

MANUAL DE CULTIVO DE ESPIRULINA ARTESANAL

(Revisado el 2 de febrero de 2018)

(Detalles sobre las ÚLTIMAS REVISIONES)

(Resumen en español: INGLÉS)

(Resumen en español: CASTELLANO)

RESUMEN

PRESENTACIÓN

- 1) ¿Qué es la espirulina? ESPIRULINA
- 2) Influencia del CLIMA
- 3) PISCINAS
- 4) Medio de cultivo 5)
SIEMBRA
- 6) Alimento mineral de espirulina ALIMENTOS
- 7) Conducta y mantenimiento de la CULTURA
- 8) COSECHA
- 9) SECADO
- 10) CONSUMO
- 11) HIGIENE
- 12) RECOMENDACIONES

APÉNDICES

CÁLCULOS

BIBLIOGRAFÍA

PRESENTACIÓN



JP Jourdan comparte aquí su experiencia de casi veinte años practicando el cultivo de espirulina y también muestra cómo aplicar métodos de ingeniería química para perfeccionar esta producción incluso a pequeña escala y sin medios técnicos sofisticados. Aporta un sinfín de detalles que permiten la construcción de la instalación de cultivo y su funcionamiento en muy variadas circunstancias, pero también evaluar y optimizar el precio de coste de esta microalga tan demandada hoy en día por sus virtudes nutricionales u otras.

Graduado del MIT, JP Jourdan hizo su carrera en la industria química antes de dedicar su retiro en el sur de Francia al desarrollo de espirulina para niños en el Tercer Mundo. Después de haber sido "estudiante de espirulina" con Ripley D. Fox y Francisco Ayala, es miembro de Technap y ha colaborado activamente con Antenna Technology y varias ONG más en el campo de la espirulina.

PRELIMINAR

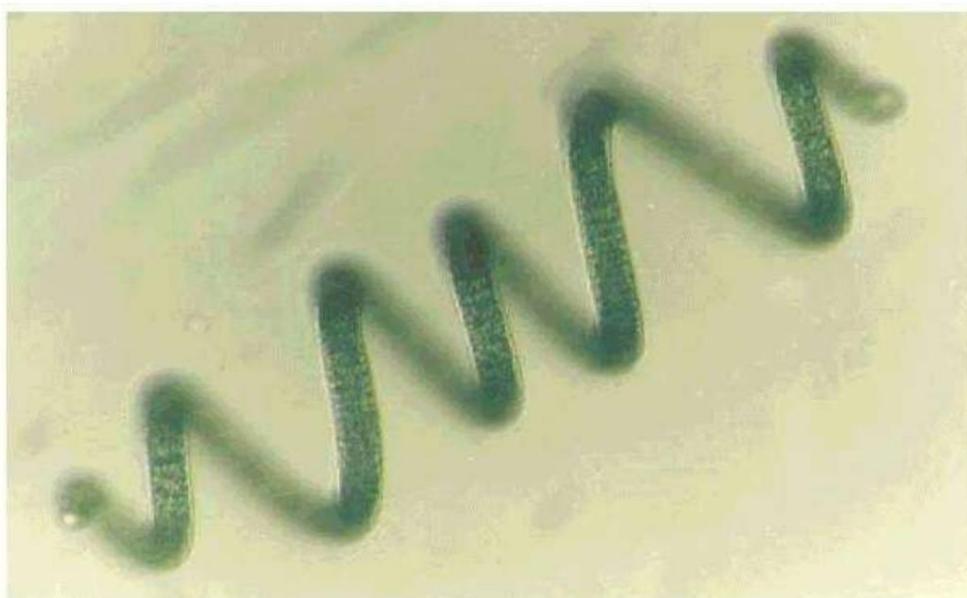
El objetivo de este manual es formar formadores para difundir y hacer accesible el cultivo y consumo de la espirulina a un mayor número de personas, y ayudar a los futuros "jardineros" (¿jardineros del futuro?) a controlar una serie de parámetros. producir, a escala familiar, cooperativa o comunitaria, un alimento cuyas cualidades nutritivas son hoy reconocidas, pero que les resulta prácticamente inaccesible, al menos en estado fresco. No es necesario proporcionar los elementos necesarios para una operación que cumpla únicamente con criterios de rentabilidad comercial, especialmente en países con mano de obra costosa, porque el proceso propuesto es muy intensivo en mano de obra debido a su tasa de mecanización casi nula.

