



GOBIERNO REGIONAL DE APURÍMAC

GERENCIA GENERAL REGIONAL

OFICINA REGIONAL DE FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE INVERSIONES



CARTA N° 02-2019-GRAP/GG/ORFEI-RSC

A: **Ing. Sixto Valenzuela Conuma**
Director de la Oficina Regional de Formulación y Evaluación de Inversiones

CC: **Ing. Julio Cesar Rondan Retamoso**
Jefe del Proyecto: "Mejoramiento de los Procesos de Industrialización y Adiestramiento en Producción de la Espirulina en 7 provincias del Departamento de Apurímac".

DE: **Ph.D. Rodrigo Salcedo Cardenas**
Ing. Agrónomo, Especialista en Biotecnología.

ASUNTO: **Segundo Informe Entregable de la O/S 2617**
Con sanamiento de observaciones.

FECHA: **30 de Octubre del 2019 (fecha de primera entrega del Segundo Informe Entregable)**

Señor jefe del proyecto "Mejoramiento de los Procesos de Industrialización y Adiestramiento en Producción de la Espirulina en 7 provincias del Departamento de Apurímac".. En atención a la referencia, tengo a bien informar a su despacho lo siguiente:

I. ANTECEDENTES

- De acuerdo a los Términos de Referencia, remitidos para la contratación de **Profesional Ing.Agronomo especialista en Biotecnologia**, se accede a la prestación del servicio para la elaboración del proyecto de inversion con el objeto propuesto por la coordinación del proyecto, cuyo servicio rige a partir del 11 de setiembre del presente.

En razón a lo enunciado, alcanzo a Ud, el Segundo Entregable correspondiente a las siguientes actividades propuestas por el TDR:

Análisis técnico:

- *Análisis de calidad de agua de fuentes hídricas, para la producción de Espirulina.*
- *Implementación e Instalación de un módulo experimental.*
- *Salto de escala de la Producción de Espirulina en laboratorio a un módulo experimental.*
- *Obtención de parámetros de control para el desarrollo óptimo del alga Espirulina, en campo.*
- *Obtención de biomasa de alga Espirulina como resultado de trabajo en modulo experimental.*
- *Transformación de la biomasa de Espirulina para su presentación en polvo seco.*



GOBIERNO REGIONAL DE APURÍMAC

GERENCIA GENERAL REGIONAL

OFICINA REGIONAL DE FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE INVERSIONES



- *Estandarización de los factores de producción de Espirulina en el medio local de la ciudad de Abancay (Todo el proceso, desde el cultivo de la sepa hasta su transformación).*
- *Análisis de la composición bioquímica del polvo seco del alga Espirulina obtenido en Modulo experimental.*
 - *Costos: Costos del Proyecto*
 - *Costos de ejecución física de las acciones*
 - *Costos de Reinversión*
 - *Costos de operación y mantenimiento con y sin proyecto.*
 - *Cronograma de inversión de metas financieras.*

❖ Actividades desarrolladas

DETALLE / ACTIVIDAD	PRODUCTO/RESULTADO
Recopilación de información teórica relevante para la formulación del proyecto	Aspectos generales teóricos de importancia para la formulación del proyecto. Estudio literario sobre la producción de la Espirulina.
Elaboración y planteamiento técnico para la producción, obtención y transformación de la Espirulina para el proyecto	Planteamiento técnico para la producción de espirulina, de importancia para el proyecto. Cultivo y tratamiento post cosecha de la espirulina.
Coordinaciones de Trabajo con Equipo Técnico	Aprobación del Cronograma de plan de trabajo basado en los TDRs de los integrantes del equipo de formulación
Reunión Técnica con la Directora de ISTPA. Abancay	Reunión Técnica de coordinación con la Directora del Instituto Superior Tecnológico Público de Abancay, respecto a la culminación de convenios para el uso de terreno para la planta piloto de Espirulina.
Levantamiento topográfico ISTPA. Abancay	Participación al levantamiento topográfico, terrenos de ISTPA, Centro experimental, San Gabriel, Pachachaca..
Toma de muestras de agua de ISTPA. Abancay.	Toma de muestras de agua del Centro Experimental, San Gabriel, para los análisis de contenido de metales tóxicos.
Toma de muestras de suelo de ISTPA. Abancay.	Participación en ejecución de la calicata. Toma de muestras de suelo del Centro Experimental, San Gabriel, para los correspondientes.
Toma de muestras de agua de ISTPA. Abancay.	Toma de muestras de agua del Centro Experimental, San Gabriel, para los análisis físico-químico, bacteriológico y parasitológico.



GOBIERNO REGIONAL DE APURÍMAC

GERENCIA GENERAL REGIONAL

OFICINA REGIONAL DE FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE INVERSIONES



Conclusiones:

- Coordinaciones con la Directora del Instituto Superior tecnológico Público de Abancay respecto al uso del Terreno – en Centro Experimental, para la ubicación de la Planta Piloto de Producción de Espirulina. Concluidos los acuerdos preliminares.
- Resultados favorables de los análisis de agua respecto al contenido de metales pesados y tóxicos.
- Resultados favorables de los análisis de suelos, realizados por la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones, Abancay.
- Entrega física del planteamiento técnico de importancia para la ejecución del proyecto piloto de producción de la Espirulina.
- Resultados favorables de los análisis de agua en los laboratorios de Salud Ambiental de Abancay: análisis fisicoquímico, análisis bacteriológico y análisis parasitológico.



GOBIERNO REGIONAL DE APURÍMAC

GERENCIA GENERAL REGIONAL

OFICINA REGIONAL DE FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE INVERSIONES



ANÁLISIS TÉCNICO

- **Análisis de calidad de agua de fuentes hídricas, para la producción de Espirulina.**

Las industrias de proceso están clasificadas como las mayores consumidoras de agua. Ninguna planta de proceso podría operar sin agua o para usarla directamente como materia prima en las fases del proceso de producción en los biorreactores abiertos o cerrados tipo invernaderos. El abastecimiento de agua en una zona, por tanto, debe estudiarse. El abastecimiento de agua en la zona debe estudiarse para luego considerarse como un lugar posible para la instalación del proyecto. Debe buscarse el asesoramiento de expertos en el tratamiento del agua, incluyendo geólogos e ingenieros químicos especializados en problemas de agua.

Antes del estudio, debe hacerse una estimación detallada de las necesidades de agua para el presente y para el futuro. Esta debe continuarse con un estudio cuidadoso del agua disponible en la región que se está estudiando. Si va a usarse agua de pozo es necesario hacer un estudio completo de la historia pasada del agua subterránea.

El agua superficial de corrientes, o lagos, también requiere un estudio cuidadoso, puesto que a menudo se ve afectada severamente por las variaciones en las estaciones. Es necesario verificar la historia del flujo del río o del nivel del lago tantos años atrás como sea posible de modo que se pueda predecir la seguridad de un abastecimiento adecuado según los datos históricos. Las industrias que se cambian hacia zonas relativamente nuevas a menudo cometen el error de no considerar la posibilidad de que puedan seguir su ejemplo otras plantas. La cantidad del abastecimiento de agua debe no solamente ser la adecuada para las futuras necesidades de la planta propuesta, sino también la adecuada para abastecer las necesidades que se anticipan para otras industrias que tal vez se instalen en esa zona. También conviene considerar otras alternativas para fuentes de abastecimiento que puedan requerirse a medida que las fuentes de agua iniciales se vayan extinguiendo.

Debe preverse la posibilidad de contaminación de la fuente del agua por otras industrias de la región. Esta contaminación puede consistir solamente en elevar la temperatura del agua a tal grado que no se pueda utilizar como medio de enfriamiento. El ingeniero químico está generalmente bien preparado para comparar los costos de distintos abastecimientos de agua, pero rara vez tiene los antecedentes necesarios para llegar a conclusiones adecuadas acerca de la magnitud y de la seguridad de un abastecimiento en particular. Tales estudios merecen la atención de un consultor competente en agua; entrenado en geología y meteorólogo.



GOBIERNO REGIONAL DE APURÍMAC

GERENCIA GENERAL REGIONAL

OFICINA REGIONAL DE FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE INVERSIONES



Además de la cantidad adecuada de agua disponible, principalmente debe estudiarse su calidad. Se debe realizar los análisis correspondientes de agua: **físicos, químicos, microbiológicos, bacteriológicos y respecto al contenido de metales tóxicos**, los cuales indicarán la extensión de tratamiento requerido y ayudarán en la determinación del costo del agua.

Con el objetivo de implementar los requerimientos de agua para la preparación del medio de cultivo de la Espirulina, en el territorio Centro Experimental del Instituto Superior Técnico Público de Abancay, en San Gabriel, Pachachaca, se llevó a cabo los siguientes análisis correspondiente de agua:

1. **Análisis de contenido de Metales pesados y Tóxicos:** Laboratorio de SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C., Lima- Registro N° LE-047, Acreditación INACAL, NTP - ISO / IEC 17025:2006, COTIZACIÓN N° 2019-09VE-25-2.
-- RESULTADOS POSITIVOS.
2. **Análisis FisicoQuímico, análisis Parasitológico y análisis Bacteriológico,** laboratorios de Control Ambiental, Dirección de Salud Ambiental, DIRESA, Abancay.
- RESULTADOS POSITIVOS

• **Implementación e Instalación de un módulo experimental.**

La implementación e instalación de un modo experimental de producción de la Espirulina respecto a nuestro proyecto está relacionado a la ejecución física del mismo proyecto, ellos comprenden: la instalación de la infraestructura tanto del área de cultivo como el administrativo, implementación de los bioreactores, implementación del laboratorio, implementación de los equipos para el tratamiento de la espirulina post-cosecha y logística.

Las principales disposiciones se reflejan en los siguientes capítulos del presente trabajo:

1. Escala de cultivo en condiciones de laboratorio
2. Escala de cultivo de la Espirulina en los Bioreactores. Inoculación del Bioreactor
3. FACTORES DE CRECIMIENTO DE LA MICRO ALGA EN BIOREACTORES CERRADOS
4. ESTANDARIZACIÓN DE FACTORES TÉCNICOS DE PRODUCCIÓN DE ESPIRULINA EN BIOREACTORES CERRADOS
11. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- **Salto de escala de la Producción de Espirulina en laboratorio a un módulo experimental.**

El salto de escala de producción de la Espirulina en laboratorio a un módulo experimental productivo son las escalas de cultivo de las microalgas desde el laboratorio hasta la etapa final en los estanques de producción adulta. Condicionalmente se puede contemplar en 2 etapas: escala de cultivo en condiciones de laboratorio y escala de cultivo en los estanques.

5. Escala de cultivo en condiciones de laboratorio

1.1. Siembra de las cepas de las micro algas *Arthrospira platensis*.

Después del acondicionamiento de los laboratorios se procederá a la siembra de las cepas de la microalga. Posteriormente se realizarán los conteos de control de crecimiento de las células de las microalgas por microscopio.

La siembra inicial de las microalgas en condiciones de laboratorio se procede tomando la concentración máxima de 3 g de spirulina (contada en seco) por litro, la simiente se puede guardar y transportar durante 7 días sin que ella se degrade, esto a condición de que el recipiente sea medio lleno y ventilado al menos dos veces por día. Si la ventilación se hace con burbujas continuas de aire, la concentración puede llegar a 10 g/l.

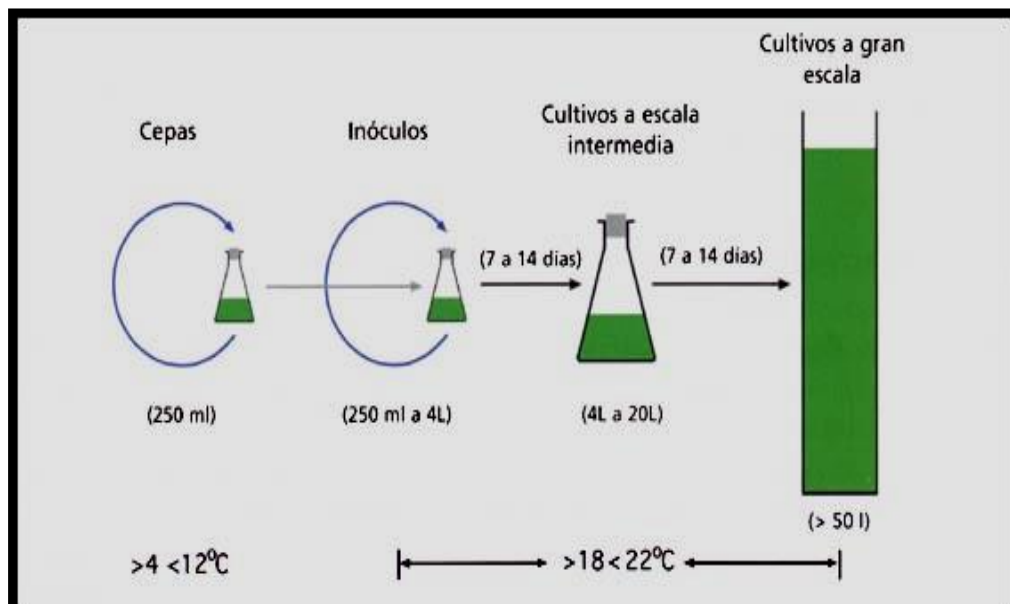


Gráfico 01: Siembra. Etapas en la producción de la microalga *Arthrospira platensis*.

Cepas (250 ml ó menos) siguen aisladas bajo luz y clima controlados (baja temperatura) y sólo se emplean cuando es necesario inocular



GOBIERNO REGIONAL DE APURÍMAC

GERENCIA GENERAL REGIONAL

OFICINA REGIONAL DE FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE INVERSIONES



1.2. Crecimiento de la población de *Espirulina*.

El cultivo de las micro algas en laboratorio comprende 4 pasos: desde las cepas (250 ml.), el cultivo de inóculos (250 ml – 4L.), cultivo a escala intermedia (4L - 20L) y finalmente tenemos el cultivo a mayor escala (50 L – más). El crecimiento en cada etapa es de aproximadamente 1 – 2 semanas. (Gráfico 01.)

