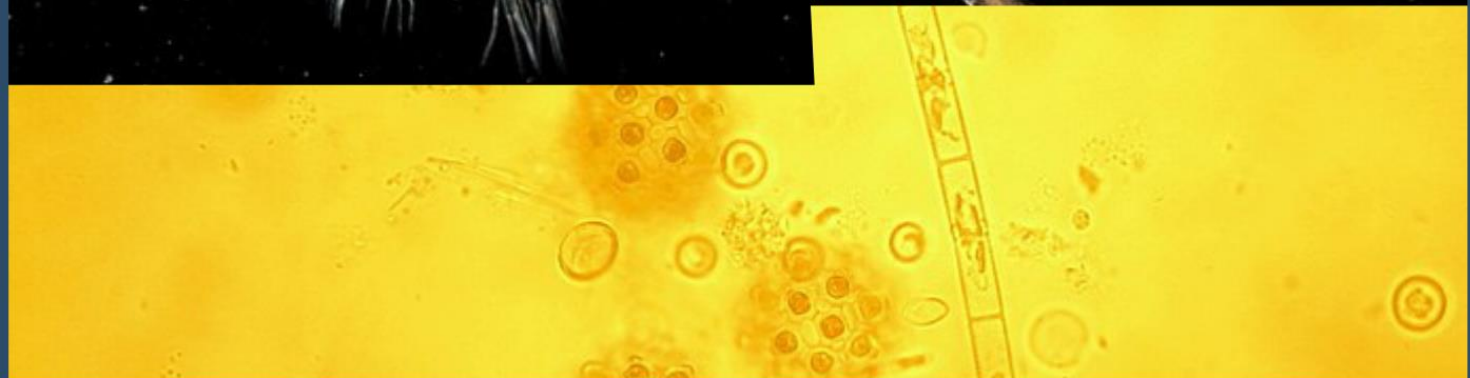
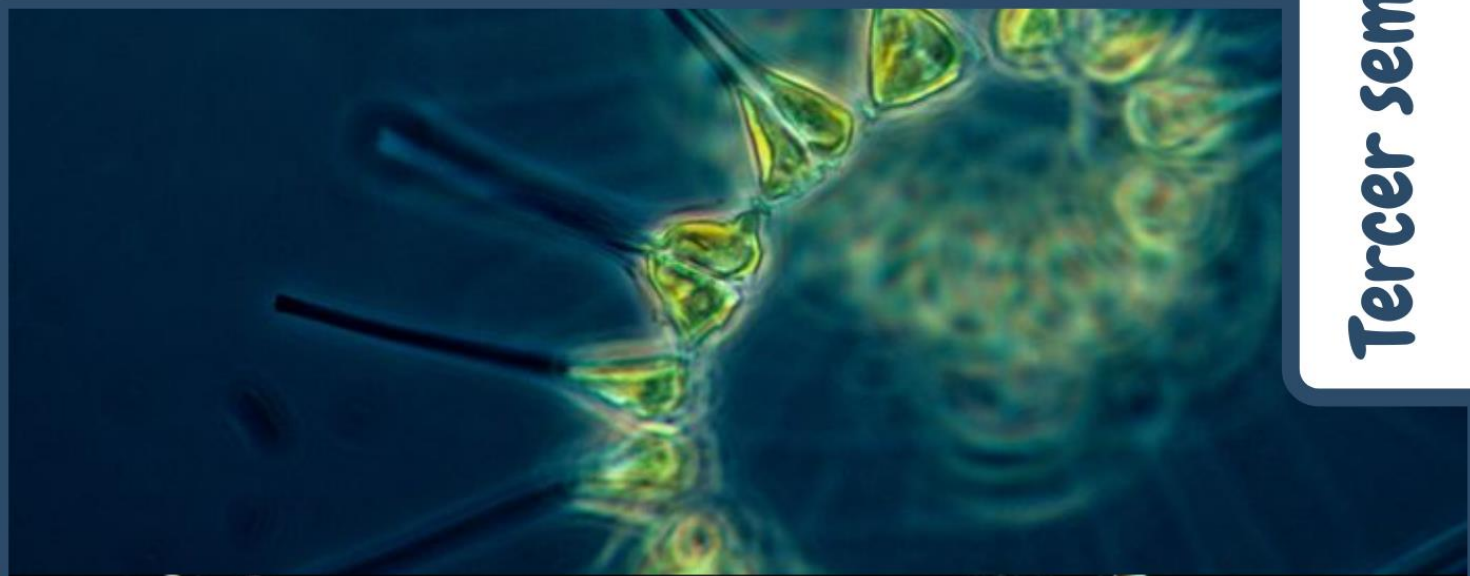


CARRERA TÉCNICA EN ACUACULTURA

Módulo 2. Produce alimento vivo en condiciones controladas

Tercer semestre



Submódulo 1



Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria y Ciencias del Mar

Créditos

Desarrollo de Contenido

Javier Velasco Sarabia

Lenin Escobar Pérez

Revisión técnico – pedagógica

Arit Furiati Orta

Itandehui García Flores

Judith Doris Bautista Velasco

México, 2021.

Presentación

Actualmente los procesos de enseñanza y de aprendizaje se han diversificado en las formas, métodos y medios a través de los cuales se realizan para brindar una educación de calidad, por lo que cada día las instituciones educativas deben coadyuvar en dichos procesos a través de estrategias y acciones que favorezcan en los alumnos la adquisición de los aprendizajes tanto con la mediación de un docente de manera presencial como, en ocasiones singulares, a distancia.

Acorde con los principios de la Nueva Escuela Mexicana, los alumnos son sujetos activos y responsables de su propio aprendizaje, por lo que Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria y Ciencias del Mar (DGETAyCM) pone a disposición de los estudiantes el presente material de apoyo que tiene el propósito de brindar elementos teóricos de los módulos profesionales de la carrera técnica en **Acuacultura**, así como el reforzamiento de estos a través de actividades de aprendizaje.

El material está organizado de modo progresivo para abordar los contenidos de la carrera Técnico en Acuacultura en el presente material se analizarán el **“Modulo II “Produce alimento vivo en condiciones controladas”**, con sus respectivos submódulos:

- Submódulo 1. Produce fitoplancton en condiciones controladas
- Submódulo 2. Produce zooplancton en condiciones controladas

En este cuadernillo se abordará el **Submódulo 1. Produce fitoplancton en condiciones controladas**.

El primer apartado de cada lección denominado **“Contextualizando”** se muestra un primer acercamiento a los conceptos que se abordan, articulándolos con escenarios y situaciones de la vida cotidiana, con la intención de realizar asociaciones derivadas de los conocimientos previos de los estudiantes. En el apartado **“Vamos a aprender”** se integra información para analizar los conceptos y características de la temática. En la sección de **“Actividades de aprendizaje”** se proponen actividades para para asimilación de los principales conceptos y características del tema. En el apartado **“Autoevaluación”** se plantean una serie de indicadores de desempeño que buscan evaluar los aprendizajes e identificar los contenidos a reforzar. Finalmente, en la sección **“Para saber más”** se proporcionan recomendaciones para complementar los contenidos como videos y lecturas.

Deseamos que este material apoye la formación académica y sea una herramienta de utilidad en los procesos de aprendizaje para los estudiantes.

Índice


| | Pág. |
|---|------|
| Submódulo 1. Produce fitoplancton en condiciones controladas | |
| Las microalgas o fitoplancton----- (Javier Velasco Sarabia) | 7 |
| Especies de microalgas más utilizadas en la acuicultura ----- (Javier Velasco Sarabia) | 17 |
| Cosecha de microalgas----- (Javier Velasco Sarabia) | 24 |
| Resiembra de Microalgas----- (Lenin Escobar Pérez) | 32 |

Estructura didáctica

Este material está dividido en submódulos y a lo largo de cada uno de ellos encontrarás diferentes secciones las cuales te facilitarán el abordaje de cada contenido.

En esta sección se delimitarán conceptos y características del tema a revisar, así como articulación de los contenidos con tus conocimientos previos relacionados con el tema y la relevancia de éstos en tu formación profesional/académica.

Contextualizando



o precipita con esas grandes tormentas. ¿E otras cosas se pueden descargar o subir? ¿ el agua se almacena en las nubes?

¡Vamos a aprender!

En la actualidad has escuchado mencionar el *computación en la nube*, o has oído decir "col en la nube", "subelo en la nube", pero ¿sabes la *nube*?

La *nube* es un modelo de soporte tecnoló brinda acceso a un conjunto de recursos y informáticos compartidos, por ejemplo: servidores, almacenamiento, aplicacio servicios.

La
fa
lo
La
pif
us
dif
pú
En
7

Actividades de aprendizaje

Lee las siguientes oraciones y subraya la respuesta correcta.

1. Este tipo de nube se caracteriza por ofrec estos servicios pueden ser gratuitos o puede a) Encriptar b) Pública
2. Su uso es exclusivo de una persona o una ella son usuarios a los que la empresa les p a) Híbrida b) Cifrar
3. Ofrece servicios donde se comparte inform música, videos, tutoriales, cocina, entre otro a) Híbrida b) Pública
4. Ocultar el contenido de un mensaje a sim protegerlo u ocultarlo. a) Cifrar b) Pública
5. Si al conectarte a la red no te solicita una mejor es conectarse a redes que estén cifra tipo WPA2 (Acceso Wi-Fi protegido 2). a) Cifrar b) Seguridad en la nube

Autoevaluación

Reflexiona y evalúa los conocimientos, habilidades y actitudes que adquiriste en esta lección.