Cultivamos espirulina a pequeña escala desde 1991, con el objetivo de ponerla al alcance de quienes realmente la necesitan. Esperamos que este documento, basado esencialmente en nuestra experiencia personal y la de algunos compañeros que trabajan de manera similar, pueda iniciarte, guiarte en tus primeros pasos en este nuevo tipo de cultura.

Te aconsejamos que inicies tu cultivo a pequeña escala, que te mojes los pies, comprendas mejor los fenómenos naturales que en realidad son muy simples y manejes herramientas de trabajo que te resultarán tanto más familiares cuanto que las hayas fabricado tú mismo.

Añadamos que sin poder garantizar la calidad de la espirulina producida en tal lugar, en tal clima, en tales condiciones, podemos afirmar que nunca hemos tenido conocimiento de un caso de toxicidad de una espirulina producida artesanalmente en latitudes (entre 0 y 45°) donde trabajamos.

¿QUÉ ES LA ESPIRULINA?



Arthrospira platensis

=

"SPIRULINA"

Es un pequeño ser acuático (0,3 mm de largo), tan antiguo como el mundo cuyo nombre científico es "cyanobacterium *Arthrospira platensis*" (no confundir con la cianobacteria marina llamada científicamente "Spirulina subsalsa"), que vive de la fotosíntesis como las plantas y prospera naturalmente en lagos salinos y alcalinos en regiones cálidas del mundo. Alimento tradicional de los Aztecas de México y los Kanembous de Chad, más rico en proteínas que la carne, la espirulina se cultiva ahora en grandes fábricas de USA, India, China, Tailandia, etc., porque siempre se descubren cualidades más interesantes para la alimentación y salud, tanto para los humanos como para los animales. Por

ejemplo un niño que sufre de kwarshiorkor (desnutrición) puede recuperarse dándole una cucharada al día de espirulina durante un mes. La espirulina refuerza las defensas inmunitarias y alivia el sufrimiento de las personas con SIDA.

Permite que los pacientes con tuberculosis toleren mejor su tratamiento. La espirulina también se utiliza como ingrediente activo en cosmética.

En la naturaleza, la espirulina solo necesita "crecer" en un recipiente de arcilla que retiene agua salobre y alcalina, en un clima cálido y algunos desechos animales. Los flamencos de las especies "menores" (las más numerosas) proporcionan el suministro de excretas y la agitación necesaria para asegurar el crecimiento de la espirulina natural que es su alimento exclusivo, especialmente en los lagos del este de África (Valle del Rift).

La espirulina se presenta en forma de filamentos formados por células yuxtapuestas. La reproducción de la espirulina, asexual, se realiza por división de los filamentos.

Para detalles sobre las características, virtudes, fabricación industrial y mercado de la espirulina, le remitimos a los trabajos más recientes disponibles sobre estos temas, entre ellos el clásico "Earth Food Spirulina" de Robert Henrikson, publicado por Ronore en EE.UU. (1997) y las de Jacques Falquet: "Spirulina, Nutritional Aspects", Antenna Technology, Ginebra (2006) <http://www.antenna.ch/documents/AspNutr2006.pdf>, D. Fox: "Spirulina, Production & Potential", Editions Edisud (1999), sin olvidar "Spirulina Platensis (Arthrospira), Physiology, Cell biology and Biotechnology", de Avigad Vonshak, Editions Taylor & Francis (1997). "Earth Food Spirulina" ya está disponible en <http://www.spirulinasource.com/> con actualización permanente. Se recomienda encarecidamente "Spirulina in Human Nutrition and Health", de ME Gershwin y Ahma Belay, CRC Press (2008).

La planta hawaiana se describe en <http://www.cyanotech.com/>.

Consulte también, por supuesto, las publicaciones de Antenna Technology en www.antenna.ch.

INFLUENCIA DEL CLIMA

Los dos parámetros fundamentales que contribuyen a constituir el clima son la temperatura y las precipitaciones. Sin embargo, no descuide los vientos dominantes, por ejemplo el mistral en el valle del Ródano, que puede tener consecuencias significativas sobre la evaporación de una cuenca de cultivo, sobre la temperatura del agua o la "contaminación" de esta cuenca por todos los desechos y polvo que pueda llevar.

Asimismo, determinados elementos como los setos, la presencia de barras rocosas, bosques, etc. puede tener importantes consecuencias sobre el microclima, consecuencias que conviene valorar antes de montar un estanque... como un huerto.

2.1) Temperatura

Los primeros puntos de referencia en cuanto a temperaturas son más o menos las mismas que para los humanos, 37°C: temperatura ideal para el cultivo. Arriba, hace demasiado calor (43°C pueden ser mortales). A continuación, la tasa de multiplicación disminuye con la temperatura. A 20°C prácticamente se detiene el crecimiento. Por lo tanto, la temperatura del medio de cultivo debe estar entre estas dos temperaturas. Cuanto más larga sea la "temporada", más largo será el período de cosecha. Los climas continentales o de gran altitud están en desventaja.