Durante el periodo de evaluación en laboratorio se llevará un control del crecimiento de los microalgas *Arthrospira platensis*. Para esta operación se utiliza la cámara de Neubauer. El conteo se realizará cada día, a partir del tercer día.

6. Escala de cultivo de la *Espirulina* en los Bioreactores.

Inoculación del Bioreactor

6.1. Cultivo a escala intermedia y gran escala.

Las unidades principales de producción son los fotobiorreactores (estanques cerrados) tipo invernadero en nuestro caso, la producción de microalgas requiere de un proceso de puesta en marcha que no es ni rápido ni simple. Este se planifica de tal forma que en la misma planta haya una serie de estanques, los más pequeños tendrán la función de arrancar el sistema.

El salto de la escala de producción de las microalgas, consisten en reactores que van desde el laboratorio hasta la escala de los reactores diseñados. Cada reactor inoculará al siguiente de forma que en el nuevo haya, al menos, una concentración de 100 mg·L.

En nuestro esquema de cultivo de ampliación de las microalgas se dispondrá de 4 niveles:

- el primer nivel inicial con capacidad de 3 000 L.,
- el segundo nivel con capacidad de 8 000 L.,
- el tercer nivel con capacidad de 24 000 L.
- el cuarto nivel con capacidad de 72 000 L.

El cuarto nivel es la última escala de cultivo, donde se cultivará para la obtención de la cosecha esperada de cada Bioreactor.

El tiempo necesario de crecimiento en los 3 primeros niveles es de aproximadamente 15 días, es decir se cultivará el tiempo suficiente para alcanzar la concentración máxima y seguidamente inoculará al siguiente reactor. Así hasta inocular los 19 bioreactores de fase final de la planta.

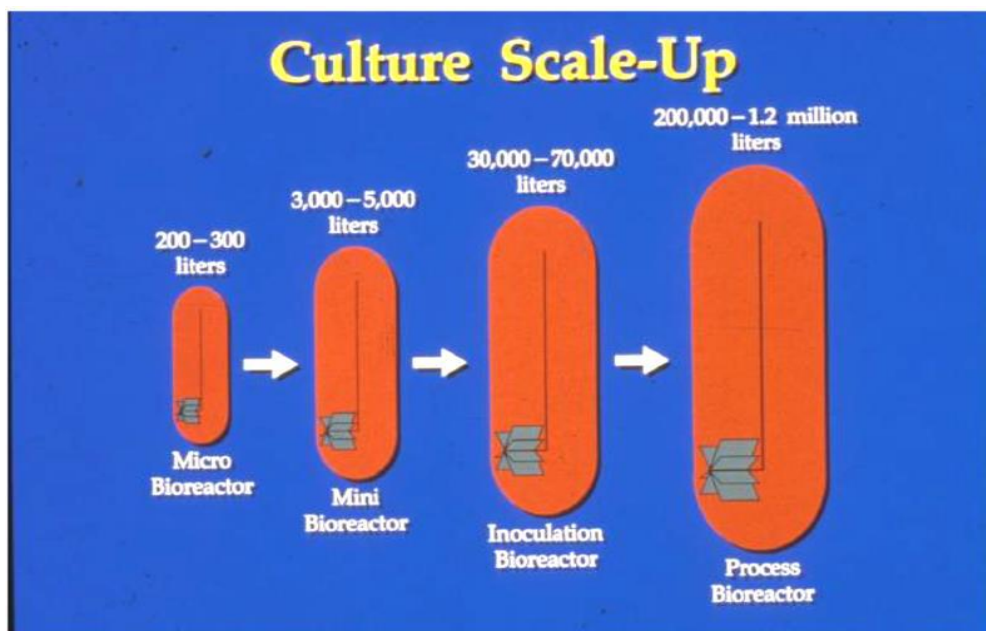


Gráfico 02. Ampliación de cultura en Bioreactores

Para la inoculación de las micro algas en los Bioreactores se escoge una simiente (cepa) de spirulina bien espiralada, con pocos o no filamentos rectos (al menos 50 % espiralada).

Una simiente concentrada se obtiene fácilmente a partir de un cultivo en buena salud, tomándola de la nata o rediluyendo con medio de cultivo una masa despirulina fresca cosechada pero no exprimida. A la concentración máxima de 3 g de spirulina (contada en seco) por litro, la simiente se puede guardar y transportar durante una semana sin que ella se degrade, ésto a condición de que el recipiente sea medio lleno y ventilado al menos dos veces por día. Si la ventilación se hace con burbujas continuas de aire, la concentración puede llegar a 10 g/l.

La inoculación consiste simplemente en mezclar la simiente con el medio de cultivo en los Bioreactores. Es recomendable mantener un nuevo cultivo inicialmente y en curso de crecimiento (dilución progresiva con medio de cultivo nuevo) con una concentración de spirulina alrededor de 0,3 g/l (bien verde). Se puede esperar una tasa de crecimiento de 30 % por día si:

- la temperatura es correcta,
- el medio de cultivo es a base de bicarbonato,
- se aumenta la superficie del Bioreactor manteniendo la profundidad del cultivo a bajo nivel (no superando 10 cm) y la concentración de spirulina alrededor de 0,3 g/l.

Cuando la superficie final del estanque no es la deseada, aumentar el nivel y la concentración del cultivo hasta el nivel deseado.

- **Obtención de parámetros de control para el desarrollo óptimo del alga *Espirulina*, en campo.**

7. FACTORES DE CRECIMIENTO DE LA MICRO ALGA EN BIOREACTORES CERRADOS

Deben reunirse datos climatológicos correspondientes a cierto número de años para cada comunidad en estudio. Debe darse atención muy particular a las condiciones climatológicas severas como huracanes, temblores e inundaciones. Estas catástrofes, que deben considerarse como probables, incrementan el costo de construcción.

Un clima extremadamente frío, a menudo, estorba la operación de la planta de proceso de proceso y producción de *Espirulina* y requiere características especiales en su construcción para proteger al equipo contra la congelación.

Un clima en el que predomina el calor permite una construcción más barata, pero la opinión clásica es que reduce la eficiencia de la fuerza laboral. Esta conclusión debe verse con escepticismo cuando se comparan los registros de producción de plantas de proceso en clima caliente y húmedo, con los de otras partes del país.

3.1. FACTORES AMBIENTALES

3.1.1. Luz

La disponibilidad de luz es el principal factor limitante en los cultivos de microalgas, ya que el resto de nutrientes y el CO₂ pueden ser aportados en exceso. Es muy difícil de definir como un único parámetro ya que depende de múltiples variables, además que hay que tener en cuenta la intensidad, la longitud de onda y el fotoperiodo.

La actividad fotosintética sólo se desarrolla a longitudes de onda entre 400-700 nanómetros, que viene a ser un 40% de la radiación total de la luz solar, sin embargo, solo se consigue aprovechar entre un 1 y un 4% de ésta para producir biomasa. La productividad de la biomasa se puede mejorar aumentando la disponibilidad de luz del medio.

El crecimiento de los microorganismos fotosintéticos es proporcional a la intensidad de luz recibida, además, se ha demostrado que tanto la intensidad como el fotoperiodo afectan a la composición de la biomasa, por ejemplo, en un estudio con algas sometidas a una alta intensidad se ha observado que han producido una mayor cantidad de ácidos grasos monosaturados. Todo esto induce a pensar que a mayor intensidad de luz mejor será la productividad, pero no es así debido a que existe un fenómeno llamado fotoinhibición, el cual es aconsejable tener presente.

En sistemas de tipo HRAP la concentración de biomasa está directamente relacionada con la disponibilidad de luz, a mayor concentración menor es la penetración de la luz, por ello se establecen normalmente profundidades de 30 cm y un mezclado adecuado, para favorecer el acceso a la luz a todo el cultivo por igual.



GOBIERNO REGIONAL DE APURÍMAC

GERENCIA GENERAL REGIONAL

OFICINA REGIONAL DE FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE INVERSIONES



3.1.2. Temperatura

La temperatura del medio es un factor crucial para la velocidad de crecimiento del cultivo. Muchas especies son capaces de crecer y hacer la fotosíntesis en un amplio rango de temperaturas entre 5 y 45°C. Aunque normalmente la temperatura óptima ronda entre 30 y 40°C. Fuera del valor de temperatura óptima la productividad es menor, ya que influye en los coeficientes de velocidad de las reacciones de biosíntesis.

La temperatura también influye en otros parámetros como la composición bioquímica del microorganismo, el equilibrio iónico del agua, el pH y la solubilidad de los gases (CO₂ y O₂).

3.1.3. Salinidad

Las cianobacterias habitan en entornos con variaciones drásticas de concentración salina, por lo que están adaptadas a un rango bastante variado de concentraciones salinas. En los últimos años se han hecho multitud de experimentos aislando *Spirulina* en medios alcalinos y salobres, estudiando la actividad fotosintética y la concentración de proteínas.

La exposición del medio a altas concentraciones de NaCl nos lleva a un inmediato cese del crecimiento, a un nuevo periodo de latencia, después de un tiempo de lag se restablece el crecimiento, observándose una modificación en la concentración de biomasa. Esta nueva tasa de crecimiento es bastante menor que a concentraciones salinas normales, con lo que se puede decir que altas concentraciones salinas tienen un efecto negativo sobre la productividad de las cianobacterias. Entonces, para su crecimiento óptimo la espirulina necesita el agua alcalina y salada 20°B.

3.2. FACTORES OPERACIONALES

3.2.1. PH y disponibilidad de CO₂

También el CO₂ ayuda al sistema a regular el pH, disminuyéndolo cuando el pH aumenta demasiado debido a alta actividad fotosintética. Un pH alto aumenta la retirada de nitrógeno del medio mediante stripping de amoníaco, además se favorece la retirada de fosfatos y metales pesados mediante sedimentación. Disminuyendo el pH también se disminuye estos efectos, pero por otro lado la producción de biomasa podría aumentar ya que dispone de un medio más rico en nitrógeno y fósforo. Vistos estos efectos conviene valorar cual es el objetivo: si favorecer el crecimiento de la biomasa Diseño de una planta para la producción de biofertilizante a partir de *Arthrospira platensis* cultivada en agua (conviene regular el pH) o si se quiere retirar N y P del agua (conviene mantener el medio con un pH alto).

El pH del medio afecta a muchos procesos bioquímicos asociados al crecimiento y al metabolismo, incluyendo los requerimientos de CO₂ para fotosíntesis y otros nutrientes. De este factor también depende la productividad, la respiración, la

alcalinidad, la composición iónica del medio y la eficiencia del sistema de aporte de CO₂.

3.2.2. Agitación del medio de cultivo en los Bioreactores

Suponiendo que las condiciones ambientales son favorables y el aporte de nutrientes es suficiente, la agitación del medio de cultivo se vuelve uno de los requerimientos más importantes para obtener productividades altas de biomasa en el cultivo algal.

Generalmente, se observa que en la superficie del cultivo se forma una capa compacta y densa de espirulina, por el crecimiento competitivo de las mismas; esto limita el crecimiento; razón por la cual se agita el medio de cultivo para:

- Permite mayor exposición a la luz evitando la formación de coágulos o grumos.
- Lograr mayor intercambio gaseoso entre el medio ambiente y el medio de cultivo, favoreciendo la liberación del oxígeno generado por la respiración.
- Disminuir la precipitación de sales del medio de cultivo.
- Además, se previene la sedimentación y la adherencia a las paredes del reactor.

Con una buena agitación se consigue una distribución uniforme y frecuente a la luz, se evita la sedimentación de las algas, los nutrientes se distribuyen de manera homogénea a lo largo del sistema, incluido el CO₂, y se previene la estratificación térmica. La necesidad de una distribución uniforme de los nutrientes previene la formación de gradientes a lo largo del sistema que pueden limitar o inhibir el crecimiento. La agitación también ayuda a que se libere el oxígeno formado durante la fotosíntesis, que, si se encontrara en altas concentraciones la inhibiría.

El objetivo del sistema de agitación del agua en los estanques es proveer el sistema de flujo turbulento para favorecer la mezcla y homogeneidad del sistema además de evitar que las células sedimenten.

Entonces, una buena agitación es necesaria para facilitar el transporte de nutrientes, ya que, a mayor agitación menor es la capa límite de transporte que rodea cada una de las células algales y más fácil es la transferencia de materia hacia el interior de la célula. También previene la estratificación térmica del sistema, mejora el reparto uniforme de los nutrientes y aumenta la exposición a la luz del cultivo, favoreciendo la productividad.

3.2.3. Medios Nutrientes

El agua utilizada para hacer el medio de cultivo de las microalgas debe ser limpia o filtrada para eliminar las algas contaminantes. El agua potable es conveniente. Si contiene demasiado cloro, se debe aerear. Si el agua es muy dura, provocará la formación de depósitos desagradables pero no peligrosos. La utilización de agua salobre puede ser interesante pero es necesario analizarla antes de utilizarla. Algunas aguas contienen bastante o demasiado magnesio y/o hierro.



GOBIERNO REGIONAL DE APURÍMAC

GERENCIA GENERAL REGIONAL

OFICINA REGIONAL DE FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE INVERSIONES



Si se utiliza sal no refinada, no se necesita el sulfato de magnesio. La solución de hierro se prepara disolviendo 50 gr. de sulfato de hierro ($\text{FeSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$) y 50 ml. de ácido clorhídrico concentrado en un litro de agua. Se puede también utilizar una solución saturada de hierro (clavos) en vinagre con un poco de jugo de limón o carambola. Este medio de cultivo se utiliza para iniciar nuevos cultivos o para completar el nivel de los estanques luego de vaciarlos parcialmente.

La composición arriba mencionada puede variar en amplias proporciones. Así, en lugar de los 8 gr. de bicarbonato, se puede utilizar una mezcla de 5 gr. de carbonato de sodio y 1 gr. de bicarbonato, obteniendo un pH de 10,4.