Coloca una X en la columna que corresponda al desempeño que consideras que tienes para cada indicador.

| Indicadores | Lo puedo hacer | Tengo dudas | Necesito trabajar más |
|---|----------------|-------------|-----------------------|
| Comprendo el concepto de computación en la nube. | | | |
| Conozco cuáles son las ventajas del uso de la computación en la nube. | | | |
| Entiendo cuáles son las desventajas de la | | | |

Para saber más

- *Capacítate para el empleo (2021). Curso Fundamentos de cómputo en la nube.* Fundación Carlos Sum <https://capacitaparaelempleo.org/pages.php?r=tema6tagID=8440>
- *Surveillance. Self-defense (2018). Qué debo saber sobre el cifrado.* <https://ssd.eff.org/es/module/3C23BE6e6C3367-es-el-cifrado>

35

Emplearás los contenidos revisados para asimilar los principales conceptos y promover el desarrollo de las competencias profesionales.

En esta sección encontrarás información para analizar los conceptos y características del tema con énfasis en las competencias profesionales

Evaluarás tus aprendizajes sobre los temas abordados e identificarás los contenidos que debes reforzar.

En este apartado se te proporcionan recomendaciones para profundizar en los contenidos.

Submódulo



Produce alimento vivo en condiciones controladas “Fitoplancton”

Competencias profesionales

- Controla las condiciones ambientales del cultivo
- Prepara el medio de cultivo
- Mantiene el desarrollo del cultivo
- Cosecha el cultivo

Las microalgas o fitoplancton



Contextualizando

Hoy en día a nivel mundial la acuicultura ha tenido un crecimiento exponencial dando como resultado el aprovechamiento de cultivar diversos organismos tanto de origen marino como dulceacuícola en tierra y con ello reducir la sobreexplotación que se tiene en el medio acuático. El éxito que ha tenido esta actividad se debe a que hemos dominado las técnicas para obtener diferentes tipos de alimento vivo disponibles para nuestros cultivos.

Un factor muy importante es el fitoplancton o también llamado microalga, debido a que las especies de cultivo como peces, moluscos y crustáceos requieren de estos microorganismos para poder vivir y crecer adecuadamente ya que son su primer alimento vivo exógeno que necesitan para ir desarrollándose.

El objetivo de este proceso consiste en que adquieras los conocimientos básicos para poder producir fitoplancton (microalga) para tus diferentes organismos en cultivo, bajo condiciones controladas.

Para ello, en la presente lección haremos una revisión de algunas de las características que necesitas saber para empezar el cultivo:

- Información general de las microalgas
- Parámetros fisicoquímicos que requiere
- Tipos de cultivo
- Preparación de medios de cultivo
- Mantenimiento de cultivo



¡Vamos a aprender!

Generalidades del fitoplancton

El fitoplancton es un conjunto de microorganismos que contienen Clorofila *A* y otros pigmentos fotosintéticos; por lo cual son capaces de realizar fotosíntesis. Estos microorganismos son conocidos también como microalgas y están formadas por una sola célula (unicelulares) y pueden formar cadenas, colonias o cenobios (varias células unidas sin división entre sí). Son típicamente acuáticas, viven fijas a un sustrato o flotando libremente en la columna del agua y estas pueden ser tanto dulceacuícolas como marinas. Hay que recordar que son el primer eslabón de la cadena alimenticia en el ambiente acuático.

En la actividad de la acuicultura, el empleo del fitoplancton juega un papel muy importante, ya que muchas de las especies de cultivo (larvas de peces, moluscos, crustáceos y algunos organismos de zooplancton) requieren de estos microorganismos porque son su primer alimento vivo exógeno que necesitan para poder sobrevivir, crecer y desarrollarse.

¿Pero por qué es importante este fitoplancton como alimento?

A pesar de que son de tamaño muy pequeño, estos microorganismos contienen nutrientes muy completos que van desde: vitaminas (A, B1, B2, B6, B12, C, E, Ácido fólico, Biotina, Ácido pantoténico), minerales (Zn, Fe, Cu, Mg, Mn, Se, etc.), carotenoides (Carotenos y xantofilas: β caroteno, luteína, fucoxantina, astaxantinas, etc.), polifenoles, clorofilas y otros pigmentos, flavonoides y fibra.

Además, por su alto contenido proteico en varias especies de fitoplancton (microalgas), se les considera como una fuente de proteína no convencional. De igual forma los carbohidratos presentes pueden ser encontrados en forma de almidón, glucosa, azúcares u otros polisacáridos. Este alimento vivo posee una alta digestibilidad, por lo que no hay limitación de uso en los alimentos tanto para animales como para humanos.

En la actualidad el uso de las microalgas en la acuicultura repercute positivamente en cuatro ejes los cuales son:

- ✚ Constituyen la principal fuente de alimento utilizada en la nutrición de organismos acuáticos en cautiverio.
- ✚ Son utilizadas como complemento en las dietas de peces o como medio para mantener la calidad del agua.
- ✚ Producen mejores resultados de crecimiento y supervivencia en relación a dietas inertes.
- ✚ Y ejercen una influencia positiva sobre el estado fisiológico de las larvas que trae consigo alevines de peces de mejor calidad.

A pesar de las grandes ventajas que se tiene al usar el fitoplancton en la alimentación de nuestros organismos acuáticos, estos deben de presentar ciertas características para poder cultivarlas y usarlas como alimento vivo.

Estas características son:

✚ Rusticidad:

Deben ser resistentes para desarrollarse en condiciones medio ambientales mínimas, con nutrientes básicos y económicos.

✚ Valor nutricional:

Se caracterizan por alto contenido nutricional y perfectamente balanceado, con cantidad de agua necesaria y en perfecto estado de frescura (vivos) y totalmente inocuos.

✚ Tamaño:

Las microalgas utilizadas para alimentar a los rotíferos, larvas de peces, crustáceos o moluscos deben de estar comprendidas en el rango de 3 a 20 micras (μm).

✚ Naturaleza de la membrana celular:

Deben tener una membrana delgada y digerible para que nuestros organismos no tengan ningún problema al momento de ingerirlas.

Parámetros fisicoquímicos que requiere cada microalga para obtener un buen cultivo.

Los parámetros físicos que requieren estas microalgas son:

✚ Agitación:

Para poder obtener movimiento del medio del cultivo (agua y nutrientes) y obtener una mayor distribución de los nutrientes disueltos en el agua.

De igual forma se obtiene una mayor captación de la energía luminosa.

Por otro lado, permite un abastecimiento continuo de Dióxido de Carbono (CO_2) del aire, como efecto del bombeo.

Y con ello evitar la sedimentación de las microalgas en el cultivo para evitar la muerte de las microalgas.

✚ Temperatura

La fisiología de las microalgas depende de la temperatura del medio (agua) en el que se desarrolla.

Determina la principal actividad fisiológica, que es la fotosíntesis y su intensidad.

Un rango adecuado de temperatura se obtendrá un mayor crecimiento y producción de biomasa óptima (entre los 15 a 25 °C).

✚ Luz

Puede ser natural (sol) si los cultivos son exteriores y extensivos, en cambio en los cultivos intensivos de ser luz artificial.

La luz artificial es captada por los distintos pigmentos que poseen las microalgas.

Debe tener como característica una adecuada intensidad, que está en relación a la distancia que existe entre la fuente de luz y el cultivo de microalgas (aproximadamente es 15 cm de distancia entre la lámpara y los recipientes de cultivo).

Debe ser luz fría o blanca, no la luz amarilla o la que produce calor (ya que esta luz puede aumentar la temperatura del medio y con ello no poder llegar a la biomasa deseada).

Ahora abordaremos los parámetros químicos que requieren las microalgas:

✚ pH

Para microalgas dulceacuícolas el rango de desarrollo adecuadamente es de 6.5 a 9.5, siendo el óptimo entre 7 y 8.

En microalgas marinas el pH debe de ser de 8.4 a 9 como máximo.

✚ Salinidad

Comprende todas las sales disueltas en el agua, que las microalgas necesitan para su desarrollo normal, como por ejemplo el Cloruro de Sodio, Nitrato de Sodio y Fosfato de Sodio (esto aplica solamente para microalgas marinas).

Para las microalgas dulceacuícolas el agua debe de ser declorada.

✚ Nutrientes o sales minerales

Es el conjunto de sustancias que son agregadas al medio de cultivo, que deberá necesariamente contener toda la composición que requieren cada especie de microalga a cultivar (estas pueden ser Triple 17, silicato de sodio).

En la acuicultura existen dos tipos de sistemas de cultivo de microalgas las cuales son:

- 1) Los sistemas abiertos.
- 2) Los sistemas cerrados.

✚ Sistemas abiertos

Los sistemas abiertos se caracterizan por no estar protegidos de los factores ambientales y por lo tanto están expuestos a la contaminación y a los factores tales como la lluvia, el polvo, las aves, los insectos, etc.

Los sistemas abiertos dificultan el mantenimiento de cultivos monoalgales y están expuestos a predadores, por lo que su empleo a gran escala se ha limitado a especies que se desarrollan adecuadamente en condiciones restrictivas de pH (*Arthrospira*) o salinidad (*Dunaliella*) o de muy rápido crecimiento (*Chlorella*).

La explotación de estos sistemas de cultivo puede ser intensiva o extensiva.