El hándicap de un clima demasiado frío puede compensarse artificialmente, como para todas las plantas. La construcción de estanques bajo invernadero puede ser tanto más interesante cuanto que este refugio constituye no sólo una protección contra el frío, la evaporación, los insectos y el polvo sino también contra las lluvias diluvianas, como las tormentas, que pueden hacer desbordar los estanques y por lo tanto causar una pérdida, o al menos una dilución

del medio de cultivo.

2.2) Precipitaciones

El funcionamiento de los estanques de cultivo requiere un mínimo de recursos hídricos. El agua de lluvia es interesante porque es limpia y neutra (sin minerales en solución). En climas con poca precipitación, o con una estación seca prolongada, puede ser necesario prever una cisterna para almacenar el agua de lluvia y así compensar la evaporación de los estanques. Una vez más, tiene que haber un "término medio". El exceso de precipitaciones deberá anticiparse construyendo cuencas más profundas o protegiéndolas. La falta de agua es obviamente prohibitiva. La falta de agua de lluvia se puede compensar con el uso de agua de diversas fuentes, y más o menos "cargadas" (río o río, aguas subterráneas, aguas residuales...). Entonces será necesario tener en cuenta la calidad del agua en el desarrollo, luego el mantenimiento del medio de cultivo.

La presencia de una cubierta translúcida sobre los estanques para evitar la dilución del medio de cultivo es una buena solución en regiones con fuertes lluvias (ver § 3.2 [cubierta](#)).

2.3) Clima ideal

Hay climas ideales donde nunca hace frío y donde las lluvias se distribuyen uniformemente y compensan la evaporación, como ciertos puntos de la vertiente oriental de los Andes. Otro tipo de clima ideal es el desierto al pie de las montañas que aseguran una gran provisión de agua, como el desierto de Atacama en Chile. El agua consumida por una balsa se utiliza principalmente para mantener el cultivo por debajo de los 40°C, por evaporación. En un clima desértico sin agua, el cultivo es imposible (excepto para importar agua), mientras que en un clima frío, el cultivo en invernadero es fácil con un bajo consumo de agua.

2.4) Estacionalidad (Ver Apéndice A25 [invernada](#))

En las regiones templadas, el invierno suele ser demasiado frío para cultivar espirulina, excepto con calefacción e iluminación artificiales costosas. Incluso en regiones cálidas, las fuertes lluvias o la sequía o las tormentas de arena en ciertas estaciones pueden hacer necesario un cierre anual.

Por lo tanto, el cultivo de espirulina será a menudo estacional.

Durante la mala estación, una "cepa" de espirulina debe mantenerse imperativamente en su medio de cultivo. Los recipientes (frascos, bombonas, palanganas) deben dejar pasar la luz y almacenarse en un lugar luminoso pero a la sombra, o estar bajo iluminación eléctrica. Si bien los cultivos de espirulina sobreviven a temperaturas por debajo de los 10°C, o incluso heladas breves, es prudente no almacenarlos por debajo de los 18°C por largos periodos de tiempo, ya que aumenta el riesgo de contaminación.

El hecho de que la espirulina prospere en un ambiente muy alcalino tiene dos ventajas principales: - una mejor absorción de dióxido de carbono del aire - protección contra la contaminación.

Esta protección nos fue demostrada involuntariamente en la primavera de 1997. Teníamos dos recipientes de espirulina de 10 m² uno al lado del otro, uno al aire libre, el otro protegido de la lluvia. El estanque desprotegido que se desbordó se drenó y se llenó con agua de lluvia, que fue colonizada por algas verdes unicelulares (chlamydomonas) y muchos animales (gusanos rojos, larvas de mosquitos, insectos nadadores). La otra cuenca ha mantenido su espirulina sin contaminación. Sin embargo, no se debe creer que solo la espirulina puede crecer en su medio de cultivo: allí pueden vivir otras algas, microorganismos y animales, de ahí la necesidad de monitorear los cultivos desde el punto de vista de los contaminantes, especialmente en los cambios de estación.

QUINIELAS

¿Dónde deben ubicarse las piscinas? Es necesario respetar algunas reglas que no siempre son obvias: ni debajo de los árboles, ni en un lugar sujeto a inundaciones, ni cerca de una carretera o una industria (contaminación). A salvo de los curiosos, muchas veces ignorantes y no siempre bien intencionados. El terreno llano facilitará el trabajo, la proximidad al agua, etc. Vale la pena pensar antes de decidir.

