirulina seca puede conservarse durante varios meses sin perder sus propiedades.



**Figura 8. Proceso de Secado Térmico de Espirulina**

### **12.5. Molienda**

La biomasa seca puede molerse con un molino de café, un procesador pequeño o un mortero artesanal. El objetivo es obtener un polvo fino y homogéneo, libre de grumos y con textura adecuada para su posterior envasado o procesamiento.

### **12.6. Envasado**

Para un envasado adecuado se debe asegurar que la humedad de la espirulina sea inferior al 9%, evitar la exposición directa a la luz y utilizar envases herméticos de vidrio, aluminio o PET opaco. Si se emplean frascos de vidrio, es necesario proteger su contenido de la luz mediante etiquetas, cajas o envolturas. En ambientes con humedad relativa superior al 70%, se recomienda el uso de deshumidificadores para evitar la degradación del producto.

### **13. MEDIDAS GENERALES PARA EL CULTIVO EXTERIOR**

Las siguientes medidas son de cumplimiento obligatorio en cualquier área destinada al cultivo exterior de espirulina y tienen como objetivo garantizar la inocuidad, seguridad y calidad del proceso.

- El área del cultivo debe mantenerse siempre limpia, ordenada y libre de materiales innecesarios. No deben utilizarse los alrededores como zona de almacenamiento, dejando siempre pasillos o accesos despejados para facilitar la movilidad y permitir una evacuación segura en caso de emergencia.
- Está estrictamente prohibido comer, fumar o manipular productos químicos en las inmediaciones del cultivo. Estas actividades pueden introducir contaminantes al agua o a la biomasa y comprometer la calidad del producto final.
- No se debe permitir la presencia de animales domésticos o silvestres alrededor del estanque, ya que pueden introducir suciedad, depredadores, microorganismos o cuerpos extraños que alteren el cultivo.
- Se deben registrar diariamente parámetros clave como pH, temperatura y densidad (medida con disco Secchi). Este seguimiento permite detectar variaciones anormales y actuar preventivamente antes de que el cultivo se deteriore.
- El agua del cultivo no debe ser vertida directamente al suelo sin un tratamiento adecuado. Esto evita impactos ambientales y la dispersión accidental de microorganismos no deseados.
- Toda manipulación de la espirulina debe realizarse con manos limpias, preferiblemente lavadas con agua y jabón o desinfectadas, para evitar introducir contaminantes durante la cosecha o el manejo del estanque.
- Las mallas, utensilios y herramientas utilizadas deben mantenerse limpias y, en lo posible, desinfectadas antes y después de cada uso.

- Se debe evitar que el polvo, hojas, sedimentos o residuos sólidos ingresen al estanque. Para ello, se recomienda mantener barreras físicas perimetrales, coberturas parciales o protecciones según el clima.
- El personal encargado debe utilizar calzado limpio y, si es posible, destinado exclusivamente a la zona del cultivo con el fin de reducir la entrada de microorganismos o suciedad.
- Cualquier derrame, caída de objetos o contaminación accidental debe gestionarse de inmediato, retirando los materiales extraños y evaluando si es necesario filtrar o renovar parcialmente el agua del estanque.
- Las actividades alrededor del cultivo deben realizarse de forma cuidadosa para evitar salpicaduras, rupturas de utensilios o caídas que puedan introducir materiales indeseados al agua.

#### 14. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Gutiérrez, J., Castillo, L., & Chamorro, R. (2015). *Composición nutricional de Arthrospira sp. y su uso como suplemento alimenticio*. Journal of Aquaculture Nutrition, 12(1), 22–30.

Medina, M. (2003). *Biotecnología de microalgas: fundamentos y aplicaciones*. Editorial Universitaria.

Ponce, M. (2013). *Producción y aprovechamiento de Arthrospira (Spirulina) en sistemas acuáticos*. Revista de Biotecnología Aplicada, 30(2), 45–59.

Ramírez, P., & Olvera, M. (2006). *Evidencias históricas de consumo de microalgas en civilizaciones antiguas*. Revista de Etnobiología, 4(1), 12–20.

Ramos, C., & Mendoza, J. (2022). *Biorremediación de metales pesados mediante Arthrospira sp.: revisión de estudios recientes*. Revista de Ingeniería Ambiental, 15(2), 88–102.

Rincón, D., Semprún, N., & Dávila, E. (2013). *Aplicaciones de la espirulina en nutrición y biotecnología*. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología, 7(3), 55–63.