*Sistema abierto de tipo intensivo:

Los sistemas abiertos intensivos son estanques horizontales poco profundos tipo carrusel o "raceway". Cada unidad de cultivo ocupa un área de entre varios cientos y pocos miles de metros cuadrados, estando compuesta de dos o más pistas de 2 a 10 m de ancho y de 15 a 30 cm de profundidad, separadas entre sí por tabiques verticales.

A lo largo de estos canales, fluye la suspensión celular a una velocidad de 0,2 a 0,5 m/seg, impulsada por la acción de paletas giratorias, hélices o bombas.

***Sistema abierto de tipo extensivo**

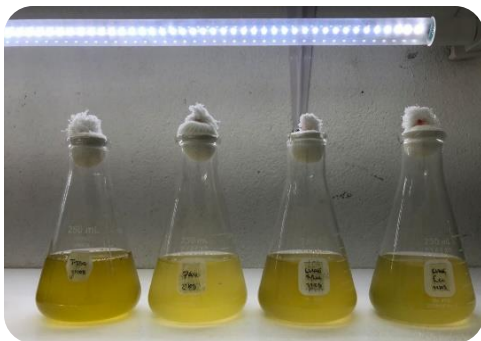
Utiliza grandes superficies (entre 5 y 50 hectáreas) sin agitación mecánica, con una orientación tal que las turbulencias ocasionadas por los vientos permitan una cierta homogenización y movimiento de la masa líquida.

✚ Sistemas cerrados

Los sistemas cerrados tienen protección del medio ambiente para evitar la contaminación y mejorar las condiciones ambientales, entre ellas la temperatura.

Los principales sistemas cerrados de cultivo de microalgas son los fotobiorreactores (FBR), los cuales son de diferentes tipos entre ellos:

- Tubulares.
- Planos.
- Cilindros verticales.
- Fundas o bolsas.



Fotografías: Escobar Pérez, 2021.



Fotografías: Morales Guzmán, 2021.

Los fotobiorreactores tubulares consisten esencialmente en tubos transparentes de vidrio o material plástico, conectados en serie o en paralelo para formar el colector solar, a través del cual se recircula la suspensión celular.

Los reactores planos son aquellos en los que el cultivo queda dispuesto en una lámina orientada de manera que la luz incida directamente sobre ella.

Los FBR presentan múltiples ventajas frente a los reactores abiertos como son:

- Un uso más eficiente de la irradiancia, que conduce a la producción de cultivos más concentrados.
- La posibilidad de cultivar todo el año.
- Una disminución de las pérdidas por evaporación.
- Un mejor control de algunas variables como la temperatura.
- Mayor facilidad de operación en continuo.

Medio de cultivo para las microalgas

El medio de cultivo para el desarrollo óptimo de las microalgas debe contar con nutrientes en cantidades suficientes y debe estar exento de todo microorganismo contaminante, ya que este puede competir por los nutrientes y como resultado será el nulo crecimiento de las microalgas.

Los elementos fundamentales para un óptimo crecimiento son: carbono, nitrógeno, fósforo y azufre. Otros minerales esenciales son el hierro, magnesio, oligoelementos y en algunos casos el silicio. Existen otros medios que incluyen en su composición sustancias orgánicas (vitaminas y aminoácidos).

Se han desarrollado diferentes medios para el cultivo de microalgas que van desde las fórmulas para enriquecer el agua de mar natural, hasta el uso de medios artificiales con un contenido variable de nutrientes y vitaminas, según la especie cultivada.

Los materiales para iniciar un cultivo de microalgas son: dos botellas de plástico de cinco litros de capacidad, sal de acuario, agua de cloro, manguera para acuario, piedras difusoras, bomba de aire para acuario, piedras pequeñas de acuario (servirán para despegar la microalga sedimentada en el fondo de las botellas), lámpara de led blanca, embudo y cepa de la microalga a cultivar.



Fotografía: Escobar Pérez, 2021.



Fotografía: Morales Guzmán, 2021.

Preparación de medios de cultivo

A continuación, se menciona el nombre de los reactivos y la forma de prepararlos, con la finalidad de que puedas tener un medio de cultivo para las microalgas:

- ✚ La solución del producto comercial Triple 17 (N: P: K) se prepara con (50 g de Triple 17 en 500 mL de agua destilada).
- ✚ La solución de Urea foliar (Growgreen) se prepara con (1 Kg de Growgreen en 4 L de agua destilada).
- ✚ La solución de silicato de sodio ($\text{Na}_2\text{O SiO}_2$) se prepara con 30 g en 500 mL de agua destilada. Estas técnicas son propuesta por Castro *et al.*, (2001).
- ✚ Proline F/2 Algae Food son soluciones que ya se encuentran preparadas y solo es adicionar la cantidad que se requiere para el cultivo.
- ✚ Humus de lombriz esta se puede realizarse desde casa, elaborado una lombricomposta adicionando alimento y agua a los organismos y dejando que los especímenes generen ese mismo humus. Con el paso del tiempo nosotros podemos recolectarlo y adicionarlo como fertilizante natural.

Metodología para iniciar tu cultivo de microalgas a pequeña escala.

Paso número 1: Desinfección, lavar los contenedores de 5 L con una solución de agua y Clorox® al 5% utilizando un escobillón para limpiar las paredes.

Paso número 2: Se toma agua a la cual se le tiene que agregar 1 mL de Clorox® dejando reposar 2 horas y posteriormente declorar (anticloro 1 mL para 10 L) para eliminar el cloro que pueda alterar el medio.

Paso número 3: Filtrar el cultivo de origen de microalgas verdes y depositar en un contenedor previamente desinfectado (Cubeta).

Paso número 4: Tomar 1 L de cultivo filtrado y colocarlo en el contenedor previamente desinfectado, el resto puede utilizarse para alimentar.

Paso número 5: En un vaso mediano colocar $\frac{1}{2}$ cuchara de Triple 17 (1g), colocar 5 mL de agua y agitar hasta disolver por completo y agregar al contenedor.

Paso número 6: En el vaso mediano colocar una cuarta parte de una cuchara de Urea foliar (0.5 g) y colocar 5 mL de agua. Agitar hasta disolver por completo la urea y agregar al contenedor.

Paso número 7: Rellenar con agua previamente aireada el contenedor donde añadimos las soluciones anteriores hasta completar.

Paso número 8: Colocar en el área designada el cultivo junto con la manguera y la piedra difusora para la aireación del medio.

Nota importante: Debes de recordar que para que haya un crecimiento adecuado de microalgas, debe de estar presente la lámpara de luz led siempre encendida las 24 horas.

Mantenimiento y cosecha del cultivo de microalgas.

El mantenimiento de los contenedores se debe de realizar cada vez que se lleve a cabo el filtrado, como se indica en el paso número 1 y 2. Es importante no realizar la remoción o cosecha del cultivo hasta lograr una coloración oscura ya sea verde o café (dependerá de la especie que se esté cultivando) (4-5 días) y se cosechara el 50% del cultivo agregando nuevamente medio fresco y fertilizantes. Esto nos garantiza que el cultivo tenga un periodo durante el cual recupere su biomasa. Es recomendable mantener al menos 5 garrafones de 5 L (Torres, 2019).



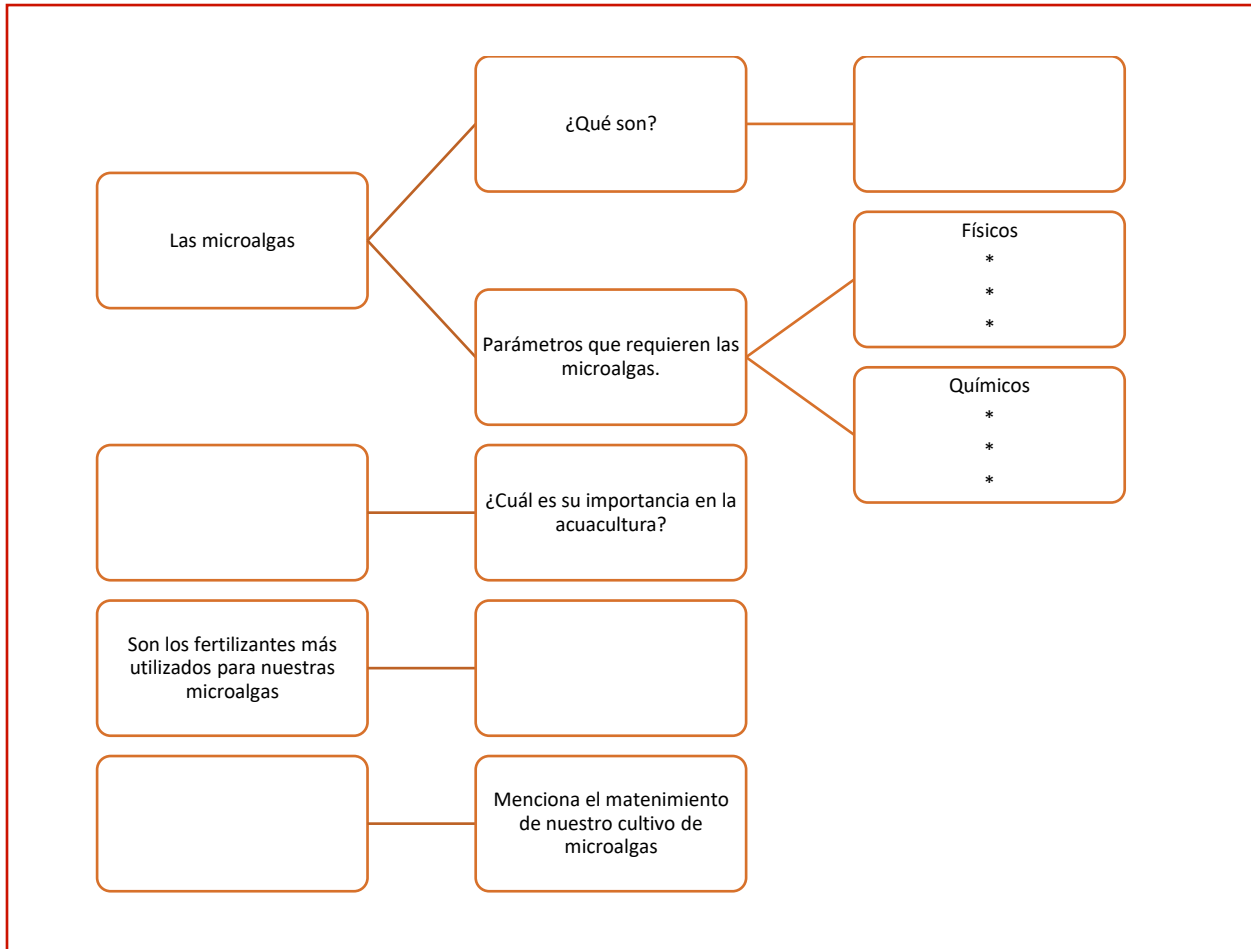
Cultivo de microalgas marinas Tetraselmis suecica y Pinnularia viridis.