3.1) Construcción de estanques de cultivo

Para la producción familiar o artesanal, podemos conformarnos con cubetas pequeñas, sin agitación por rueda de paletas, sin deflector mediano. Hay muchas formas de construir un estanque adecuado, que varían según las condiciones locales.

La piscina no debe tener ángulos agudos, sino formas redondeadas (al menos en los extremos en el caso de piscinas rectangulares). El fondo debe estar lo más nivelado posible,

con muy ligera pendiente hacia un lugar más hueco y de fácil acceso (para facilitar el vaciado). Los bordes de la cubeta deben estar por encima del nivel del suelo, para reducir la entrada de polvo y animales, y por lo menos 20 a 40 cm por encima del fondo: es mejor proporcionar una profundidad bastante profunda, para recoger las lluvias, facilitar transferencias entre cuencas y posiblemente la autodepuración biológica del medio de cultivo. Las piscinas, especialmente las más profundas, deben cuidarse para evitar el acceso de niños pequeños. También debemos asegurarnos de que no podemos confundir las cuencas con un basurero, un percance que lamentablemente ha ocurrido en varios países.

Una de las mayores dificultades para hacer que un estanque tenga éxito es nivelar el fondo: de hecho, aquí es donde radica principalmente la limitación de la superficie para un artesano que solo tiene herramientas ordinarias (pico, rastrillo, regla y nivel de burbuja). Para piscinas grandes, las empresas utilizan láseres, que facilitan mucho el trabajo.

Una variante, que no se describirá aquí porque no es muy adecuada para las condiciones artesanales, consiste en cultivar en una lámina de agua que fluye por un plano inclinado.

3.1.2) En láminas de plástico

Se recomienda un espesor de película de 0,25 mm como mínimo y preferiblemente de 0,5 mm. El film (polietileno, EVA, PP, EP, PVC, caucho EPDM), grado alimentario (o al menos no tóxico), libre de plastificantes y resistente a los rayos UV, se puede fijar simplemente a un marco de tubo de madera o acero o PVC, o sostenido por un muro bajo hecho de tablas, ladrillos, bloques de hormigón (preferiblemente cementados y sobre una base de hormigón), posiblemente tierra cruda estabilizada (tierra apisonada, "banco"). De hecho, la solución de pared dura es la mejor si existe riesgo de ataque de roedores o termitas. Evitar en lo posible los pliegues en los ángulos dando zonas que no estarían bien agitadas o ventiladas. Se recomienda cementar el suelo de apoyo del estanque o cubrirlo con una capa de arena de río bien apisonada o laterita triturada. Si tiene que utilizar film plástico fino, protéjalo del contacto directo con el suelo y la mampostería, por ejemplo con un fieltro tipo "geotextil" o dos o tres capas de film usado. Existe una película de PVC, grado alimentario, de 1,2 mm de espesor y 2 m de ancho, que se puede ensamblar mediante soldadura con pistola especial de aire caliente (requiere electricidad). El film de caucho EPDM, que se puede pegar, es una buena pero lujosa solución. Las películas gruesas, soldables o pegables reducen las arrugas y facilitan la instalación de un deflector central que simplemente se puede soldar o pegar al fondo del estanque, pero estas películas tienden a permanecer fuera del alcance de los pequeños productores. El deflector puede ser un bolsillo lleno de arena o un tubo grande colocado debajo de la lona.

Al instalar películas y lonas, tenga en cuenta el alto coeficiente de expansión térmica de las películas plásticas (si se instalan en climas cálidos, habrá una contracción significativa en climas fríos y viceversa).

Si utiliza una película de calidad desconocida, haga una prueba de cultivo para verificar que no sea tóxica y que sea resistente al medio de cultivo (ver [calidad](#)).

Si hay termitas, se recomienda poner un lecho de arena sobre una capa de ceniza debajo del plástico y usar una pared dura, o al menos tratar la madera, a menos que tenga madera naturalmente inexpugnable; también puede colocar la película sobre una losa de arcilla seca o, mejor aún, cemento, o protegerla con metal. Tenga en cuenta que el quackgrass africano puede perforar el plástico. A veces el plástico no gotea aunque esté

perforado con un pequeño agujero, que se cierra espontáneamente.

Es posible reparar un pequeño agujero con una masilla negra pegajosa (seca) que se vende comercialmente para este fin, o incluso con un "parche" de cinta impermeable.