Ciertos iones pueden ser introducidos en cualquier concentración, aunque limitada por la salinidad total que no debe sobrepasar de 25 g/l. Se trata de los iones: sulfato, cloruro, nitrato y sodio.

Los iones fosfato, magnesio y calcio no pueden ser utilizados en concentraciones muy elevada sin provocar la formación de depósitos minerales y desequilibrios en la fórmula.

La concentración en potasio puede ser aumentada a voluntad, salvo que ella no supere 5 veces la concentración de sodio (se trata de concentraciones en peso).

Resumiendo, la disponibilidad de nutrientes es factor extremadamente importante para la productividad y la composición de la biomasa. Se requiere suficiente cantidad de carbono, nitrógeno y fósforo para un crecimiento óptimo. Generalmente la concentración interna de nutrientes en la célula algal es función de la concentración en su medio, por ejemplo, en medios con deficiencia de nitrógeno la síntesis de proteínas se para, y con ello el crecimiento de la célula, favoreciendo la síntesis de lípidos y carbohidratos. Este tipo de medios con poco nitrógeno se aplican para cultivo de microalgas cuya biomasa está destinada a la producción de biocombustible, pues interesa que el contenido de lípidos sea el mayor posible, aún a costa de reducir el crecimiento del alga.

Los principales nutrientes que se necesita para el desarrollo de las microalgas son:

a. Carbono

Pueden tomar como fuente de carbono para la fotosíntesis el CO_2 presente en la atmósfera o el presente como iones carbonato (HCO_3^-) en el medio. Puede ser aportado mediante difusores de CO_2 o mediante una disolución de Na_2CO_3 o NaHCO_3 . Diseño de una planta para la producción de biofertilizante a partir de *Arthrospira platensis* cultivada en agua residual urbana

Las algas mixotróficas, como el caso de la espirulina, también pueden obtener el carbono de compuestos orgánicos.

b. Nitrógeno

De forma general, supone entre un 1 y un 10% de la biomasa algal. Puede ser tomado del medio en forma de urea, nitrato, nitrito, amonio, nitrógeno gas y óxidos de

nitrógeno. Hay que tener cuidado con la concentración de amonio porque inhibe el crecimiento de las microalgas a concentraciones altas, la Spirulina se ve inhibida a concentraciones mayores de 200 mg $\text{NH}_4^+ \cdot \text{L}^{-1}$.

c. Fósforo

Es tomado del medio en forma de ortofosfatos, cuya concentración en equilibrio con las formas protonadas dependen del pH del medio. La cantidad necesaria para el crecimiento es mucho menor que la del nitrógeno.

d. Otros muchos nutrientes son requeridos para el adecuado crecimiento de la célula, pero en proporciones muchos menores. Diferenciamos macro y micronutrientes, siendo los macronutrientes aquellos nutrientes que se encuentran en una proporción algo mayor con respecto a los micronutrientes en la biomasa:

- **Macronutrientes:** Potasio, sodio, hierro, magnesio y calcio.
- **Micronutrientes:** Cobre, manganeso, boro, zinc, hierro, níquel, molibdeno y cobalto.

3.2.4. Oxígeno disuelto

Una fotosíntesis intensa durante el día puede incrementar el nivel de oxígeno disuelto hasta más del 200% de saturación. Esto tiene un impacto negativo sobre la productividad, ya que a altas concentraciones el oxígeno puede inhibir la fijación de carbono a la célula, esta inhibición, además, se ve favorecida por la radiación y la temperatura.

El nivel de oxígeno debe ser controlado, con un aumento de la turbulencia y el stripping (despojo) del aire para disminuir la concentración de éste.

3.3. FACTORES BIOLÓGICOS

3.3.1. Contaminación

Ciertos tipos de contaminación son inevitables en reactores expuestos al aire libre y sin condiciones de esterilidad, más aún cuando el medio es agua residual. Los contaminantes se deben controlar diariamente pues algunos microorganismos invasores pueden echar abajo un cultivo en cuestión de horas. Los mayores posibles contaminantes biológicos en un cultivo de microalgas son bacterias, algas, hongos, virus, zooplancton e insectos.

3.3.2. Contaminación por otras algas

Es inevitable, ya que las condiciones en el medio de cultivo son ideales para un gran rango de especies. Una contaminación por otra especie puede cambiar la composición de la biomasa, dejándola en algunos Diseños de una planta para la producción de biofertilizante a partir de *Arthrospira platensis* cultivada en agua residual urbana casos

inútil. La Spirulina se puede ver contaminada por otras especies de cianobacterias a concentraciones de bicarbonato por debajo de 15 g·L⁻¹.

Para prevenir este tipo de contaminación se debe mantener un pH y una concentración de nutrientes y salina alta, además de lavar periódicamente los RWCs y usar un inóculo más concentrado.

3.3.3. Contaminación por hongos

De forma general un cultivo contaminado por hongos no supone un gran problema, aunque en algún caso extremo pueden llegar a destruir el cultivo completo.

Las condiciones de cultivo de la Spirulina permiten que estos cultivos no se vean contaminados de ninguna forma por hongos.

La única forma de prevenirlos es haciendo análisis periódicos por microscopio y tomar medidas ante el más mínimo rastro de contaminación.

3.3.4. Contaminación por zooplancton

Una contaminación de un cultivo por zooplancton puede ser fatal, ya que estos microorganismos se alimentan, “pastan”, de las microalgas. La concentración de biomasa en el reactor se puede ver reducida a menos del 10% en menos de 3 días debido a la contaminación de zooplancton herbívoro. A día de hoy no existen referencias de algún cultivo de Spirulina afectado por la contaminación de zooplancton.

3.3.5. Contaminación por bacterias

No es raro que se dé una contaminación por parte de bacterias heterótrofas pues en el medio encuentran todos los nutrientes que necesitan para crecer. Aunque no hay estudios que digan que una contaminación por parte de bacterias en un cultivo de microalgas pueda ser tóxico, debe regularse, pues el fin de la biomasa en algunos casos es el de alimentación animal o humana, y en esos casos deben tomarse medidas de higiene y seguridad necesarias.

Las bacterias contaminantes más comunes son Escherichia Coli, Salmonella, Shigella, Staphylococcus aureas, ...

3.3.6. Contaminación por Insectos

Es común que en estos cultivos crezcan insectos, algunos no son depredadores y no afectan negativamente a la productividad del cultivo. En Spirulina el insecto Ephydra es el más común y no existen medidas para evitarlo. Si el tiempo de residencia es mayor de 10 días o se trabaja en discontinuo, Diseño de una planta para la producción de biofertilizante a partir de Arthrospira platensis cultivada en agua residual urbana los huevos de este insecto eclosionan y las larvas se alimentan del cultivo pudiendo reducir la productividad hasta un 40%.



GOBIERNO REGIONAL DE APURÍMAC

GERENCIA GENERAL REGIONAL

OFICINA REGIONAL DE FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE INVERSIONES



La presencia de insectos, puede atraer animales más grandes como aves o roedores, éstos no suponen un problema grave de contaminación, pero también se deben evitar en la medida de lo posible.

- **Obtención de biomasa de alga *Espirulina* como resultado de trabajo en modulo experimental.**

La biomasa de la *Espirulina* (cianobacterias) es el cuerpo entero del micro alga en estado húmedo, que se obtiene como resultado final de su crecimiento en los bioreactores mayores al cabo de 20-25 días desde su siembra.

Éste proceso consta de 3 fases principales: ampliación de población de las micro algas en condiciones de laboratorio, cultivo de las algas a escala intermedia (inoculación) y gran escala en los Bioreactores controlados.

El estudio más detallado sobre éste tema se observa en el capítulo

4. ESTANDARIZACIÓN DE FACTORES TÉCNICOS DE PRODUCCIÓN DE ESPIRULINA EN BIOREACTORES CERRADOS puntos 4.6., 4.7., 4.8. y 4.9.

- **Transformación de la biomasa de *Espirulina* para su presentación en polvo seco.**

El proceso de transformación de la biomasa húmeda del alga *espirulina* a su estado de polvo seco comprende todo el procedimiento post-cosecha de la materia. El polvo seco se obtiene mediante una maquina molidora a partir de la biomasa seca.

Según nuestros cálculos, la cosecha esperada es de 1 gr. de *espirulina* seca por litro de cultivo de las algas adultas en los bioreactores mayores.

La informacion en detalle respecto a este punto podemos encontrar en el capítulo

4. ESTANDARIZACIÓN DE FACTORES TÉCNICOS DE PRODUCCIÓN DE ESPIRULINA EN BIOREACTORES CERRADOS, puntos 4.17., 4.18., 4.19., 4.20., 4.21. y 4.22.



- **Estandarización de los factores de producción de Espiruliana en el medio local de la ciudad de Abancay (Todo el proceso, desde el cultivo de la sepa hasta su transformación).**

8. ESTANDARIZACIÓN DE FACTORES TÉCNICOS DE PRODUCCIÓN DE ESPIRULINA EN BIOREACTORES CERRADOS

4.1. Acondicionamiento de Laboratorios.

Instalación de equipos, instrumentos de laboratorio, materiales de vidrio, sistemas eléctricos, sistemas de agua, sistemas de desagüe, sistemas de iluminación artificial, sistemas de aireación por bombeo, etc. (Tabla 06, 07.)

4.2. Obtención de cepas *Arthrospira Platensis* (Espirulina mater 100% natural).

La fase productiva se inicia con la adquisición de cepas de Espirulina (*Arthrospira Platensis*), para luego producirlo masivamente en condiciones de laboratorio.

Las sepas de la espirulina (*Arthrospira platensis*) se podría adquirir en los laboratorios de la **Universidad Nacional San Agustín de Arequipa**, o en los laboratorios de la universidad de Texas de Estados Unidos, quienes tienen la colección de especies de algas más grande del mundo.

Desde la página web de la institución se pueden comprar muestras de las distintas especies con envíos a todo el mundo. El costo de una muestra de *Espirulina Platensis* desde esta página es de U\$D 120 más los costos de importación y envío. De ahí se hará un cultivo a pequeña escala hasta que el volumen sea el suficiente para trasladarlo a los Bioreactores cerrados tipo invernadero para nuestro proyecto.

4.3. Medios de cultivo. Agua

El agua utilizada para hacer el medio de cultivo de las microalgas debe ser limpia o filtrada para eliminar las algas contaminantes. La calidad de agua debe responder a su certificación respecto al contenido de metales pesados y tóxicos, fisicoquímico, bacteriológico y parasitológico.

El agua potable es conveniente. Si contiene demasiado cloro, se debe aerear. Si el agua es muy dura, provocará la formación de depósitos desagradables pero no peligrosos. La utilización de agua salobre puede ser interesante pero es necesario analizarla antes de utilizarla. Algunas aguas contienen bastante o demasiado magnesio y/o hierro.

4.4. Alimentación del cultivo, demanda de nutrientes.

La espirulina necesita de la presencia de ciertos nutrientes en el medio para crecer. No existe una única composición para su desarrollo, pero, a continuación, se muestran las concentraciones específicas convenientes para lograrlo (Tabla 01.).

Los componentes y las concentraciones detalladas previamente son necesarios para el inicio de un nuevo cultivo. Cuando se recupera el medio de las extracciones realizadas este ya posee la alcalinidad necesaria por lo que no sería necesaria la adición de carbonato y bicarbonato de sodio. Estos dos nutrientes no son absorbidos por la espirulina mientras que el resto de ellos sí. Por lo tanto, deben ser agregados nuevamente al medio recuperado. De esta manera, la concentración de fertilizantes para un cultivo recuperado es similar a la de un cultivo virgen, pero sin la adición de los componentes mencionados.

Es importante destacar las magnitudes de reposición de tres nutrientes: cloruro de sodio y nitrato y sulfato de potasio. Debido a esto, teniendo en cuenta las densidades específicas de cada uno, se incorporarán tanques para almacenar e incorporar estos nutrientes a la recirculación del medio de cultivo.

Las necesidades nutricionales de la espirulina, la concentración de los minerales en el medio de cultivo siempre tiene que ser comprobada y se debe corregir cualquier diferencia, la principal fuente de carbono es el bicarbonato. Para el crecimiento, las funciones estructurales y metabólicas de la espirulina son importantes los iones de minerales como: fósforo, azufre, sodio, magnesio, calcio. Otros minerales son los micronutrientes que son requeridos en menor cantidad y estos actúan como catalizador y reguladores de reacciones enzimáticas de procesos fisiológicos. Los micronutrientes son boro, hierro, manganeso y zinc.

El medio de cultivo se obtiene disolviendo los siguientes productos químicos en el agua (Tabla 01):

Nro.	Insumos químicos	Cantidad, g/litro
1	Bicarbonato de sodio	8
2	Sal	5
3	Nitrato potásico (o salitre)	2
4	Sulfato dipotásico	1
5	Fosfato monoamónico	0.1
6	Sulfato de magnesio ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)	0.2
7	Solución de hierro (10 g de Fe/l)	0.1
8	Cal (si el agua es muy poco dura)	0.02

Tabla 01. Composición química del medio de cultivo



GOBIERNO REGIONAL DE APURÍMAC

GERENCIA GENERAL REGIONAL

OFICINA REGIONAL DE FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE INVERSIONES



Si se utiliza sal no refinada, no se necesita el sulfato de magnesio. La solución de hierro se prepara disolviendo 50 gr. de sulfato de hierro ($\text{FeSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$) y 50 ml. de ácido clorhídrico concentrado en un litro de agua. Se puede también utilizar una solución saturada de hierro (clavos) en vinagre con un poco de jugo de limón o carambola. Este medio de cultivo se utiliza para iniciar nuevos cultivos o para completar el nivel de los estanques luego de vaciarlos parcialmente.

La composición arriba mencionada puede variar en amplias proporciones. Así, en lugar de los 8 gr. de bicarbonato, se puede utilizar una mezcla de 5 gr. de carbonato de sodio y 1 gr. de bicarbonato, obteniendo un pH de 10,4.