Fotografías: Javier Velasco, 2014.



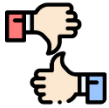
Actividad de aprendizaje

Elabora un cuadro sinóptico dominado “Las microalgas” donde integres la información previamente revisada desde ¿Qué son las microalgas?, ¿Qué parámetros fisicoquímicos requiere estos organismos?, ¿Cuál es la diferencia entre cultivo abierto y cerrado?, ¿Cuáles son los reactivos que se utilizan para la preparación de medio?, ¿Cuál es el mantenimiento de un cultivo de microalgas?



Fuentes

- Castro BT, Castro MG, Casto MJ, De Lara AR y Malpica SA. 2001. Alimento vivo para organismos acuáticos. Editorial AGT. S.A. México. 146 p.
- Torres CA. 2019. Manual para la preparación y mantenimiento de alimento vivo para peces de ornato. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 70 p.
- Agrotendencia. 2019. Cultivo de microalgas. <https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-microalgas/>



Autoevaluación

| Indicadores | Lo puedo hacer | Tengo dudas | Necesito trabajar más |
|---|----------------|-------------|-----------------------|
| Identifico las características principales de las microalgas. | | | |
| Comprendo la importancia de conocer los factores fisicoquímicos óptimos para el desarrollo de las microalgas. | | | |
| Conozco los diferentes medios de cultivo y fertilizantes para llevar a cabo el cultivo. | | | |
| Comprendo cómo realizar el cultivo de las microalgas. | | | |
| Reconozco como realizar la cosecha y mantener el cultivo. | | | |
| Diferencio los diferentes tipos de cultivo de las microalgas. | | | |



Para saber más

Recomendaciones para complementar tus aprendizajes.

- Cultivo de microalgas.
<https://www.youtube.com/watch?v=BiK5Z5ohJbQ>
- Funciones de las microalgas en acuicultura.
https://www.researchgate.net/publication/235960627_Funciones_microalgas_en_a_cuicultura
- Tecnologías de Cultivo de Microalgas con Fines Acuiculturales.
<http://repositorio.fciencias.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11154/143142/48VTecnologiasCultivo.pdf?sequence=1>
- Evaluación de microalgas endémicas para el cultivo y enriquecimiento de presas vivas y su aplicación en la primera alimentación de *Seriola rivoliana*.
http://dspace.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/2960/1624%20cruz_i%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Especies de microalgas más utilizadas en la acuicultura



Contextualizando

Actualmente las microalgas constituyen la principal fuente de alimento utilizada en la nutrición de organismos acuáticos en cautiverio como moluscos, rotíferos y fases larvarias de crustáceos, son las más utilizadas como complemento en las dietas de peces o como medio para mantener la calidad del agua. Brindan grandes beneficios, si bien, deben presentar ciertas características para que sean aptas para utilizarlas como alimento vivo de nuestros organismos en cultivo. Por lo anterior es muy importante conocer más a fondo que tipo de microalga nos conviene tener en nuestra casa, laboratorio o granja acuícola.



¡Vamos a aprender!

A lo largo del mundo, diversos investigadores han ensayado con una amplia variedad de especies y cepas de microalgas para determinar su adecuación al cultivo masivo, así como su interés ya sea como biomasa o para la obtención de algún producto. Esto se debe, a que al iniciar el cultivo microalgal se deben de elegir especies que sean fáciles de cultivar en cultivos masivos y que tengan interés económico.

Se han establecido diferentes criterios para la evaluación y selección de cepas, normalmente dirigidos a la obtención de alta tasas de producción en cultivos exteriores, ya que son éstos los sistemas rentables de producción de microalgas, aprovechando la iluminación natural. Algunos de estos criterios son:

Respuesta a las fluctuaciones diurnas

En general, en las áreas adecuadas para el cultivo de microalgas a gran escala son frecuentes las fluctuaciones diurnas de temperatura por encima de los 20°C, debido a la elevada intensidad de luz, lo que significa que, durante las horas de la mañana, a pesar de que existe suficiente luz, la temperatura en los tanques de cultivo está por debajo de la temperatura óptima para el crecimiento. Para minimizar este efecto depresivo sobre el crecimiento, las cepas de microalgas a utilizar en estos cultivos son aquellas que presentan un amplio rango de temperatura óptima.

Resistencia a la fotoinhibición

Aunque en general la luz es uno de los factores limitantes del cultivo microalgal, las capas más superficiales de los cultivos pueden estar expuestas a una radiación solar tan elevada que llega a producirse la fotooxidación de las células microalgales. Por ello, deben aislarse

cepas con intensidades de luz de saturación elevados y con una mínima inhibición del crecimiento a elevadas intensidades de luz.

✚ Cantidad de respiración en la fase oscura

Las medidas de la tasa de respiración en oscuridad han mostrado que durante la noche puede llegar a perderse más del 35% de la biomasa total producida durante el día. Las cepas con una tasa de respiración en oscuridad baja o una relación entre producción de O₂ en luz y consumo de O₂ en oscuridad alta serían buenos candidatos para el cultivo en el exterior a gran escala.

✚ Sensibilidad a elevadas concentraciones de O₂

El oxígeno es uno de los factores más importantes de las ecuaciones de fotosíntesis; elevadas concentraciones de O₂ deprimen la tasa de incorporación fotosintética del carbono en forma de un mecanismo de retroalimentación, provocando en algunas ocasiones la pérdida total del cultivo. La agitación de los cultivos, además de asegurar la distribución homogénea de las células en el medio, permite la eliminación del cultivo del exceso de oxígeno producido en la fotosíntesis, que de lo contrario podría alcanzar niveles de saturación del 500%. En cualquier caso, deberán seleccionarse cepas que puedan tolerar concentraciones de oxígeno relativamente altas.

✚ Sensibilidad al estrés osmótico

Elevadas tasas de evaporación (por encima de 10 L d⁻¹ m⁻²) en cultivos en el exterior y la adición de medio fresco pueden producir una duplicación de la concentración de sales después de largos periodos de cultivo, lo que puede provocar un fuerte estrés osmótico. Deben seleccionarse cepas que toleren aumentos de la presión osmótica sin aumentar la tasa de respiración.

Especies de microalgas más empleadas como alimento vivo en la acuicultura.

Se ha estudiado una amplia variedad de cepas y especies de microalgas con el fin de cultivarlas masivamente para obtener elevadas cantidades de biomasa y productos de interés en la acuicultura. A continuación, citamos algunas de las especies más utilizadas.

Phaeodactylum tricornutum.

Descripción: Es una diatomea pleomórfica atípica, tienen la peculiaridad de presentar hasta cuatro morfologías distintas (ovalada, fusiforme, trirradiada y cruciforme) puede crecer en ausencia de silicio y puede sobrevivir sin producir frústulas silicificadas.

Distribución geográfica: Cosmopolita. En lo particular en las zonas costeras y estuarios.

Skeletonema costatum.

Descripción: Es una diatomea de forma cilíndrica con una frústula de sílice. Las células se unen mediante largos procesos marginales para formar un filamento. Su longitud varía de 2 a 61 μm , con un diámetro de 2 a 21 μm .

Distribución geográfica: Cosmopolita. Se encuentran típicamente en la zona nerítica del océano y en los sistemas costeros, y muestra una amplia gama de tolerancia a la salinidad y la temperatura.

Dunaliella salina

Descripción: Es un género de algas unicelulares que pertenecen a la familia Dunaliellaceae. Es un alga verde unicelular de 8 a 25 μm de longitud y de 5 a 15 μm de ancho; se desplaza en el agua por medio de dos flagelos situados en la parte apical de la célula.

Distribución geográfica: Se encuentra en la naturaleza en diversos lugares del mundo. Se desarrolla en depósitos de agua salada en zonas de condiciones climáticas rigurosas (temperaturas elevadas y luz intensa) como el Mar Muerto.

Isochrysis galbana

Descripción: Son células con forma de pera y su tamaño va desde las 3 a 15 μm de diámetro. Son células móviles que poseen dos largos flagelos y tienen un haptonema reducido o carecen de él.

Distribución geográfica: Mundial

Pinnularia viridis.

Descripción: Células ovoides con simetría bilateral con extremos redondeados, presenta un rafe discontinuo observado esto en la zona central, nueve estrías radiales en 10 μm de largo y 21 μm de ancho.

Distribución geográfica: Mundial. En CDMX, canales del lago de Xochimilco; Guanajuato, Río Lerma; Hidalgo, Atotonilco el Grande; Michoacán, Laguna de Aarón.

Tetraselmis suecica

Descripción: Es un alga verde presente en ecosistemas marinos y costeros. Es capaz de crecer hasta concentraciones muy elevadas por lo que es usada como alimento en acuicultura fundamentalmente para la alimentación de rotíferos. Ha sido elegida como representante de las algas verdes en ecosistemas costeros.

Scenedesmus obliquus

Descripción: Cenobio de dos a ocho células fusiformes, dispuestas de forma lineal y alternada, las dos células exteriores son de forma regular y no terminan en punta. Dimensiones: miden aproximadamente 4.2 a 9 μm de ancho y 14 a 18 μm de largo cada célula.

Distribución geográfica: Mundial. México CDMX; lago de Xochimilco.

Haematococcus pluvialis

Descripción: Alga unicelular, biflagelada con sus células encapsuladas por una pared ovoide, elipsoide, elipsoide cilíndrico o prácticamente esférico. Su ciclo vital presenta polimorfismo celular con formas flageladas, palmeloides, y aplanosporas las cuales variarán en función del medio de cultivo.

Distribución geográfica: Mundial y muy común en todos los continentes, excepto en la Antártida.

***Chlorella* sp.**

Descripción: Células solitarias, esféricas o elipsoidales de color verde, con cloroplasto en forma de copa o masivos. Dimensiones de 4 a 10 µm de diámetro.

Distribución geográfica: Estado de México, Lago de Texcoco; CDMX, Ciudad Universitaria y Lago de Xochimilco.

En la siguiente tabla encontrarás los parámetros fisicoquímicos que requieren diferentes especies de microalgas para tener un buen cultivo, así como su uso en la acuicultura.

| Nombre científico de la microalga | Ambiente donde habita | Salinidad | Temperatura óptima | Usos |
|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------|--|
| <i>Phaeodactylum tricornutum</i> | Salino | 25 gL ⁻¹ | 20 a 25 °C | Empleada en el enriquecimiento del zooplancton (<i>Artemia</i>). |
| <i>Skeletonema costatum</i> | Salino | 37 gL ⁻¹ | 25 °C | Empleada en el enriquecimiento del zooplancton. |
| <i>Dunaliella salina</i> | Salino | 6 a 12 gL ⁻¹ | 16 °C | Usada para incrementar los niveles de vitaminas y también para la coloración. |
| <i>Isochrysis galbana</i> | Salino | 30 gL ⁻¹ | 24 a 30 °C | Alimento para crustáceos, bivalvos y algunas especies de peces marinos y dulceacuícolas. |
| <i>Pinnularia viridis</i> | Salino | 40 gL ⁻¹ | 25 a 27 °C | Empleada en el enriquecimiento del zooplancton (<i>Artemia</i>). |
| <i>Tetraselmis suecica</i> | Salino | 40 gL ⁻¹ | 25 a 27 °C | Empleada en el enriquecimiento del zooplancton (<i>Artemia</i>). |
| <i>Scenedesmus obliquus</i> | Dulceacuícola | 0 | 20 a 22 °C | Alimento para moluscos. |

| | | | | |
|--------------------------------|---------------|---|------------|--|
| <i>Haematococcus pluvialis</i> | Dulceacuícola | 0 | 25 a 27 °C | Empleada en el enriquecimiento del zooplancton (<i>Daphnia magna</i> y <i>D. pulex</i>). |
| <i>Chlorella vulgaris</i> | Dulceacuícola | 0 | 25 a 27 °C | Alimento para larvas de peces dulceacuícolas. |

Aunado a ello, siempre hay que recordar que cada una de nuestras microalgas requieren de nutrientes en su medio de cultivo para poder crecer y desarrollarse óptimamente. En la siguiente tabla podemos observar el nombre del nutriente y la cantidad necesaria para que nuestra microalga pueda cultivarse y crezca y obtengamos una cantidad de biomasa.

| Microalga a cultivar | Salinidad | Nutrientes | | | | | | | Cantidad |
|----------------------------------|-------------------------|--|-------------------|------|-------------------|----------------------------------|--------------------|-------------------|--|
| <i>Phaeodactylum tricornutum</i> | 25 gL ⁻¹ | Proline F/2 Algae Food Solución A Solución B Na ₂ SiO ₃ | | | | | | | 0.13 mL 0.13 mL 0.013 g por L ⁻¹ respectivamente. |
| <i>Skeletonema costatum</i> | 37 gL ⁻¹ | Humus de lombriz | | | | | | | 50 g en 500 mL de agua de mar |
| <i>Dunaliella salina</i> | 6 a 12 gL ⁻¹ | NaCl | MgSO ₄ | KCl | CaCl ₂ | NaH ₂ PO ₄ | NaHCO ₃ | NaNO ₃ | 87.75 g 0.6 g 0.07 g 0.03 g 0.01 0.84 0.4 g por L ⁻¹ respectivamente. |
| <i>Isochrysis galbana</i> | 30 gL ⁻¹ | Nutrifoliar | | Urea | Triple 15 | Vitamina (neurobión) | | | 0.02 mL 0.065 g 0.05 mL 1 mL por L ⁻¹ respectivamente. |
| <i>Pinnularia viridis</i> | 40 gL ⁻¹ | Triple 17 | | | Silicato de sodio | | | | 10 mL y 20 mL por L ⁻¹ respectivamente. |
| <i>Tetraselmis suecica</i> | 40 gL ⁻¹ | Triple 17 | | | Urea foliar | | | | 10 mL y 5 mL por L ⁻¹ respectivamente. |
| <i>Scenedesmus obliquus</i> | 0 | Nitrofoska foliar | | | | | | | 5 mL por L ⁻¹ |
| <i>Haematococcus pluvialis</i> | 0 | Triple 17 | | | Urea foliar | | | | 10 mL y 5 mL por L ⁻¹ respectivamente. |
| <i>Chlorella vulgaris</i> | 0 | Triple 17 | | | Urea foliar | | | | 10 mL y 5 mL por L ⁻¹ respectivamente. |



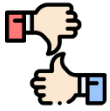
Actividad de aprendizaje

Elabora un cuadro comparativo, donde registres la información que se solicita. Observa con detalle cuales son las microalgas que necesitas para proporcionárselas como alimento vivo a tus ejemplares en cultivo.

| Nombre científico de la microalga. | Ambiente donde habita. | Usos en la acuicultura. |
|------------------------------------|------------------------|-------------------------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Fuentes

- Cruz, Cl., Sánchez, CEE., Ocampo, CJA., Castro, MJ., Monroy, DMC. y Castro, MG. 2007. Tecnologías para el cultivo de microalgas en interior y exterior. Propuestas prácticas para operar en granjas acuícolas de pequeña escala. Revista Digital E-Bios. Vol. 2 (9): 31-42.
- Agrotendencia. 2019. Cultivo de microalgas. <https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-microalgas/>



Autoevaluación

| Indicadores | Lo puedo hacer | Tengo dudas | Necesito trabajar más |
|--|----------------|-------------|-----------------------|
| Identifico las características principales de las microalgas para ser utilizadas como alimento vivo en la acuicultura. | | | |
| Puedo identificar cual es la diferencia entre una microalga de dulceacuícola y una microalga marina. | | | |
| Conozco los nombres de los fertilizantes para llevar a cabo el cultivo. | | | |
| Reconozco la cantidad necesaria a utilizar de cada fertilizante. | | | |
| Conozco el nombre científico de las microalgas más utilizadas en la acuicultura. | | | |
| Identifico que uso se le da a cada microalga en la acuicultura. | | | |



Para saber más

Recomendaciones para complementar tus aprendizajes.

- Cultivo y Aplicaciones. Universidad de la Coruña. https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/25013/Abalde_Julio_1995_Microalgas_cultivo_aplicaciones.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Alimento vivo en la acuicultura. <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n48ne/acuicultura.pdf>
- Como hacer un cultivo de microalgas. <https://www.youtube.com/watch?v=7klWXvrs6nc>

Cosecha de microalgas



Contextualizando

La producción acuícola contempla varios momentos en donde se extraen los ejemplares del área de cultivo para venta, desdoble o alimento, ¿Sabes cómo se llama esa acción?

Una pista, esta actividad también se realiza en la agronomía y fruticultura con el propósito de recolectar la fruta, semillas, legumbres, etc. ¿Ya tienes una idea del nombre?, excelente, el proceso por el cual se extraen los organismos de un sistema de producción acuícola se le denomina cosecha.

Ahora, con el conocimiento que has desarrollado hasta el momento sobre el cultivo de microalgas y sus tipos de cultivo, ¿Te imaginas en qué momento de la curva de crecimiento se recomienda cosecharlas?, ¿Podrías deducir de que depende el momento de la cosecha?, ¿Tendrá algo que ver el tipo de cultivo en definir este momento? o ¿Cómo se realizaría?

La respuesta a cada una de las preguntas te irá demostrando la importancia de seleccionar el momento óptimo para cosechar las microalgas de acuerdo con el fin que le darás; esto es, si se utilizarán como alimento o una fuente de metabolitos orgánicos de importancia comercial (pigmentos, antioxidantes, proteínas y ácidos grasos entre otros).