4.5. Reutilización de nutrientes del medio de cultivo

El principio consiste en reemplazar, luego de cada cosecha, los elementos nutritivos tomados del medio de cultivo por la Spirulina cosechada, a fin de mantener la fertilidad del medio de cultivo. En la práctica los nutrientes se pueden añadir regularmente cada día según la productividad media.

El mayor elemento nutritivo es el carbono, que el medio de cultivo absorbe espontáneamente del aire bajo la forma de anhídrido carbónico (CO_2) cuando su pH es mayor de 10. Como el aire contiene muy poco de CO_2 , la absorción de éste corresponde a una productividad máxima (cuando el pH llega a 11) de 4 g de spirulina por día y por m^2 de estanque. Es posible inyectar CO_2 suplementario para aumentar la productividad, bajo la forma de gas de fermentación alcohólica o de una botella de CO_2 líquido: el gas burbujea en el medio de cultivo debajo de un plástico con soporte de madera (con superficie alrededor de 4 % de la del estanque) que lo retiene como una campana durante el tiempo que tarde en disolverse. Una dosis de CO_2 conveniente es de 1 kg por kg de spirulina producida.

El azúcar puede reemplazar el CO_2 como fuente de carbono (medio kg de azúcar = 1 kg de CO_2). Además del carbono la spirulina consume los nutrientes habituales en agricultura: N, P, K, S, Mg, Ca, Fe y oligoelementos. En la mayor parte de casos los oligoelementos y el calcio son aportados por el agua y las impurezas de las sales utilizadas. En ciertos casos el agua contiene demasiado calcio, magnesio o hierro, lo cual produce depósitos minerales que a veces incomodan.

No utilizar los fertilizantes agrícolas granulados de disolución lenta ("slow release") que contienen muchas impurezas. Utilizar los fertilizantes solubles cristalizados vendidos para las soluciones nutritivas hortícolas.

El salitre potásico es la fuente preferida de nitrógeno, pero en la mayoría de países la úrea es la fuente de nitrógeno más económica. La úrea es excelente para la spirulina a condición de limitar su concentración en el medio a 50 mg/litro. La úrea en exceso puede transformarse en nitrato o en amoníaco. Si en el cultivo se siente un poco el olor de amoníaco no hay peligro pero si el olor es fuerte al menos una parte de la espirulina morirá.

En caso de necesidad todos los nutrientes salvo el hierro pueden ser proporcionados por la orina de personas o animales en buena salud y que no consumen medicamentos como antibióticos. La dosis a utilizar es alrededor de 17 ml/g de espirulina cosechada.

4.6. Siembra de la Espirulina (*Arthrospira Platensis*) en laboratorio.

Después del acondicionamiento de los laboratorios se procederá a la siembra de las cepas de la microalga en un medio de cultivo. Posteriormente se realizarán los conteos de las células de las microalgas por microscopio.

La siembra inicial de las microalgas en condiciones de laboratorio se procede tomando la concentración máxima de 3 g de spirulina (contada en seco) por litro, la simiente se puede guardar y transportar durante una semana sin que ella se degrade, esto a condición de que el recipiente sea medio lleno y ventilado al menos dos veces por día. Si la ventilación se hace con burbujas continuas de aire, la concentración puede llegar a 10 g/l.

El cultivo de las microalgas en laboratorio comprende 4 pasos: desde las cepas (250 ml.), el cultivo de inóculos (250 ml – 4L.), cultivo a escala intermedia (4L - 20L) y finalmente tenemos el cultivo a mayor escala (50 L – más). El crecimiento en cada etapa es de aproximadamente 1 – 2 semanas. (Gráfico 03.).

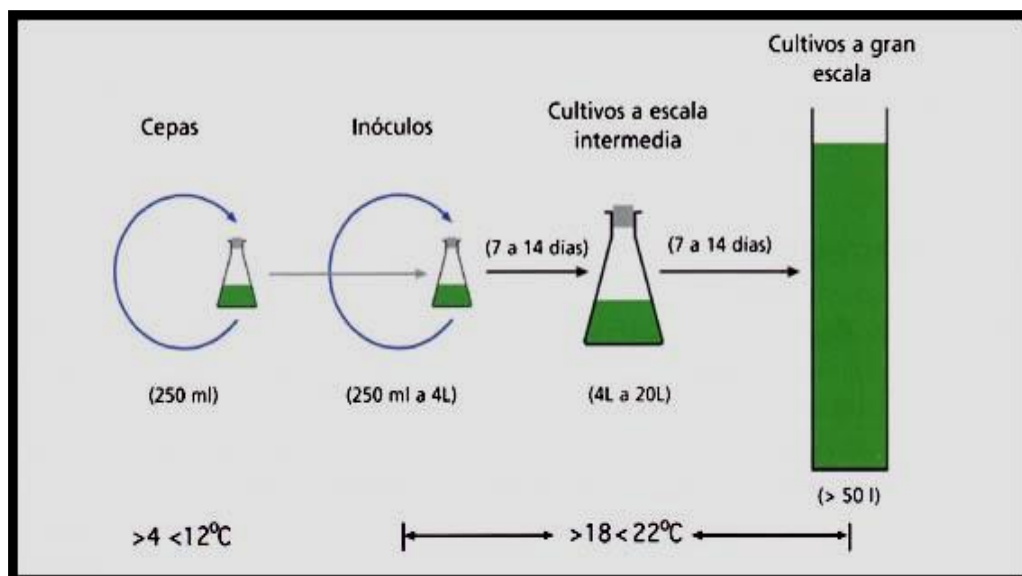


Gráfico 03: Siembra. Etapas en la producción de la microalga *Arthrospira platensis*.

Cepas (250 ml ó menos) siguen aisladas bajo luz y clima controlados (a baja temperatura) y sólo se emplean cuando es necesario inocular los bioreactores.

4.7. Crecimiento de la población *Espirulina* en laboratorio.

Durante el periodo de evaluación en laboratorio se llevará un control del crecimiento de los microalgas *Arthrospira platensis*. Para esta operación se utiliza la cámara de Neubauer. El conteo se realizará cada día, a partir del tercer día.



Imagen 01: Sistema de producción de las micro lagas. *Espirulina* mater 100% natural



Imegen 02. Conteo de cepas a través del microscopio.

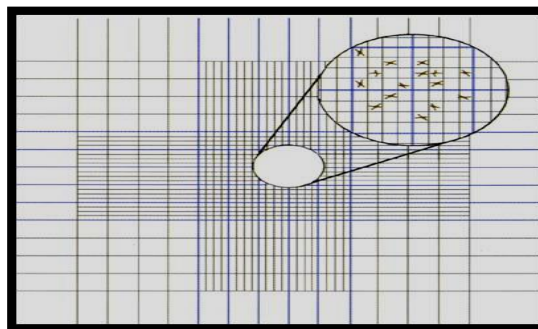


Imagen 03. Cámara de Neubauer para el conteo de cepas



GOBIERNO REGIONAL DE APURÍMAC

GERENCIA GENERAL REGIONAL

OFICINA REGIONAL DE FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE INVERSIONES



4.8. Inoculación de las cepas de espirulina en los Bioreactores

Para la inoculación de las algas en los Bioreactores se escoge una simiente (cepa) bien espiralada, con pocos o no filamentos rectos (al menos 50 % espiralada).

Una simiente concentrada se obtiene fácilmente a partir de un cultivo en buena salud, tomándola de la nata o rediluyendo con medio de cultivo una masa despirulina fresca cosechada pero no exprimida. A la concentración máxima de 3 g de spirulina (contada en seco) por litro, la simiente se puede guardar y transportar durante una semana sin que ella se degrade, ésto a condición de que el recipiente sea medio lleno y ventilado al menos dos veces por día. Si la ventilación se hace con burbujas continuas de aire, la concentración puede llegar a 10 g/l.

La inoculación consiste simplemente en mezclar la simiente con el medio de cultivo. Es recomendable mantener un nuevo cultivo inicialmente y en curso de crecimiento (dilución progresiva con medio de cultivo nuevo) con una concentración de spirulina alrededor de 0,3 g/l (bien verde). Se puede esperar una tasa de crecimiento de 30 % por día si:

- la temperatura es correcta,
- el medio de cultivo es a base de bicarbonato,
- se aumenta la superficie del estanque manteniendo la profundidad del cultivo a bajo nivel (no superando 10 cm) y la concentración de spirulina alrededor de 0,3 g/l.

Cuando la superficie final del estanque no es la deseada, aumentar el nivel y la concentración del cultivo hasta el nivel deseado.

4.9. Cultivo a escala intermedia y gran escala en los Bioreactores.

Las unidades principales de producción son los fotobiorreactores (estanques cerrados) tipo invernadero en nuestro caso, la producción de microalgas requiere de un proceso de puesta en marcha que no es ni rápido ni simple. Este se planifica de tal forma que en la misma planta haya una serie de estanques, los más pequeños tendrán la función de arrancar el sistema.

El salto de la escala de producción de las microalgas, consisten en reactores que van desde el laboratorio hasta la escala de los reactores diseñados. Cada reactor inoculará al siguiente de forma que en el nuevo haya, al menos, una concentración de 100 mg·L.

En nuestro esquema de cultivo de ampliación de las microalgas se dispondrá de 4 niveles:

- el primer nivel inicial con capacidad de 3 000 L.,
- el segundo nivel con capacidad de 8 000 L.,
- el tercer nivel con capacidad de 24 000 L.
- el cuarto nivel con capacidad de 72 000 L.

El cuarto nivel es la última escala de cultivo, donde se cultivará para la obtención de la cosecha esperada de cada Bioreactor.

El tiempo necesario de crecimiento en los 3 primeros niveles es de aproximadamente 15 días, es decir se cultivará el tiempo suficiente para alcanzar la concentración máxima y seguidamente inoculará al siguiente reactor. Así hasta inocular los 19 bioreactores de fase final de la planta.

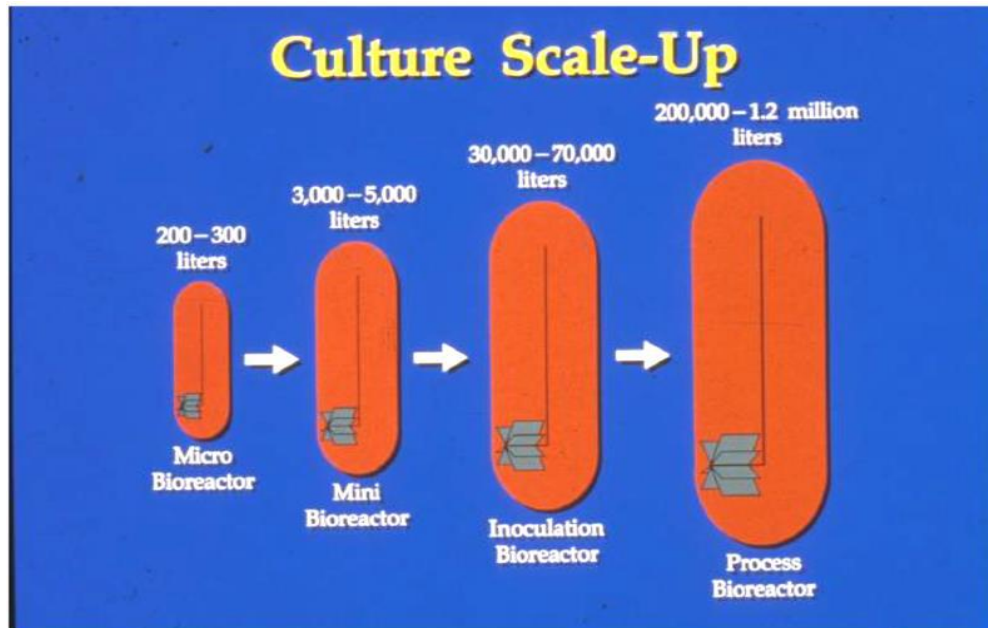


Gráfico 04. Ampliación de cultura en los Bioreactores



Imagen 04. High Rate Algal Ponds (HRAP) - Estanques de algas de alta velocidad.

*En la parte del extremo inferior izquierdo de la foto se observa los dos reactores iniciales de arranque de 300-500 litros (depende de las dimensiones del estanque de producción adulta) de cultivo de la *Espirulina* (*Arthrospira platensis*) . El cual es el origen para el llenado de los demás reactores de producción como se observa.*

4.10. Cultivo continuo

Con este modo se mantiene la población de la *Espirulina* en fase exponencial de crecimiento durante largos periodos de tiempo. Los nutrientes son añadidos continuamente, en la misma medida que son retirados, para mantener los parámetros de crecimiento y la población constante.

Para obtener cultivos continuos, todos los factores de crecimiento deben mantenerse constantes. La densidad del cultivo se controla manteniéndola a concentración constante. La ventaja de esta forma de cultivo es que se pueden mantener unas condiciones óptimas de estado estacionario con un menor grado de control.

4.11. El pH del medio de cultivo

Es importante para el desarrollo y determina la solubilidad de los nutrientes, los mejores resultados se obtienen con valor de Ph 9-11.

El pH del medio de cultivo dependerá principalmente del aporte de CO₂ como nutriente, que forma ácido carbónico y baja el pH.

La fotosíntesis realizada por las microalgas en presencia de radiación solar y que, al consumir CO₂ y producir oxígeno, aumenta el pH como consecuencia.

La dosificación de CO₂ como acción reguladora tiene dos objetivos: en primer lugar, se produce una acidificación del medio de cultivo recuperando la capacidad del tampón y llevando el pH al punto óptimo de equilibrio para la microalga, y en segundo lugar proporciona una fuente de carbono inorgánico indispensable para el crecimiento.

El bicarbonato de sodio tiene un comportamiento anfótero, es decir, regula el pH de un medio. En el caso del cultivo de microalgas, éste regula el pH para que no suba demasiado durante los periodos de fotosíntesis intensa.

Al ser una sal formada por la unión de un ácido diprótico (H₂CO₃) y una base fuerte (NaOH), el pH de la disolución en agua será básico.