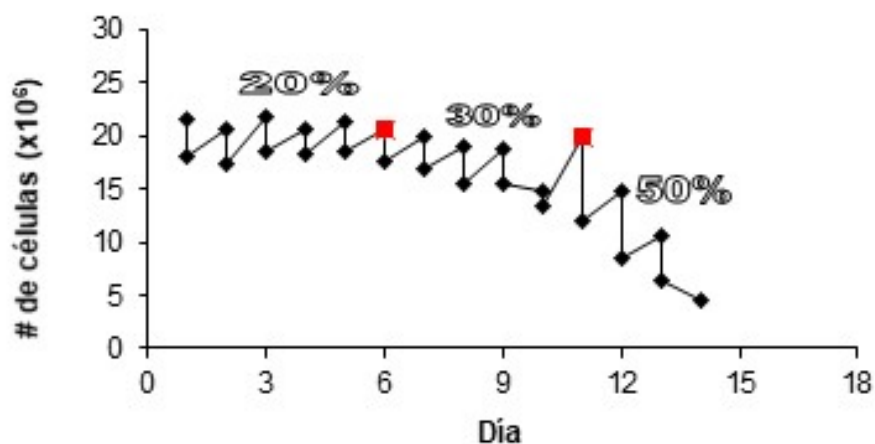
¡Vamos a aprender!

Generalidades

Los sistemas de producción de microalga consideran diferentes etapas y pueden clasificarse de acuerdo con la bibliografía que consultes. Sin embargo, en general se puede partir desde la toma de muestra, la preparación de nutrientes, el aislamiento, el escalamiento del volumen de cultivo, la siembra de la biomasa en volúmenes masivos, el monitoreo del crecimiento de la biomasa o número de células y la cosecha. En las lecciones iniciales del manual has leído información sobre los primeros temas, destacando los métodos o técnicas que se llevan a cabo en cada uno de ellos. También identificaste la importancia que tiene la selección de la especie de microalga que utilizarás, el lugar en donde puedes obtenerla y el medio de cultivo o nutrientes a utilizar para su cultivo. El proporcionar los nutrientes adecuados y las condiciones óptimas del cultivo (pH, luz, aireación y CO₂), permitirá generar en un lapso menor de tiempo un incremento del número de células de microalgas e impactará su calidad nutrimental. Lo cual, indirectamente incidirá en el momento de la cosecha de estas células para su aplicación como alimento o fuentes de metabolitos orgánicos de importancia comercial (pigmentos, antioxidantes, proteínas y ácidos grasos entre otros).

Concepto y tipos de cosecha

La cosecha es el proceso que se sigue para la extracción parcial o total de las células microalgales (biomasa celular) del sistema de cultivo. En la cosecha parcial se extrae un volumen definido del cultivo y se agrega una cantidad igual de agua limpia con nutrientes. Previamente se debe definir la tasa de dilución que permitirá la recuperación de la biomasa con base a la capacidad reproductiva de la especie. La cosecha parcial ayuda a mantener cultivos semicontinuos, en donde la recuperación de la biomasa (número de células) de la microalga se contemplan para las 24 horas siguientes a la extracción, con el objetivo de poder aplicar nuevamente la dilución del cultivo como se observa en la siguiente figura. Esta forma cíclica ha demostrado la capacidad de poder mantener el mismo número de células sin modificar su calidad nutricional por un periodo largo de tiempo. Una ventaja de este tipo de cosecha es la disminución del tiempo destinado en generar nuevos cultivos y el periodo que tardan en alcanzar la fase de crecimiento exponencial. Aunque, la posibilidad de contaminar el cultivo se incrementa si no se siguen las buenas prácticas de producción acuícola en microalgas. Los contaminantes principales son microorganismos unicelulares ciliados o flagelados.



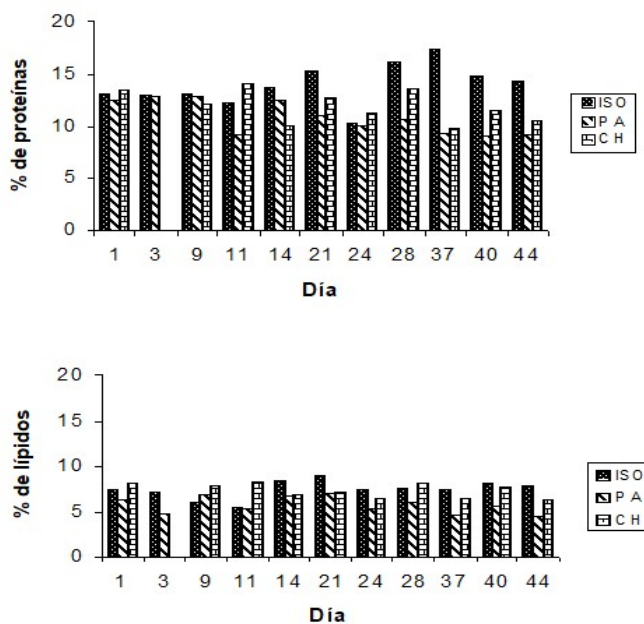
Tendencia de recuperación en el número de células (10^6 cél·ml⁻¹) posterior a diferentes tasas de dilución (20%, 30% y 50%) en un cultivo semicontinuo de la microalga *Chaetoceros calcitrans*.
Permiso: Ana Nallely Cerón Ortiz-CICESE.

Por otra parte, la cosecha total considera la extracción total de la biomasa algal en el cultivo, y generalmente se utiliza en el cultivo estático, en donde al llegar a la fase de crecimiento microalgal de interés, se detiene el cultivo y se usa la biomasa en su totalidad. Una forma alterna de utilizar la biomasa de los cultivos de microalgas es a través de sistemas continuos de alimentación. En los cuales, el productor decide proporcionar la biomasa del cultivo estático de la microalga a través de un flujo continuo hacia los tanques de alimentación de organismos como los moluscos bivalvos. Sin embargo, el productor puede decidir mantener el cultivo de la microalga en sistema semicontinuo al adicionar un

volumen de agua nueva con nutrientes equivalente a la que proporciona continuamente al tanque de alimentación.

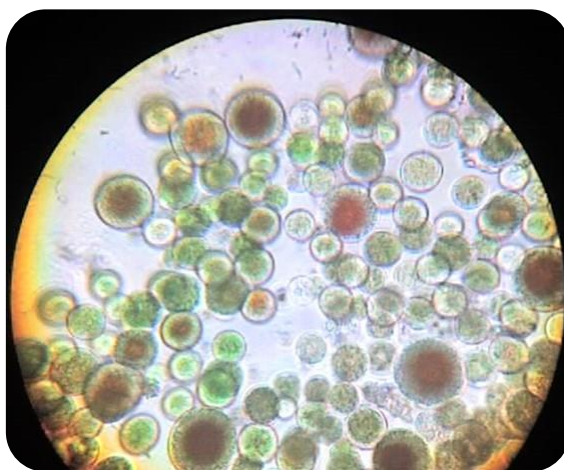
Momento óptimo de cosecha

En lecciones anteriores aprendiste la relación entre la fase de crecimiento de la microalga y el contenido de compuestos orgánicos como las proteínas, carbohidratos y lípidos. Esto es de suma importancia si consideramos que de acuerdo con la etapa de crecimiento de las microalgas en los cultivos tú puedes decidir el momento de la cosecha con base al compuesto que requieres. Recordando un poco, en la fase de crecimiento exponencial, las microalgas tienen un mayor contenido de proteína en su estructura celular. Además, la tasa de crecimiento o reproducción es esta etapa le permite recuperar el mismo número de células con igual contenido de proteínas en solo 24 horas. Por ello, al aplicar una cosecha parcial se tendría diariamente un volumen constante de biomasa algal con alto contenido de proteínas. Por otro lado, si la biomolécula requerida son los lípidos, lo más recomendable sería aplicar una cosecha total en la fase de crecimiento estacionaria. Ya que en esta fase de crecimiento se registran menos proteínas y más productos de reserva energética (lípidos). En la siguiente figura puedes observar como la cantidad nutrimental se mantiene durante la aplicación de la cosecha parcial en un cultivo semicontinuo.



Porcentaje de proteínas y lípidos en base a peso seco total de tres microalgas mantenidas en sistema semicontinuo. ISO: Isochrysis sp.; PA: Pavlova lutheri y CH: Chaetoceros calcitrans. Gráficas: Ana Nallely Cerón Ortiz-CICESE.

Aunado a ello, las bajas tasas de crecimiento o reproducción no permitirían recuperar la biomasa en 24 horas. En cuanto a metabolitos como los pigmentos o antioxidantes también se aplica este sistema para poder saber cuándo cosechar la microalga. Por ejemplo, *Haematococcus pluvialis* es una microalga verde de agua dulce que contiene el pigmento astaxantina cuando forma quistes para proteger el fotosistema ante condiciones de cultivo adversas. El pigmento astaxantina es de color rojizo y se utiliza en la industria farmacéutica y alimentaria, en esta última como colorante de alimentos. En el caso de la acuicultura, este pigmento se utiliza para potenciar el color en organismos acuáticos como la trucha. En la siguiente imagen se observan células de *Haematococcus pluvialis* con pigmento clorofila (verde) y astaxantina (roja).



Muestra de la microalga Haematococcus pluvialis bajo microscopio, se puede observar el cambio de color por la astaxantina. Fotografía: Ana Nallely Cerón Ortiz.

Pasos del proceso de cosecha

El proceso de cosecha parcial o total es muy similar; primeramente, se debe conocer el número de células en el cultivo a través del conteo celular en un hematocitómetro o bien por monitoreo de la absorbancia en un espectrofotómetro. Lo anterior nos permite determinar la fase de crecimiento en la cual se encuentra el cultivo al compararla con la curva de crecimiento obtenida previamente para cada especie. Asimismo, se recomienda verificar en el microscopio la ausencia de microorganismos contaminantes como los ciliados y dinoflagelados. El asegurar la ausencia de estos organismos ayuda a mantener la inocuidad del proceso y asegurar la calidad de la biomasa a utilizar, no olvides que estas células algales se proporcionarán a otros organismos acuícolas y la presencia de contaminantes afectaría la seguridad alimentaria. Si la cosecha es total, entonces se detiene la aireación y se procede a vaciar el contenido del cultivo en los tanques de alimentación de acuerdo con la tasa de filtración y número de animales (larvas de crustáceos o moluscos bivalvos o univalvos) que se tienen en esos recipientes. En las

siguientes imágenes observarás dos equipos utilizados en el monitoreo del crecimiento algal en un cultivo.



*Monitoreo del número de células al microscopio previo al proceso de cosecha en un cultivo de la microalga *Chlamydomonas* sp. Fotografía: Ana Nallely Cerón Ortiz.*



*Monitoreo del número de células en espectrofotómetro previo al proceso de cosecha en un cultivo de la microalga *Chlamydomonas* sp. Fotografía: Ana Nallely Cerón Ortiz.*

En la cosecha parcial, previamente se debe de tener el agua que se va a sustituir posterior a la extracción del volumen por dilución. No hay que olvidar que en esta agua limpia y/o estéril deberá de colocarse nuevos nutrientes para que incentiven la recuperación celular a través de la reproducción. La aireación se detiene por un momento y por desplazamiento se extrae el agua del cultivo para proporcionarla en los tanques de alimentación de acuerdo con la tasa de filtración y número de organismo. Posteriormente se vacía el agua con los nuevos nutrientes y se conecta de nuevo la aireación. Es importante mencionar que cada granja tiene instalaciones específicas y en algunas de ellas se tiene conectado el

sistema de cultivo de la microalga con los tanques de alimentación a través de tubos y llaves de paso. Sin embargo, el proceso se sigue de manera similar, lo que cambia es la herramienta y el sistema de alimentación. En algunas granjas de moluscos bivalvos se tienen conectados flujos continuos desde los recipientes de cultivo hasta los tanques de cultivo de las semillas del bivalvo. El flujo continuo está en función de la capacidad de filtración de la especie de molusco y por goteo se está proporcionando el alimento durante un periodo definido. A mismo tiempo se contempla la adición de agua nueva con nutrientes en el cultivo original de la microalga o bien se define si ese tanque de cultivo se vaciará por completo durante el proceso de alimentación del animal al cual se le proporciona. A lo largo del proceso se debe de considerar las buenas prácticas de producción acuícola, no hay que olvidar que los sistemas de producción de microalgas se pueden contaminar fácilmente con ciliados o protozoarios. Por ello, hay que tener el cuidado suficiente con la higiene del personal y los insumos que se utilizan para este propósito. Las siguientes imágenes muestran la técnica que se usa para la extracción del medio líquido en un cultivo a nivel de garrafón.



*Extracción por desplazamiento del volumen de agua con biomasa algal de un sistema semicontinuo de *Chlamydomonas* sp. Fotografía: Ana Nallely Cerón Ortiz.*

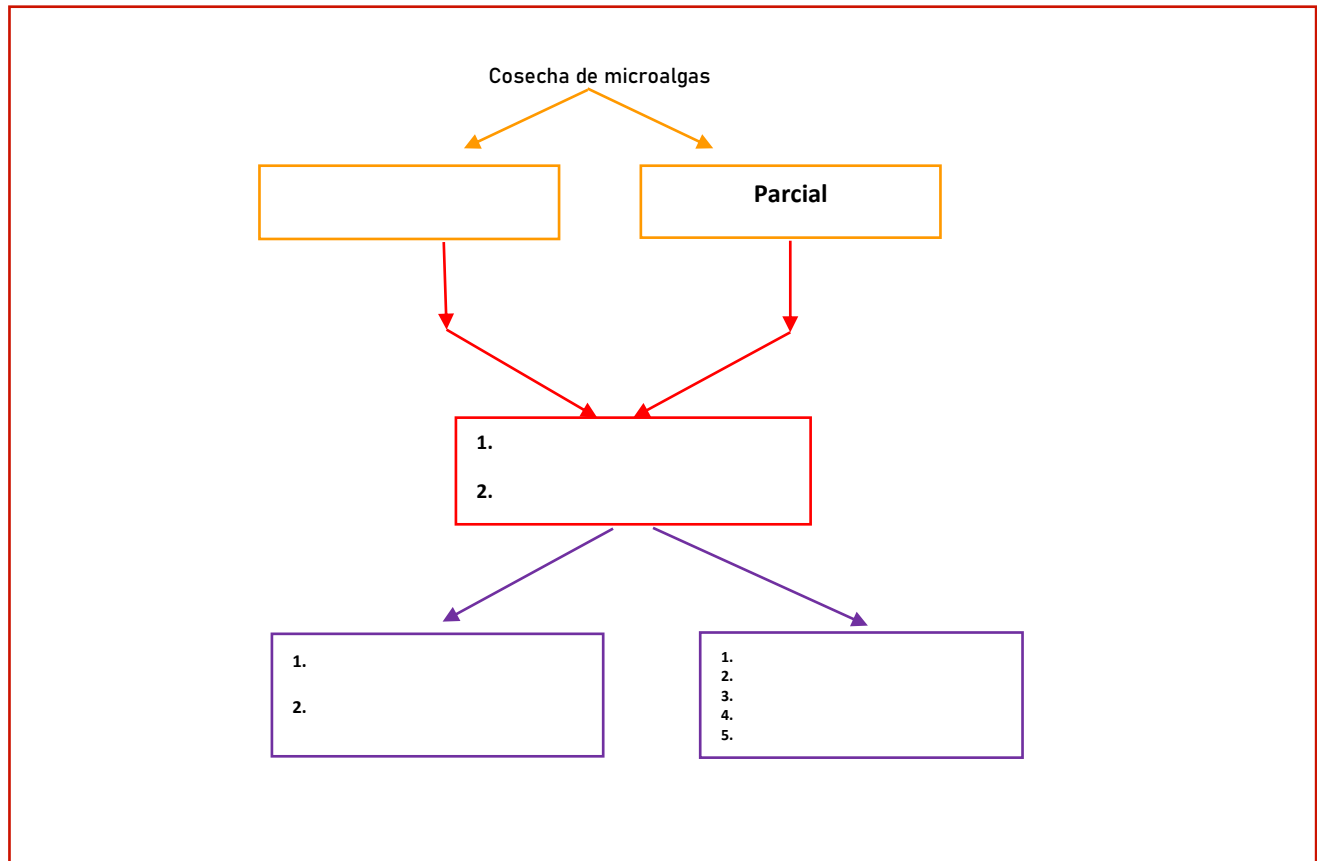


*Extracción por desplazamiento del volumen de agua con biomasa algal de un sistema semicontinuo de *Chlamydomonas* sp., y su recuperación posterior a la cosecha. Fotografía: Ana Nallely Cerón Ortiz.*



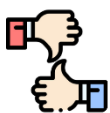
Actividad de aprendizaje

Elabora un diagrama de proceso donde muestres los pasos a seguir para realizar la cosecha parcial y total en un cultivo de microalgas en sistema semicontinuo y estático respectivamente. Puedes guiarte con el siguiente ejemplo:



Fuentes:

- Anzueto-Sánchez, M.A. 2008. Evaluación del cultivo continuo de tres especies microalgales. Tesis de Maestría. CICESE. Consultado el 28 de abril, disponible en <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/1880>
- Fernández-Sevilla, J. M. 2014. Microalgal Biotechnology. Consultado el 25 de abril, disponible en <https://w3.ual.es/~jfernand/ProcMicro70801207/tema-1---generalidades/1-5-modos-de-cultivo.html>
- Santa Marta D.T.C.H. 2018. Evaluación de organismos marinos con potencial bioactivo. Consultado el 30 de abril, disponible en http://cinto.invemar.org.co/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/3cbddf0b-e4fa-48fb-92a2-ac1ebc118f56/Algas0-11.pdf?ticket=TICKET_db6791769b5bc49bd67faa98e647b05a2983d2b9



Autoevaluación

| Indicadores | Lo puedo hacer | Tengo dudas | Necesito trabajar más |
|---|----------------|-------------|-----------------------|
| Identifico el concepto de cosecha. | | | |
| Diferencio los tipos de cosecha aplicables al cultivo de microalgas. | | | |
| Conozco el proceso de la cosecha parcial y total aplicable al cultivo de microalgas. | | | |
| Reconozco los factores que influyen en la toma de decisión del tipo de cosecha que se debe aplicar en un cultivo de microalgas. | | | |



Para saber más

Recomendaciones para complementar tus aprendizajes.