El sistema de control consistirá en un pH-metro colocado dentro del medio de cultivo que medirá el pH del medio y mandará una señal a la válvula de CO₂, si el valor está por debajo del valor de consigna 9.5, ésta se abrirá lo suficiente y el tiempo necesario para alcanzar este valor de nuevo.

4.12. La temperatura del medio de cultivo es el factor climático de mayor importancia para la rapidez de crecimiento y la calidad de la spirulina. Por debajo de 22°C el crecimiento de las algas es prácticamente nulo. La temperatura óptima para el

crecimiento es de 25°C - 38°C, se puede aprovechar el efecto invernadero. Encima de 40°C, la espirulina está en peligro.

En la localidad de San Gabriel, Pachachaca, Abancay, las temperaturas promedio mínima y máxima son de 14°C y 25°C respectivamente, por lo que se ajustan bien a los requerimientos de las algas.

4.13. La iluminación es indispensable para el crecimiento de la espirulina (fotosíntesis), pero no se deben proporcionar 24 horas continuas por día.

Además, la iluminación incidente solar es muy alta, se debe reducir hasta un 30% de su total para evitar la pérdida de algas por sobre exposición a la misma. La construcción del invernadero ayuda a este punto.

La iluminación y el calentamiento artificiales pueden ser utilizados para acelerar el crecimiento de la espirulina. En este caso se utilizarán tubos de luz incandescentes halógenas que cumplirán la doble función de: iluminar para permitir el desarrollo del cultivo, por fotosíntesis durante la noche y, por otro lado, calentar el ambiente cerrado de las piletas para mantener una temperatura adecuada.

Estos tubos estarán emplazados de forma transversal a la piletta y separados 5 metros uno del otro. De esta manera se posibilita el crecimiento del cultivo durante todo el año, asegurando condiciones de temperatura aproximadamente estables y así obteniendo un ritmo de crecimiento elevado.

4.14. La radiación solar

Debido a que la mayor producción se da entre 30-50 Klux, se diseñara la construcción para evitar pérdidas de calor, mantener la temperatura constante. La iluminación es indispensable para el crecimiento debido al proceso fotosintético y se debe controlar la iluminación para evitar daños por fotolisis.

4.15. Agitación del medio de cultivo en los Bioreactores

El objetivo del sistema de agitación del agua en los estanques es proveer el sistema de flujo turbulento para favorecer la mezcla y homogeneidad del sistema además de evitar que las células sedimenten.

La agitación del medio de cultivo se vuelve uno de los requerimientos más importantes para obtener productividades altas de biomasa en el cultivo algal. Se observa que en la superficie del cultivo se forma una capa compacta y densa de espirulina, por el crecimiento competitivo de las mismas; esto limita el crecimiento; razón por la cual se agita el medio de cultivo para:

- Permite mayor exposición a la luz evitando la formación de coágulos o grumos.
- Lograr mayor intercambio gaseoso entre el medio ambiente y el medio de cultivo, favoreciendo la liberación del oxígeno generado por la respiración.
- Disminuir la precipitación de sales del medio de cultivo.



GOBIERNO REGIONAL DE APURÍMAC

GERENCIA GENERAL REGIONAL

OFICINA REGIONAL DE FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE INVERSIONES



Con una buena agitación se consigue una distribución uniforme y frecuente a la luz, se evita la sedimentación de las algas, los nutrientes se distribuyen de manera homogénea a lo largo del sistema, incluido el CO₂, y se previene la estratificación térmica. La necesidad de una distribución uniforme de los nutrientes previene la formación de gradientes a lo largo del sistema que pueden limitar o inhibir el crecimiento. La agitación también ayuda a que se libere el oxígeno formado durante la fotosíntesis, que, si se encontrara en altas concentraciones la inhibiría.

4.16. Atenciones de cultivo

La capacidad fotosintética de la *Spirulina* es saturada por una luminosidad correspondiente a un tercio de pleno sol. Un sombreamiento es benéfico para la salud de la *Spirulina* y además útil para reducir la evaporación del agua, la temperatura (< 40°C) o el pH (< 11). En la práctica es muy raro que la temperatura sea demasiado alta en estanques al aire libre, pero el pH puede subir muy alto si la alimentación en carbono es insuficiente.

El nivel de agua en el estanque debe mantenerse alrededor del nivel deseado. La evaporación puede compensarse agregando agua.

Para evitar la formación de grumos con la cepa es recomendable mantener el pH encima de 10 así como un buen aporte de nitrógeno bajo forma de úrea.

El cultivo es un ecosistema en el cual diversos organismos viven en simbiosis: bacterias adaptadas que se nutren de desechos orgánicos y zooplancton (como paramecias) que se nutre de bacterias, transformándolas en nutrientes minerales y CO₂ para la *spirulina*.

Bacterias y zooplancton consumen además el oxígeno producido por la *spirulina*, lo cual es favorable para el crecimiento de la *spirulina*. Estos procesos biológicos son bastante lentos, de suerte que si el nivel del cultivo es bajo y/o si la productividad en *espirulina* es elevada, podría haber acumulación de desechos resultando en alta turbiedad y dificultad de cosecha. Para mejorar tal medio de cultivo sucio, basta renovarlo parcialmente o bajar la productividad sombreando mejor el bioreactor o dejando subir la concentración de *spirulina*; el mejoramiento se produce normalmente en una o dos semanas.

4.17. Extracción de la biomasa de la microalga

La finalidad de este proyecto es la producción de biomasa fresca de *Espirulina* en medios hidropónicos para la elaboración de capsulas y polvo micropulverizado para el consumo de los humanos.

Una vez alcanzada su crecimiento máximo de la micro alga *Espirulina* (20 a 25 días) en los reactores se procederá a la cosecha manualmente de la biomasa.

Este proceso comprende esencialmente la etapa de extracción y las sucesivas etapas de filtrado y lavado donde se obtiene la biomasa seca a partir de una concentración de 1 g/litro de cultivo. Cada extracción será de dos tercios del volumen del estanque, para

así asegurar que las micro algas se reproduzcan para nuevamente tener el volumen original al cabo de una semana.

4.18. Cosecha de la biomasa

La espirulina es un alga filamentosa y la forma optima de cosecha es por medio de filtros de acero inoxidable. Este método utiliza mucho menos energía que la centrifugación.

Toda la biomasa debe ser separada con el fin de cumplir la regulación pertinente a la calidad del agua reutilizable, por ello es fundamental basarnos en la efectividad del método a la hora de seleccionarlo.

Se ha seleccionado el método de cosechado en función de su calidad y efectividad en la separación sólido-líquido, de forma que los costes de operación no sean muy altos.

A la hora de seleccionar el método se ha tenido en cuenta el tamaño de la Spirulina, que mide entre 30 y 70µm, la densidad, que es prácticamente igual que la del agua, y el porcentaje de sólido que queremos en el concentrado de biomasa.

La proximidad de la cosecha se determinará de acuerdo a las curvas de crecimiento; considerando el tiempo y numero de celulas por mililitro observados en laboratorio, hasta cuando el incremento del crecimiento se detenga y empiece a decrecer.

El mejor momento para la cosecha es temprano en la mañana, por muchas razones:

- la baja temperatura hace el trabajo más agradable,
- habrá más horas de sol para secar el producto,
- el porcentaje de proteínas está a su máximo en la mañana,
- la filtración está más rápida.

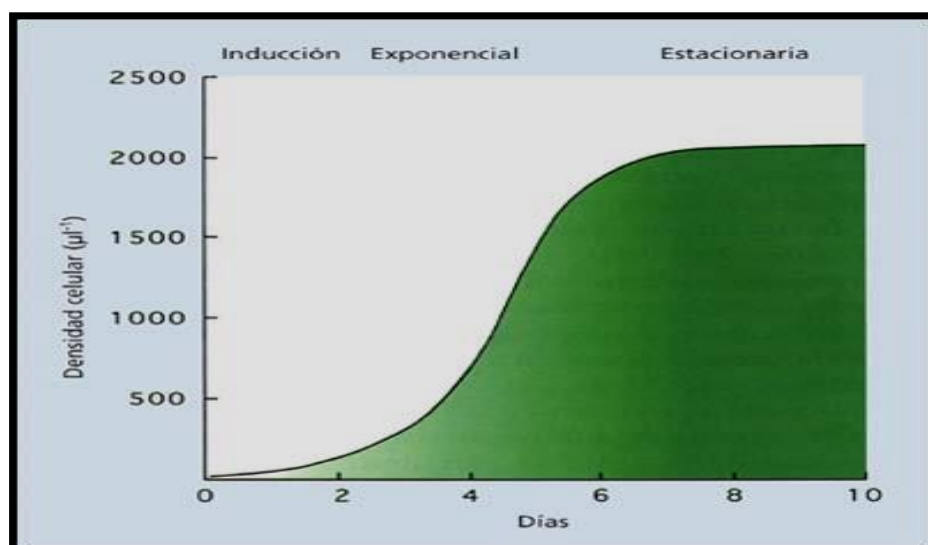


Gráfico 05. Dinámica de producción de la *Arthrospira platensis*

4.19. Filtración

Mientras la espirulina se pasa por los filtros, ésta se lava varias veces con agua fresca, lo cual garantiza un producto limpio de sabor fresco

La filtración por gravedad es el método más barato y simple para separar sólidos suspendidos de un tamaño suficiente para ser cribados o colados. Está restringidos a organismos filamentosos u organismos que formen colonias lo suficiente para quedar atrapados en cribas de entre 50 y 100µm. No filtra especies de menor tamaño.

La filtración por gravedad se efectúa a través de una malla sintética (polyester o polyamide) de aproximadamente 40 µ (0,04 mm) de apertura. El filtro puede ser un saco colocado encima del estanque para reciclar directamente lo filtrado. Antes de ser filtrado el cultivo debe pasar por un colador o un tamiz de malla 0,3 mm para eliminar los cuerpos extraños como insectos, trozos de vegetales, etc.

Se puede hacer uso de un recipiente de bordes rectos, evitando mover el fondo donde se encuentran los depósitos. La filtración se puede acelerar moviendo o raspando suavemente la malla. Cuando la mayor parte del agua es colada, la spirulina (la biomasa) se junta formando como una "bola" gracias al movimiento de la malla.

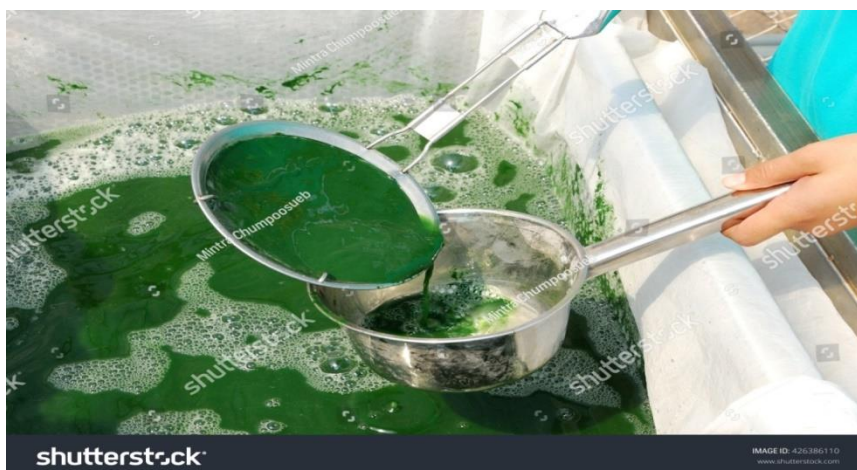


Imagen 05.

4.20. Extrusión (prensado)

Este paso tiene como finalidad extraer la mayor cantidad de agua posible de la biomasa. El exprimido se realiza para eliminar el medio de cultivo residual y obtener la "spirulina fresca", lista a ser consumida o secada, conteniendo alrededor de 20 a 25 % de materia seca según las cepas y la salinidad del medio.

El exprimido final se hace simplemente a presión: la biomasa se pone como una torta de unos centímetros de espesor en una malla (la misma que sirve para la filtración es buena, preferiblemente doblada por una tela fuerte de algodón) entre dos placas

ranuradas con pesos encima (piedras, ladrillos, bloquetas, etc.) o en una prensa o un lagar.

Una presión de 0,2 kg/cm² durante un cuarto de hora es suficiente para eliminar el agua intersticial, aunque a veces la presión y/o el tiempo deben ser más largos para obtener una torta prensada suficiente firme. Detener la presión cuando el "jugo" se vuelve demasiado verde.



Imagen 06.

4.21. Lavado

EL sistema es más adecuado de lavado es con agua dulce fresca para eliminar los restos del medio de cultivo sin destruir la spirulina, salvo que el exprimido sea muy difícil o imposible debido a una biomasa de calidad inferior (100 % de filamentos rectos por ejemplo). En este último caso el lavado debe hacerse de preferencia con agua potable ligeramente salada y acidificada.

El lavado consiste en la remoción completa del medio de cultivo alcalino para evitar contacto con el producto final.

Para asegurar que la biomasa de algas está completamente libre del medio de cultivo, el cual es altamente alcalino, se debe realizar un lavado de las mismas por medio de un sistema de aspersores que liberan una capa de agua muy fina. Esta etapa se realiza tres veces para garantizar una limpieza adecuada de las mismas, es decir que las algas atraviesan tres juegos de aspersores.

4.22. Secamiento

En la industria la espirulina es casi siempre secada por atomización en aire a muy alta temperatura, durante un tiempo muy corto; este proceso da un producto de extrema fineza y poca densidad aparente.

Este proceso es imposible de ser utilizado en pequeña escala. La liofilización es un proceso ideal para la calidad, incluso en pequeña escala, pero de costo tremendo. El



GOBIERNO REGIONAL DE APURÍMAC

GERENCIA GENERAL REGIONAL

OFICINA REGIONAL DE FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE INVERSIONES



secado solar es frecuentemente utilizado por los pequeños productores, pero requiere de algunas precauciones. Si la exposición al sol directo es utilizada, que es la más rápida, debe ser de muy corta duración sino la clorofila será destruida en la superficie y el producto aparecerá grisáceo o azulado.