- Estudio del desempeño energético de las tecnologías convencionales y mejoradas con granulación alba para la cosecha de microalgas cultivadas en el tratamiento de aguas residuales con fines de producción de biogás. Se recomienda revisar las páginas 10, 11, de la 22 a la 29 para ampliar la información sobre cosecha. https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/11932/2020_Tesis_Giselle_Cruz.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hernández-Pérez, A. y Labbé José, I. 2014. Microalgas, cultivo y beneficios. Rev. biol. mar. oceanogr. 49(2): 157-173. Se recomienda revisar las páginas 158 a la 162, y de la 166 a la 167 para ampliar la información sobre uso de la microalga y su cosecha. <https://www.scielo.cl/pdf/revbiolmar/v49n2/art01.pdf>
- Peralta- Ruiz, Y. Y., Pardo Cárdenas, Y., Canchila Romero, H. D y Viatcheslav, K. 2012. Implementación de la metodología de síntesis y análisis de procesos a la etapa de cosecha de microalgas para la producción de biodiesel, Prospectiva, 10(1). Se recomienda revisar todas las páginas, pero puedes enfatizar en la 133, 134, 135 y 143 para ampliar la información sobre métodos de cosecha. <https://www.redalyc.org/pdf/4962/496250733015.pdf>

Resiembra de microalgas



Contextualizando

Según el modo de funcionamiento del sistema de cultivo de microalgas, existen tres tipos de métodos de cultivo de gran escala comercial para la resiembra: cultivo discontinuo, semicontinuo y continuo. Mediante cualquiera de estos métodos, se pueden utilizar contenedores de hasta máximo 6000 litros, para tener un buen manejo de buenas prácticas. En ocasiones un error puede llevar a la contaminación de estos contenedores y puede pérdidas económicas, por tal razón es buena llevar un buen manejo y control biológico.



¡Vamos a aprender!

¿Sabías que? El cultivo de microalgas es una alternativa para crear biodiesel, fertilizantes orgánicos, cosméticos, suplementos alimenticios, fármacos, entre otros. Estas alternativas se han ido desarrollo e implementando principalmente en el sector agrícola, lo cual sirve como alternativa para tener productos amigables con el medio ambiente.

Recuerda que la división celular es el proceso en el cual una célula vegetal se parte en dos nuevas células hijas.

Cultivos discontinuos

En estas resiembras, la población pasa por diferentes etapas de crecimiento y habitualmente se adapta a funciones logísticas. A medida que transcurre el tiempo de cultivo, esto producirá cambios fisiológicos en la población.

El cultivo por lotes se usa generalmente para la investigación autótrofa fotosintética, pero es difícil determinar el número de células. Estos tipos de cultivos tienen la ventaja de ser fáciles de manipular y son adecuados para estudiar la cinética de crecimiento y los parámetros que afectan el crecimiento celular.

El cultivo por lotes implica la recolección completa del recipiente de cultivo y es el método de procesamiento más fácil, aunque requiere más mano de obra que otros sistemas. Con

la excepción de los diseños destinados a producir floraciones de algas naturales en tanques de agua al aire libre, todo cuidado comercial generalmente requiere el uso de sistemas de cultivo por lotes, aunque solo sea como iniciador para el cultivo continuo o semicontinuo.

Cultivo semicontinuo

En este tipo de siembra, generalmente se recolecta una porción del volumen para su uso al final de la fase exponencial, y luego la porción eliminada se reemplaza con medio fresco. Este método requiere menos mano de obra que el procesamiento por lotes de cultivos. Mediante un método semicontinuo, se puede mantener durante varias semanas un sistema interior para la producción de microalgas, en este sistema se pueden controlar cuidadosamente las condiciones de cultivo.

En un sistema de energía luminosa eficiente, a altas concentraciones de células, se puede recolectar hasta el 90% del cultivo 3 veces por semana. Los cultivos de especies naturales como los océanos y el agua dulce también pueden operar de forma semicontinua, induciendo así floraciones, donde se aplica en cierto caso la entrada directamente del agua de mar para alimentar a los moluscos.

Cultivo continuo

Este cultivo de población se conserva en la fase de crecimiento exponencial durante largos períodos. La ventaja es que las muestras tomadas en tiempos diferentes son idénticas. Para esto, los alimentos deben agregarse constantemente a la misma medida en que se eliminan del medio, para mantener los parámetros de crecimiento y la población celular a nivel constante. En estos sistemas, el factor que controla el crecimiento es el índice a la que se agrega el recurso reciente.

Para que esto pueda llevarse a cabo, los factores de crecimiento deben mantenerse constante. La densidad de la cosecha se controla, lo que mantiene una concentración constante. La ventaja son las condiciones ideales que pueden mantener la cosecha, el producto de algas más eficientes. Los cultivos continuos pueden funcionar correctamente, donde el medio fresco se suministra con una tasa sólida predeterminada en el que la concentración celular de cultivos se controla y se mantiene a un nivel predeterminado por una nueva entrada intermedia correspondiente a la tasa de división celular.

Escalamiento y manejo de los cultivos de microalgas

Para el cultivo de microalgas se necesitan diferentes volúmenes y condiciones en los laboratorios de microalgas, esto dependiendo de la demanda de producción. Las instalaciones deben contar con temperatura controlada, luz incidente y duración de los

ciclos de luz. Los cultivos de 400 litros o más, generalmente se llevan a cabo en instalaciones externas, en las que la temperatura, la luz y el período fotográfico no se controlan y, por lo tanto, la productividad y la calidad de la biomasa producida son menores; por su similitud, se pueden producir grandes volúmenes de cultivo y con bajo costo económico. Los cultivos externos generalmente usan diseños horizontales en sus unidades de producción (lagunas), mientras que los cultivos internos utilizan los sistemas de diseño vertical (cilindros, bolsas, etc.) donde se aprovecha mejor el espacio.



Matraz



Garrafrones



Columnas



Bolsas



Estanques

*Cultivo de microalgas en diferentes recipientes. Fotografías:
Valenzuela Wood, 2021.*

Las principales especies de microalgas que se cultivan en laboratorio, por su valor nutricional y ácidos grasos son:

- a) *T-isochrysis*
- b) *Pavlova pinguis*
- c) *Chaetoceros calcitrans*
- d) *Chaetoceros muelleri*

El proceso de resiembra se inicia a partir de colonias mantenidas sobre medio sólido con las que se siembran cultivos líquidos de poco volumen (generalmente hasta 250 ml en el caso de los matraces). Estos cultivos se mantienen como cultivos "stock" de reserva, para disponer de inóculos siempre que se necesiten. Estos a su vez sirven para inocular en garrafones de 20 litros y así sucesivamente de una forma escalonada se obtienen volúmenes de cultivo cada vez mayores, en recipientes de tubos de metacrilato o bolsas de polietileno de 40 a 400 litros. Los cultivos en bolsas pueden ser interiores o exteriores. Estas fases de cultivo se realizan normalmente en cámaras cerradas con luz y temperatura controladas y se consiguen producciones fijas de microalgas en un estado fisiológico óptimo.

A partir de volúmenes de 1-2 litros, los cultivos se mantienen agitados continuamente para mantenerlos homogéneos, favoreciendo el contacto entre las células y el medio y que toda la población algal reciba la misma irradiación. Normalmente la agitación se realiza mediante burbujeo de aire desde el fondo del recipiente de cultivo, que puede ir enriquecido con CO₂ para mantener el pH óptimo y aumentar la disponibilidad de la fuente de carbono para las microalgas.

Los volúmenes de 1 a 2 litros, se agitan continuamente para mantenerlos homogéneos, favoreciendo el contacto entre las células y el medio que toda la población reciba la misma irradiación. Normalmente, la agitación se realiza por el aire burbujeado desde la parte inferior del contenedor de cultivo, que se puede enriquecer con CO₂ para mantener el pH ideal y aumentar la disponibilidad de la fuente de carbono para las microalgas.

Es necesario para un clima adecuado, una topografía adecuada, un buen suministro de agua (en calidad y cantidad) y fuente de energía disponible. En el caso de microalgas marinas, el agua de mar puede ser natural o artificial; El agua de mar artificial tiene un compuesto constante y se puede obtener en áreas lejos de la costa, sin embargo, se han obtenido mejores resultados por agua de mar natural.

En el diseño de lagunas o piscinas, se debe considerar la relación entre los costos de inversión y los ingresos esperados, ya que su construcción es el elemento más grande en la inversión total de la planta de productos.



Actividad de aprendizaje

1. Menciona 3 aplicaciones que se le pueden dar a las microalgas.

_____.

2. ¿Cuál es la ventaja del método de cultivo continuo?

3. Mediante un método _____, se puede mantener durante varias semanas un sistema interior para la producción de microalgas.

4. ¿Qué parámetros se deben tener en cuenta para garantizar un crecimiento óptimo de las microalgas?

5. En el sistema _____, la densidad de la cosecha se controla, lo que mantiene una concentración constante.



Autoevaluación

| Indicadores | Lo puedo hacer | Tengo dudas | Necesito trabajar más |
|---|----------------|-------------|-----------------------|
| Puedo explicar la importancia de las microalgas como materia prima. | | | |
| Soy capaz de identificar los sistemas de cultivo. | | | |
| Comprendo el manejo de biomasa en los sistemas de cultivo. | | | |
| Conozco sobre el proceso para cosechar las microalgas. | | | |



Para saber más

Recomendaciones para complementar tus aprendizajes.

- Microalgas. Generalidades y medios de cultivo.
https://www.youtube.com/watch?v=mPoLK_uWfJ4
- Microalgas: alternativa sustentable que crece y se consolida.
<https://www.youtube.com/watch?v=IGTtFqOiDro>