Sea cual fuere la fuente de calor, la biomasa a secar debe ser puesta bajo la forma suficientemente delgada para secar antes de comenzar a fermentarse. Dos fórmulas para ello: la pasta puede ser esparcida en capa delgada sobre un film plástico o puesto como tallarines en cilindros de pequeño diámetro ("spaghetti" de 2 mm de diámetro) sobre un plato perforado. En la primera fórmula el aire caliente pasa horizontalmente sobre el film mientras en la segunda éste sube verticalmente a través del plato perforado. La extrusión es teóricamente y prácticamente mejor si el diámetro de los tallarines frescos no sobrepasa 2 mm, pero al mismo tiempo hace falta que los cilindros tengan bastante resistencia mecánica para guardar su forma durante el secado y no "derretirse"; esto es lo que impide el uso de este proceso de secado cuando la biomasa prensada es de calidad inferior y no es bastante firme. De todas formas un buen flujo de aire es el factor mas importante para evitar accidentes de secado.

Durante el secado y después la spirulina debe ser protegida del polvo y de los insectos y no debe ser tocada por la mano.

La temperatura de secado debe ser limitada a 65°C y el tiempo de secado a 6 horas (aunque una vez secada la spirulina puede quedar más tiempo al calor en el secador sin problema). Si se seca a baja temperatura, es preferible terminar por 15 minutos a 65 °C para conseguir un buen grado de esterilización y también bajar la humedad del producto a 5 % de agua.

Si la fermentación ha comenzado durante el secado, la podemos detectar por su olor durante y después del secado.

Entre los métodos optimos y económicos para el secado de las micro algas podríamos mencionar:

- Secado por sol. La ventaja de éste método es sin costo, pero es un método lento que siempre va depender del tiempo. Puede fermentarse la biomasa, poco control, la esterilización no es posible, pero no rompe las paredes celulares.
- Secado en hornos solares. Es un proceso relativamente lento, de costos menores.
- Secado en hornos electricos o por pulverización. Es proceso de secamiento clásico, rápido y eficiente, pero costoso. Con éste método se esteriliza el producto, exelente calidad, la rotura de la paredes celulares no siempre se garantiza.



Imagen 07.

4.23. Control de calidad

Por cada lote producido de micro alga espirulina se realizara los siguientes análisis: análisis microbiológico, contenido de proteínas, contenido de organolépticas como color, olor, sabor y textura.

4.24. Envasado. Encapsulación

Despues del secado, las escamas o tallerines secos (biomasa seca) son convertidos en polvo por molido para aumentar su densidad aparente y facilitar su almacenamiento.

Para operaciones de producción de capsulas de la microalga en polvo, se contará con encapsuladores manuales con una entrega de 500 capsulas por vez.



Imagen 08. Encapsuladoras Semiautomaticas 200cps MXN 8500.00.

Como una segunda opción el encapsulado del polvo de espirulina se podría utilizar la máquina automática del proveedor peruano Encapsulando SAC, quien entre sus distintos modelos posee la encapsuladora NJP800 que puede realizar 48.000 cápsulas por hora.

Dado que hay diversos tamaños de cápsulas se debe calcular cual es la que corresponde para el peso deseado. Teniendo que la densidad del polvo espirulina es del orden de 0.47g/ml²³ y los distintos volúmenes de cápsulas²⁴, se obtiene que la cápsula 0E# contiene una cantidad de 434mg por cápsula lo cual se aproxima lo suficiente a los deseados 500mg.

El costo de estas cápsulas es de U\$D 956 las 100.000 pastillas 25, sin tener en cuenta los costos de envío y nacionalización. Un posible proveedor de capsulas es Capsule Depot Inc. de Canadá.



Imagen 09. Modelo de encapsuladora.

4.25. Dosificación. La dosificación de las cápsulas es el modo de llenar los frascos con la cantidad adecuada.

Para esta etapa, se debe contar con una máquina que cuente las cápsulas y las libere cuando se llegue al número deseado (puede ser de 40-60 unidades por envase). Nuevamente como proveedor de este equipamiento se eligió a la marca peruana Encapsulando quienes cuentan entre sus modelos el equipo CT100SP capaz de realizar dosificaciones de hasta 26 frascos por minuto (este caso la productividad será de 40kg/hrs).



Imagen 10. Modelo de dosificadora.

4.26. Mano de obra

Se evaluaron los requerimientos de los equipos y de actividades generales de la planta para detallar los requerimientos de mano de obra. En la siguiente tabla se muestran los mismos (Tabla 02).

	Cantidad	Tarea
Planta	1	Encargado de cultivo
	1	Encargado de prefiltrado y filtrado
	1	Encargado de lavado
	1	Encargado de secado
	1	Encargado de encapsuladora
	1	Encargado de contadora
	1	Gerente de planta
	1	Gerente de calidad
Oficina	1	Administración e insumos
	1	Distribución, Comercialización

Tabla 02. Layout de planta.

El encargado de cultivo accionará la bomba para efectuar la extracción (cosecha) y añadirá los insumos pautados a los estanques, siguiendo las órdenes del gerente de calidad respecto a cualquier alteración en las cantidades de insumos. El gerente de calidad deberá ser un biólogo que tome muestras de los estanques y pueda efectuar las necesarias alteraciones en cantidades de insumos químicos para las mismas y evaluar la calidad del producto a través del proceso productivo.

El encargado de pre filtrado y filtrado quitará la biomasa de espirulina de los pre-filtros y la verterá en los filtros oscilantes o prensado. Dada la poca carga horaria de ambas estaciones y la limitada interacción humana necesaria, una sola persona puede encargarse de ambas tareas.

El encargado de secado accionará la correspondiente máquina. Al tener tan poca carga horaria, este operario deberá ser polivalente para poder colaborar en otra estación si así se lo requiriera.

4.27. Estrategia de mantenimiento

La estrategia de mantenimiento que se adoptará ser preventiva. El objetivo de esta es minimizar el número de paradas imprevistas, intentando garantizar el buen funcionamiento de la maquinaria y finalmente, poder asegurar el nivel de calidad del

producto. El mantenimiento adquiere una gran relevancia ya que la calidad es el pilar de la estrategia de diferenciación.

Se realizará mantenimiento a todos los equipos con el fin de minimizar la cantidad de paradas imprevistas. Dado que la planta trabajará solamente un turno de ocho horas, cinco días por semana, existen muchos momentos para hacer el mantenimiento de maquinaria. Consecuentemente, el mantenimiento se hará fuera del horario laboral, ya sea en turno tarde/noche o los sábados.

Algunas maquinarias deben ser repuestas cada cierto tiempo, como las mallas metálicas del pre filtrado. Otros equipos como la secadora spray y la encapsuladora tienen una vida útil que sobrepasa la estipulada para este proyecto; sin embargo, se hará mantenimiento preventivo para minimizar las paradas no deseadas. La membrana de PVC que recubren las piletas tienen una vida útil de 20 años (National Institute of Oceanography, India). Si llegara a haber algún corte o rasgadura, se puede emparchar la membrana aplicándole una nueva capa por encima y soldado ambas con calor.

Vale destacar el caso del nylon que cubre las piletas. Este nylon probablemente necesite ser repuesto todos los años por condiciones climáticas.

9. Diagrama de flujo para la producción de espirulina en polvo

El diseño del proceso productivo integral se elige en base a diversos estudios sobre el tema respecto a los objetivos como producción intensiva, extensiva, comercial o social.

A continuación, se puede ver 3 diagramas de operaciones unitarias del proceso de producción de Espirulina. Los volúmenes de trabajo en cada etapa pueden variar de año a año dependiendo de los márgenes y conveniencias que uno se propone.

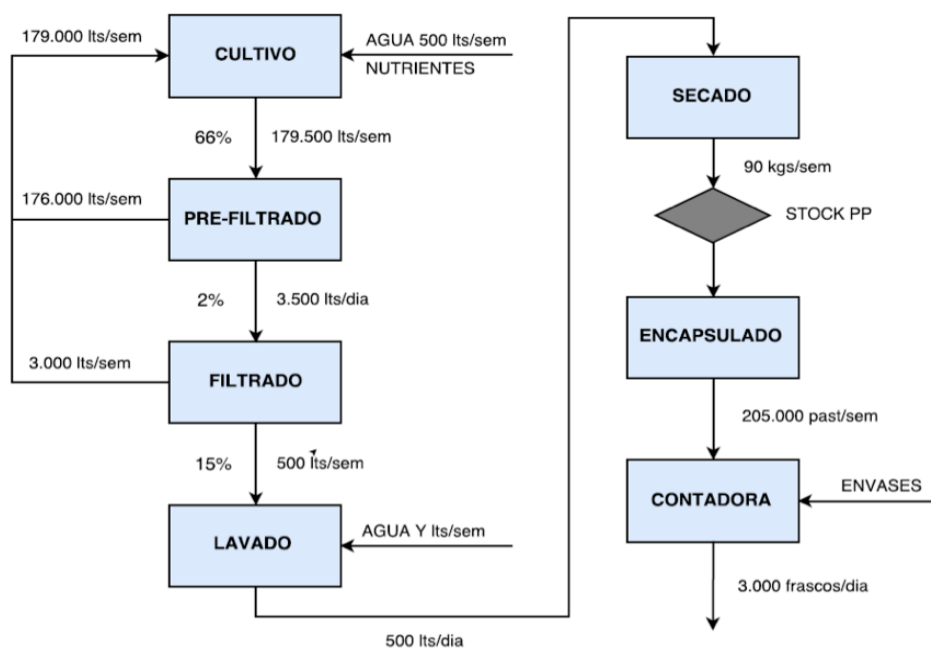


Gráfico 06 : Flujo del procesos unitarios de producción industrial comercial.

10. Organización de la Planta

La organización general establece el patrón o patrones básicos de flujo para el área que va a ser organizada para la producción de la espirulina. Esto también indica el tamaño, relación y configuración de cada actividad mayor, departamento o área.

Todos estos pasos mencionados se aplican en secuencia, y, para mejores resultados, deben trasladarse uno a otro, es decir, que todos pueden iniciarse antes de que termine el anterior, ya que son complementarios.

Frecuentemente los pasos de localización e instalación no son una parte del proyecto específico de organización de la planta por los ingenieros, aunque el proyecto debe basar cada caso por estos primeros y últimos pasos. Por tanto, el planeado de la organización concreta en los pasos de plan de organización y de preparación al detalle.

11. Magnitud de la planta piloto

Se conoce como tamaño de una planta la capacidad instalada de producción de la misma. Esta capacidad se expresa en la cantidad producida por unidad de tiempo. Es decir, volumen, peso, valor, o unidades de producto elaborados por año, mes, días por turnos y horas, etc.

La capacidad del proyecto se expresa, no en términos de la cantidad de productos que se obtienen, sino en función del volumen de materia prima que se procesa.

En proyectos que cuentan con equipos de diferentes capacidades, la capacidad del proyecto viene dada en función de los equipos de menor capacidad. Para aquellos proyectos que fabriquen o procesen diversos productos de características diferentes, el tamaño del proyecto se acostumbra especificar con respecto a la producción de un lote o mezcla de productos.

La distribución en planta implica la ordenación de espacios necesarios para movimiento de material, almacenamiento, equipos o líneas de producción, equipos industriales, administración, servicios para el personal, etc. Para ello, se ha tenido en cuenta, entre otros principios, el principio de la mínima distancia recorrida, el máximo aprovechado del espacio disponible y criterios de seguridad y comodidad para los trabajadores. De este modo se obtiene la distribución más económica y eficiente.

Se aplica el método SLP, Systematic Layout Planning (Planificación sistemática de la distribución en la planta), ya que es un método sencillo y sistemático para planificar la distribución de cualquier tipo de edificación.

Se divide en 4 fases:

- ✓ Localización,
- ✓ organización general completa,
- ✓ preparación al detalle y,
- ✓ instalación.



GOBIERNO REGIONAL DE APURÍMAC

GERENCIA GENERAL REGIONAL

OFICINA REGIONAL DE FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE INVERSIONES



Para la instalación de nuestro proyecto se ha considerado el tamaño de la planta a la disponibilidad de terreno disponible para su instalación **10 000 m² (1 hectárea)**:

- Consideraremos 1000 m² para áreas administrativas, área de parqueo, áreas verdes, comedores servicios higiénicos, habitaciones, accesos, planta de producción etc.
- Para la construcción de los biorreactores y cultivo de la *Arthrospira Platensis* se se dispondrá en base a 9 000 m² disponibles.

12. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL BIORREACTOR

El bioproceso clásico de crecimiento heterótrofo de las levaduras y serie de bacterias no necesitan la luz para el normal desarrollo de sus actividades fisiológicas. Los cultivos de microalgas no tienen una geometría simple pues necesitan que se les suministre luz, ya que funcionan como un sustrato más. De forma general, la luz será el sustrato limitante del bioproceso. Además de luz, un cultivo de microalgas requiere de una fuente de carbono, una fuente de nitrógeno y fósforo, la presencia de elementos trazas como ciertos metales pesados y vitaminas, y condiciones ambientales (pH y temperatura) adecuadas.

Las microalgas se cultivan en fotobiorreactores, éstos se pueden clasificar en dos tipos: fotobiorreactores abiertos y cerrados (invernaderos).

Con los fotobiorreactores cerrados se obtienen productividades más altas, ya que se tiene un buen control del sistema y algunos han sido diseñados específicamente para ciertas especies de microalgas, optimizando el acceso a la luz y la transferencia de materia. Los más específicos tienen zonas diferenciadas de captación de luz y de desorción de O₂ y aporte de CO₂. La desventaja de estos sistemas es que son caros y el escalado es difícil.

Los biorreactores abiertos son, generalmente estanques, en los que, los más sofisticados, tienen agitación y control de pH mediante la dosificación de CO₂. Los reactores abiertos del tipo raceway o High Rate Algal Ponds (HRAP - estanques de algas de alta velocidad) son los más extendidos en el diseño de una planta para la producción de la *Arthrospira platensis*.

Entonces, las microalgas pueden ser cultivadas en multitud de sistemas. Se buscan, como ya se explicó, aquellos sistemas que aporten un buen acceso a la luz, la cual se considera como un nutriente más, y sean capaces de mantener el medio homogéneo en cuanto a temperatura, pH y distribución de nutrientes, entre otros parámetros.

Sobre esta base de la unidad productora se realizara acciones de capacitacion, entrenamiento, innovacion tecnologica, servicios , conservacion del ambiente y otras acciones orientadas a la sostenibilidad de la actividad en la región.

13.ELECCION DEL BIOREACTOR DE CULTIVO

High Rate Algal Ponds (HRAP)

Se utilizara un fotobioreactor que consiste en un Sistema de cultivo de organismos fototrofos en el que una gran proporción de la luz no invade directamente la superficie del cultivo, sino que pasa a través de una pared transparente antes de alcanzar las células cultivadas, con esto se evita el intercambio directo de gases y contaminantes (polvo, microorganismos, etc), entre el cultivo y la atmosfera.

Tomonado como referencia criterios económicos y de escalado, factores clave para la viabilidad del proceso, para nuestro proyecto se ha decidido diseñar el sistema de cultivo en **estanques cerrados tipo invernaderos HRAP** (High Rate Algal Ponds) debido a que, principalmente, se va a cultivar una especie extremófila, el medio de cultivo de la Espirulina se mantendrá a un pH 9,5-10 lo que impedirá la contaminación por otros microorganismos. Además, es un sistema de costo medio de construcción y de operación.

HRAPs son uno de los sistemas más utilizados, consisten en canales de hormigón, generalmente, donde el cultivo es recirculado y mezclado mediante palas. También suelen contar con un sistema de suministro de CO₂ al cultivo, que, además de suministrar una fuente de carbono al cultivo, permite cierto control sobre el pH del medio.

La forma utilizada para la construcción de los mismos es similar a la de una pista de carreras (raceway) ya que permite mover continua y eficientemente todo el cultivo con un solo impulsor. La razón de ello es que un filamento individual de espirulina no puede soportar una exposición prolongada al sol: es destruido por fotólisis. El impulsor debe ser de corto diámetro y rotar a elevadas revoluciones por minuto para mantener un caudal aproximado de 0,3 metros por segundo.



Imagen 11. Bioreactor cerrado tipo invernadero HRAP

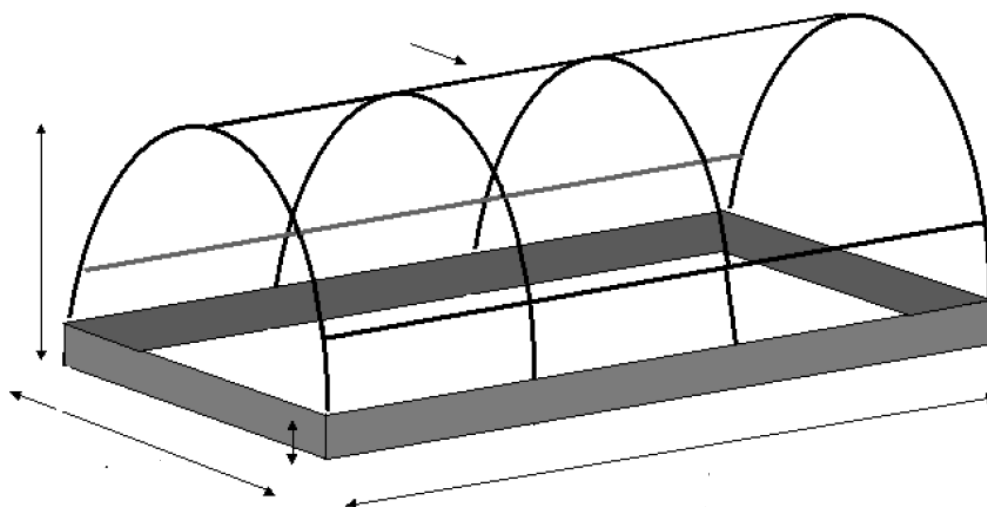


Grafico 07. Dimenciones del Bioreactor:

Largo 30 m.

Ancho 6 m.

Alto 2.5 m.

El diseño es similar a un óvalo y se divide longitudinalmente con un pequeño tabique. A ambos lados de esta pared se disponen suaves curvaturas para que no queden ángulos vivos entre la pared y el piso donde se generen zonas de remansos. Además, se deben redondear todos otros ángulos con el fin de facilitar la circulación del medio y la limpieza del estanque. A la vez, se debe considerar que el fondo tenga una leve pendiente y un agujero para permitir el fácil vaciado del mismo.

En cuanto a materiales, dada su buena calidad, durabilidad, elevada resistencia mecánica y a los rayos UV, una buena alternativa son las láminas de PVC. Para ello, se elabora un encofrado de cemento u hormigón, dándole la estructura base sobre la cual se aplicarán las membranas. Éstas son traslapadas tanto longitudinal como transversalmente y soldadas por fusión con aire caliente.

Los estanques deben ser recubiertos con una estructura cerrada de tipo invernadero la cual cumple múltiples funciones:

- Prevenir la difusión del CO₂ a la atmósfera.
- Reducir la llegada de la radiación solar al estanque.
- Prevenir la contaminación del medio con agentes contaminantes exteriores.
- Mantener una temperatura adecuada del ambiente para la reproducción.

La cobertura plástica transparente puede ser el nylon. Sujetos a las paredes laterales del estanque se colocan, por fuera, estructuras metálicas con el objetivo que den soporte a la cobertura de plástico transparente y así lograr el efecto invernadero.



GOBIERNO REGIONAL DE APURÍMAC

GERENCIA GENERAL REGIONAL

OFICINA REGIONAL DE FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE INVERSIONES



14. ESTUDIO DE INGENIERÍA DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN ESPIRULINA

Se ha considerado el tamaño de la planta a la disponibilidad de terreno disponible de 10 000.00 m² (1 hectárea).

Cálculo del área de producción en bioreactores tipo invernadero de alta velocidad de fluido.

Consideraremos 1000 m² para áreas administrativas, área de parqueo, áreas verdes, comedores servicios higiénicos, habitaciones, accesos, planta de producción etc.

El cálculo será en base a 9 000 m² disponibles.

Para una producción de 1.0 gramo de espirulina / litro

Considerando un aproximado 30 % de área de accesos y divisiones entre reactores tenemos un área útil de 6 300.00 m². En ésta área se construirá los 76 bioreactores de escala de cultivo de la planta de producción:

• 19 Reactores de 30.00 m x 6.00 m	=	3 420.00
• 19 Reactores de 15.00 m x 4.00 m	=	1 140.00
• 19 Reactores de 5.00 m x 4.00 m	=	380.00
• 19 Reactores de 3.00 m x 2.50 m	=	142.50
Sub Total	=	5 082.00 M2

Area de cosecha:

El área de cosecha comprende solamente el área mayor de bioreactores de cultivo. Los demás estanques son áreas de escala de crecimiento intermedio de las cepas. En nuestro proyecto el área de cosecha sera los 19 reactores de 30.00 m x 6.00 m x 0.40 m.

Entonces la producción será:

3 420 m² x 0.4 m = 1 368 m³ (1 368 000 litros) = 1 368 000 gramos.

1 368 000 gramos = 1 368 Kg. ó 1.368 Tm de polvo de espirulina.

Resultado: en 20 - 25 días se obtendrá 1.368 Tm. de espirulina en polvo de 19 bioreactores.

11. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

El proyecto se orienta básicamente a la producción final de capsulas y polvo micro pulverizado

11.1. Recursos hídricos

11.1.1 Origen.

El recurso hídrico a utilizarse será en lo posible agua del subsuelo, por la cantidad de sales inorgánicas que presenta y debido especialmente a su pureza. Por tal razón se tendrá que realizar un pozo artesiano o tubular especialmente para el proyecto, de tal forma que no interfiera con las demás actividades del proyecto.

11.1.2. Cantidad de agua.

La cantidad de agua necesaria para el proyecto es de aproximadamente de 5 litros por segundo solo para el llenado de los reactores en los momentos que se requieran.

11.1.3. Calidad de agua.

Por la naturaleza de las aguas del subsuelo, cantidad de sales minerales reducirán los costos de producción con respecto a las sales minerales que se utilizaran como nutrientes de la microalga y sobre todo limpias, es que; garantizara un producto de excelente calidad con respecto a los estándares de salud nacionales e internacionales

11.2. Infraestructura

11.2.1. laboratorio equipado.

Ambiente 1. Comprende el cepario, para el cultivo de cepas que cuenta con: estufa para el esterilizador, incubadora, aire acondicionado.

Ambiente 2. comprende dos microscopios (análisis de calidad), balanza analítica, estufa, peachimetro digital, fotómetro medida de luz solar.

Ambiente 3. Control de calidad pruebas para determinar proteínas carbohidratos y lipidos.





imágenes 12, 13, 14, 15, 16. Control de calidad.

Pruebas para determinar las proteínas y carbohidratos de la Espirulina

11.2.2. Campo de producción.

El proyecto contempla la construcción de 20 módulos estanques de poca profundidad. Se utilizará el método de HRAP (high rate algal ponds) – estanques de algas de alta velocidad. **El total de extensión del proyecto es de 01 hectarea de terreno. Aprox.**



Imagen 17. El proyecto contempla la construcción de 19 módulos de Bioreactores -- **estanques cerrados tipo invernaderos HRAP** (High Rate Algal Ponds).
El total de extensión del proyecto es de 1 hectarea de terreno.

11.2.3. Sala de procesamiento y envasado

Comprende: 2 centrifugas grandes, 1 centrifuga chica, 3 tres secadores solares, 2 hornos eléctricos-secadors.

11.2.4. Infraestructura administrativa.

Existirá un ambiente con sus respectivos compartimentos, destinado para la orientación, asesoramiento y administración de la producción del personal técnico que está a cargo de un ingeniero, especializado en ingeniería pesquera o biotecnología

11.2.5. Departamentos de alojamientos.

Cuenta con 1 departamentos individual de 18 m² 1 departamento compartido para el personal que tienen un área de 22 m² cada uno, con sus respectivos servicios higiénicos, muebles de cama y armarios

11.2.6. Almacén. Cuenta con un almacén para guardar los insumos que se utilizan, tanto para el procesamiento, envasado, así como para guardar utensilios y herramientas necesarios.



Imagen 18. Almacenamiento de la Espirulina seca.

12. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE PRODUCCIÓN DE LA ESPIRULINA

12.1. Maquinaria y equipos

12.1.1. Paletas de Agitación.

Son unas paletas que agitaran el medio de cultivo, este dispositivo es alimentado por un motor de 1.0 HP.



Imagen 19. Agitador



Imagen 20. Rueda de palas del agitador

12.1.2. Sistemas de bombeo.

Para operaciones de recambio, limpieza, cosechas y aireación serán alimentadas por una bomba de 40 PSI.

12.1.3. Conexiones eléctricas.

Antes el ingreso de energía a la planta de procesamiento se instalara un transformador.



Imágenes 21.

12.1.4. Motores.

Se contara con 10 motores de 1 HP. De potencia para las paletas de agitación.

12.1.5. Balanzas.

Las balanzas que se usarán serán de precisión 0.1 gramo y basculas de 60 kg.



Imágenes 22, 23.

12.1.6. Secadores.

Se utilizarán 3 secadores solares con capacidad para procesar 20 kilogramos por día. Y 1-2 hornos eléctricos para secar en invierno-



Imágenes 24, 25.

12.1.7. Empacadoras

El procedimiento para empacar la producción del polvo de Espirulina en presentaciones de 1.0Kg, 0.5 Kg. y 0.1Kg. será manualmente.

12.1.8. Encapsuladoras

Para operaciones de producción de capsulas de la microalga en polvo, se contará con encapsuladores manuales con una entrega de 500 capsulas por vez.



Imagen 26. Encapsuladoras Semiautomaticas 200cps MXN 8500.00.

Como segunda opción se utilizará la encapsuladora automática de la empresa proveedora peruana Encapsulado SAC.



Imagen 27: Modelo de encapsuladora. Proveedor peruano Encapsulando SAC

12.1.9. Dosificadora

Para el conteo de las capsulas se podría utilizar el modelo de dosificadora. Equipo CT100SP, tiene la capacidad de realizar dosificaciones de hasta 26 frascos por minuto.



Imagen 28. Modelo de dosificadora. Equipo CT100SP

12.1.10. Enavados de Espirulina en polvo



Imagen 29. Suplemento nutricional, Espirulina en polvo.

- **Análisis de la composición bioquímica del polvo seco del alga *Espirulina* obtenido en Modulo experimental.**

Se han llevado a cabo una variedad de estudios para probar la calidad nutricional del alimento y hasta el presente no se han detectado sobredosis de ningún tipo ni efectos secundarios. A pesar de que la dosis normal diario yace entre 1 y 8 gramos dependiendo de la calidad del producto, científicos sostienen que hasta 50 gramos no hay peligro.

Es por ello que la espirulina es utilizada en los países subdesarrollados como fuente de alimentación pero al mismo tiempo existe un importante y creciente mercado de suplementos dietarios en los países desarrollados ya que se recomienda su consumo a personas que sufren de ansiedad, estrés, depresión, desórdenes emocionales o con ADD (Attention Deficit Disorder).

La *Espirulina* está compuesta en un promedio 60% de su peso en seco por proteína vegetal de fácil digestión. Además contiene beta-caroteno, vitamina B-12, hierro, calcio, potasio, magnesio y demás minerales importantes así también como ácidos grasos esenciales. Detalles sobre el contenido de nutrientes en 10 gramos de *spirulina* pueden verse en el cuadro Tabla 05.

El beta-caroteno, también llamado simplemente caroteno, incrementa la respuesta del sistema inmune en los animales y también es transformado en vitamina A en el intestino delgado, la cual ayuda a la salud ocular. Funciona como antioxidante liposoluble, reduciendo las posibilidades de ataques cardíacos.

Los lípidos que contiene la *espirulina* componen entre un 4-7% del peso seco y la mitad de ellos son ácidos grasos esenciales. Ayudan a prevenir el efecto de los antioxidantes en ciertas vitaminas para que puedan ser asimiladas con efectividad.

El principal de ellos es el gamma-linoleico (GLA), un ácido graso insaturado que se encuentra en la leche materna y ayuda a reducir los niveles de colesterol y triglicéridos en sangre, mejorando la salud cardiovascular.

La *espirulina* contiene cerca de un 16% de carbohidratos. De este porcentaje, un 9% es ramnosa, un azúcar biológicamente más activo. A diferencia de la sacarosa, no altera el balance de azúcares del cuerpo ni sobre exige al páncreas. Los carbohidratos, al igual que las proteínas, para ser utilizados, deben someterse a un complejo proceso de descomposición hasta convertirse en azúcares complejos. Uno de éstos es el glucógeno. A diferencia de cualquier otro vegetal, la *espirulina* contiene glucógeno disponible que se puede asimilar de manera fácil y directa.

El hierro permite la formación de la hemoglobina y el transporte de oxígeno en sangre. Minerales como el hierro no son fácilmente absorbidos por nuestro organismo. Sin embargo, el hierro de la *espirulina* es 60% mejor absorbido que el sulfato de hierro

común presente en muchos otros alimentos, por lo que es una buena fuente para combatir la anemia.

La vitamina B-12 es muy importante para la salud de los tejidos en general, el sistema nervioso en particular, en la generación de sangre y el metabolismo de proteínas. Ni hongos, ni plantas ni animales pueden producir esta vitamina por si solos ya que no tienen las enzimas apropiadas.

Tabla 03. Composición bioquímica de nutrimentos de la espirulina.
Valores mínimos y máximos

COMPOSICIÓN QUÍMICA	VALORES MÍNIMOS	VALORES MÁXIMOS
Lípidos	6 %	7 %
Carbohidratos	13 %	16 %
Proteína cruda (%Nx6.25)	60 %	71 %
Humedad	4 %	7 %
Cenizas	6.4 %	9 %
Fibra cruda	0.1 %	0.9 %
Clorofila A	6. g/kg	7.6 g/kg

En todos los análisis bioquímicos de la composición nutrimental de la espirulina se presentan diferencias en los valores de cada sustancia medida y de cada muestra. Esto se debe especialmente a que la espirulina es un alimento natural, por lo que puede variar, de acuerdo a la estación del año y a las condiciones locales de producción (origen, tipo de cepa, calidad del cultivo y medio ambiente), (Hills, 1981). Tablas 03., 04. y 05.

Tabla 04. Composición Nutricional de la Espirulina

Espirulina seca	
VALOR NUTRICIONAL POR CADA 100 gr.	
Energía 290 kcal 1213 kJ	
<u>Proteínas</u>	57.47 g
<u>Carbohidratos</u>	23.90 g
<u>Grasas</u>	5.38 g
• saturadas	2.65 g
• monoinsaturadas	0.67 g
• poliinsaturadas	2.08 g
<u>Agua</u>	4.68 g
<u>Vitamina A (retinol)</u>	29 µg
• β-caroteno	342 µg
<u>Vitamina B1 (tiamina)</u>	2.38 mg
<u>Vitamina B2 (riboflavina)</u>	3.67 mg
<u>Vitamina B3 (niacina)</u>	12.82 mg
<u>Vitamina B5 (ácido pantoténico)</u>	3.48 mg
<u>Vitamina B6</u>	0.36 mg
<u>Vitamina E</u>	5 mg
<u>Calcio</u>	120 mg
<u>Hierro</u>	28.5 mg
<u>Magnesio</u>	195 mg
<u>Manganeso</u>	1.90 mg
<u>Fósforo</u>	118 mg
<u>Potasio</u>	1363 mg
<u>Sodio</u>	1048 mg
<u>Zinc</u>	2 mg
Fuente: <u>Base de datos de nutrientes de USDA</u> , (Estados Unidos)	

Tabla 05: Nutrientes presentes en 10 gramos de Espirulina.

Fuente: Spirulina Bionutrec

PROPIEDADES FÍSICAS Composición: 100% micro-alga spirulina Apariencia: polvo fino y uniforme Color: Azul verde oscuro Olor: medio - fuerte Sabor: muy suave Densidad aparente: 0,35 - 0,55 kg/litro	COMPOSICIÓN GRAL (en 10g. de spirulina) Proteínas 55-70% Carbohidratos 15-25% Lípidos 4-7% Minerales 7-13% Humedad 3-7% Fibras 4-7%
VITAMINAS (Cantidades x 10 g) Beta-caroteno 14 mg (Pro vitamina A) 23000 UI Vitamina E (alfa-tocoferol) 1,00 mg Vitamina B1 (tiamina) 0,35 mg Vitamina B2 (riboflavina) 0,40 mg Vitamina B3 (niacina) 1,40 mg Vitamina B6 (piridoxina?) 80 mcg Vitamina B12 320 mcg Inositol 6,40 mg Folacina (Ácido fólico) 1 mg Biotina 0,50 mcg Ácido Pantoténico 10 mcg	AMINO-ÁCIDOS (Cantidades x 10 g) Alanina 470 mg Arginina 430 mg Ácido Aspártico 610 mg Cisteína 60 mg Ácido Glutámico 910 mg Glicina 320 mg Histidina 100 mg Isoleucina 350 mg Leucina 540 mg Lisina 290 mg Metionina 140 mg Fenilalanina 280 mg Prolina 270 mg Serina 320 mg Treonina 320 mg Tryptófano 90 mg Tirosina 300 mg Valina 400 mg Total Aminoácidos 6,20 g
MINERALES 100 mg Calcio 80 mg Fósforo 40 mg Magnesio 15 mg Hierro 90 mg Sodio 140 mg Potasio 300 mcg Zinc 120 mcg Cobre 500 mcg Manganeso 60 mcg Germanio 10 mcg Selenio	ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES Linoleico 80 mg Gamma-lineolénico 100 mg
ACTIVIDAD ENZIMÁTICA Superóxido dismutasa: 15000 unidades	PIGMENTOS Ficocianina (azul) 1500 mg Clorofila (verde) 110 mg Carotenoides (naranja) 37 mg

- **Costos del Proyecto. Costos de ejecución física de las acciones**

COSTOS GENERALES UNITARIOS DEL PROYECTO

Tabla 06. **GASTOS DE OBRAS EN EL CAMPO DE PRODUCCION**

Nro. P.	CONCEPTO	UNIDA D	CANTIDA D	PRECIO UNITARIO, S/.	MONTO, S/.
1	Birreactores de geomembrana de 0.7 mm de grosor HDPE de 30 x 6 x 0.40 m	M2	5 700	11.00	62 700.00
2	Birreactores de geomembrana de 0.7 mm de grosor HDPE de 15 x 4 x 0.40 m	M2	1 900	11.00	20 900.00
3	Birreactores de geomembrana de 0.7 mm de grosor HDPE de 5 x 4 x 0.40 m	M2	633.30	11.00	6 966.66
4	Birreactores de geomembrana de 0.7 mm de grosor HDPE de 3 x 2.5 x 0.40 m	M2	211.10	11.00	2 322.10
5	Estructura metálica de sostén para Birreactores de geomembrana de 0.7 mm de grosor HDPE de 30 x 6 x 0.40 m	ML	2 090	30.00	62 700.00
6	Estructura metálica de sostén para Birreactores de geomembrana de 0.7 mm de grosor HDPE de 15 x 4 x 0.40 m	ML	696.66	30.00	20 899.80
7	Estructura metálica de sostén para Birreactores de geomembrana de 0.7 mm de grosor HDPE de 5 x 4 x 0.40 m	ML	232.22	30.00	6 966.60
8	Estructura metálica de sostén para Birreactores de geomembrana de 0.7 mm de grosor HDPE de 3 x 2.5 x 0.40 m	ML	77.40	30.00	2 322.00
9	bombas de agua	Unidad	4	350.00	1 400.00
10	Paletas de agitación	Unidad	58	500.00	28 750.00
11	Motores reductores 1 HP	Unidad	58	2 500.00	145 000.00
12	Invernaderos de agro film (70.00 X 16.00) M	M2	21 184	15.00	317 760.00
13	Conexiones de agua en tubos de PVC diámetro 4.00 pulg. (línea madre)	ML	600	7.00	4 200.00
14	Conexiones de agua en tubos de PVC diámetro 2.00 pulg. (líneas secundarias)	ML	2 000	4.00	8 000.00
15	Conexiones de agua en tubos de PVC diámetro 1.00 pulg. (líneas secundarias)	ML	76	3.50	266.00



GOBIERNO REGIONAL DE APURÍMAC
GERENCIA GENERAL REGIONAL
 OFICINA REGIONAL DE FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE INVERSIONES



16	Válvulas de PVC de diámetro de 4.0 pulgadas.	Unidad	2	350.00	700.00
17	Válvulas de PVC de diámetro de 2.00 pulgadas	Unidad	4	50.00	200.00
18	Válvulas de PVC de diámetro de 1.00 pulgadas	Unidad	76	25.00	1 900.00
19	Conexiones T de PVC de 4 pulgadas de diámetro.	Unidad	4	80.00	320.00
20	Conexiones T de PVC de 2 pulgadas de diámetro.	Unidad	76	25.00	1 900.00
21	Imprevistos 10 %				69 617.32
22	TOTAL				765 790.48

Tabla 07. **GASTOS DE MATERIALES Y EQUIPOS DE PLANTA DE PRODUCCION**

Nro.	CONCEPTO	UNIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO S/.	MONTO S/.
1	Microscopio trinocular	Unidad	1	5 500.00	5 500.00
2	Laptop	Unidad	1	4 500.00	4 500.00
3	Cámara de Neubauer	Unidad	2	350.00	700.00
4	Peachimetro digital	Unidad	2	800.00	1 600.00
5	Estufa	Unidad	2	800.00	1 600.00
6	Balanza analítica 0.1 gr. de precisión	Unidad	2	800.00	1 600.00
7	Termómetro sensibilidad 0.1°C	Unidad	5	110.00	550.00
8	Sistema de inyección de aire	Global			15 000.00
9	Sistema de iluminación	Global			10 000.00
10	Material de vidrio	Global			15 000.00
11	Andamios metálicos (1.90 x 1,20) m	Unidad	10	250.00	2 500.00
12	Recipientes de plásticos de 20 litros	Unidad	38	50.00	1 900.00
13	Recipientes de plásticos de 50 litros	Unidad	38	90.00	3 420.00
14	Recipientes de plásticos de 300 litros	Unidad	38	160.00	6 080.00
15	Recipientes de plásticos de 1000 litros	Unidad	38	500.00	19 000.00
16	Bomba de agua	Unidad	1	350.00	350.00
17	Instalación del sistema de bombeo de agua	Unidad	2	350.00	700.00
18	Imprevistos 10 %				9 000.00
19	TOTAL				90 000.00

Tabla 08. **GASTOS EN MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO**

Nro.	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO, S/.	MONTO, S/.
1	Encapsuladoras manuales de 500 capsulas por ves.	Unidad	5	700.00	3 500.00
2	Balanzas analíticas 01 gr. de sensibilidad	Unidad	3	800.00	2 400.00
3	Basculas de hasta 50 kg. de sensibilidad	Unidad	3	400.00	1 200.00
4	Secadores solares (Acero quirúrgico)	Unidad	3	2 500.00	7 500.00
5	Secador a gas (Acero quirúrgico)	Unidad	2	15 000.00	30 000.00
6	Filtros circular rotatorio 40 micras (Acero quirúrgico)	Unidad	2	25 000.00	50 000.00
7	Biodigestores	Unidad	2	5 000.00	10 000.00
8	Prensa mecánica (Acero quirúrgico)	Unidad	2	2 500.00	5 000.00
9	Espaguetadora mecánica (Acero quirúrgico)	Unidad	2	1 800.00	3 600.00
10	Selladora de frascos	Unidad	2	1 900.00	3 800.00
11	Sellador al vacío	Unidad	2	5 000.00	10 000.00
12	Materiales de Trabajo de acero quirúrgico	Global			2 500.00
13	Materiales de limpieza	Global			5 000.00
14	Equipos de protección personal (EPP s)	Global			10 000.00
15	Camioneta 4 x 4	Unidad			170 200.00
16	Imprevistos 10%				31 470.00
17	TOTAL				346 170.00

Tabla 09. **CAPITAL DE TRABAJO**

Nro.	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO S/.	MONTO anual S/.
1	Nutrientes e insumos	Modulo	50	3 443.00	172 150.00
2	Pagos de consumo de agua	Global			
3	Pagos de consumo de electricidad	Global			
4	Combustible	Galones			
5	Cepas de Espirulina	Litro	500	120.00	48 000.00
6	Sueldo de jefe de producción	Sueldo	1	6 000.00	72 000.00
7	Sueldo de jefe de turno en planta de producción	Sueldo	2	5 000.00	120 000.00
8	Sueldos de Técnicos operarios de planta de cultivo	Sueldo	2	3 000.00	72 000.00
9	Sueldos de mecánico de mantenimiento y electricista	Sueldo	1	3 000.00	36 000.00
10	Sueldos de Almacenero	Sueldo	1	3 000.00	36 000.00
11	Sueldos de operarios - limpieza, mantenimiento de infraestructura	Sueldo	1	2 000.00	24 000.00
12	Capacitación técnica	Global			15 000.00
13	Imprevistos 10 %				59 515.00
14	TOTAL				654 665.00

- **Costos de Reinversión**
- **Costos de operación y mantenimiento con y sin proyecto.**
- **Cronograma de inversión de metas financieras.**

Estas 3 actividades propuestas por el TDR corresponderían a los servicios de un especialista en economía.

Atentamente

Rodrigo Salcedo Cárdenas
Ing. Agrónomo,
Especialista en Biotecnología.