Los roedores pueden ser peligrosos formidables para los estanques de película plástica sin protección. Durante años no tuve este problema en Mialet, luego en el invierno de 2000-2001 (muy suave) se perforaron 4 piscinas con múltiples orificios en los bordes desprotegidos. Existen dispositivos ultrasónicos eléctricos que repelen eficazmente a los roedores.

Para poder drenar y limpiar un recipiente que consiste en una lona de plástico sostenida por una pared dura, una manera fácil es hacer un agujero en el suelo cerca del borde de la lona para formar un punto de drenaje (pozo de sumidero).

Foto de una de las primeras piscinas (en tejido de poliamida recubierta de PVC) del Ecoparque, Madurai, Tamil Nadu (India), 18 m², 1998:



3.1.3) "Duro" (concreto, bloques de hormigón, ladrillos)

El fondo de una balsa de cemento debe construirse en forma de losa de hormigón armado de al menos 10 cm de espesor, de muy buena calidad, sobre suelo bien compactado. Los bordes de la cuenca pueden estar hechos de ladrillos, bloques u hormigón armado. Evite los ángulos agudos. Cuidar la capa impermeabilizante (prácticamente imprescindible un coadyuvante impermeabilizante o una pintura epoxi, o bien pintar la capa de cemento con cal – en este caso dejar la cal colocada antes de embalar). Es bueno esperar unos días, recipiente lleno de agua, antes de inocular con espirulina (de lo contrario, la alcalinidad excesiva de la cal o del cemento fresco puede volver amarilla la espirulina muy rápidamente). Existen técnicas para construir piscinas de gran longitud (50 a 100 m) sin juntas de dilatación. La combinación de hormigón y film plástico también es una solución, ya sea para que el film recubra el hormigón para sellarlo, o para parte del

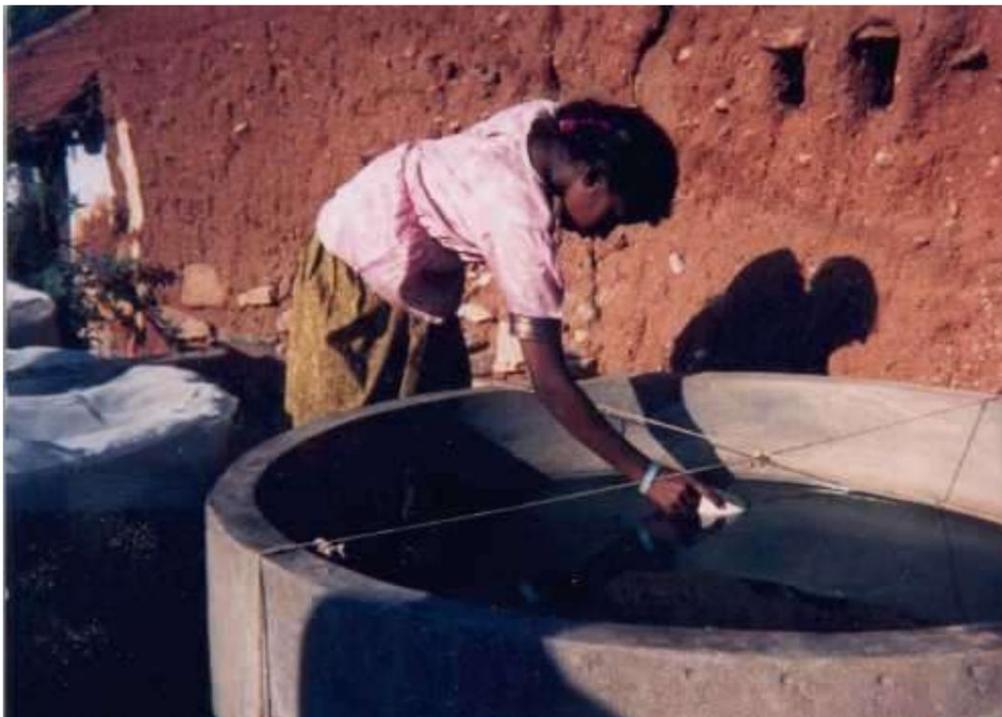
balsa ya sea en film plástico y la otra en concreto (con conexión concreto-film como lo practica con éxito Bionor en Chile). Las grietas de concreto se pueden reparar con sellador de silicona.

Fotos :

En los Padres Camilianos en Davougon (Benin), 8 m², 1994:



En un pueblo cerca de Madurai, Tamil Nadu (India), 1 m², 1996:



3.1.4) En tierra batida (si realmente no hay otra posibilidad):



Excavar 20 cm y hacer también un talud bien compactado de 20 cm. Si el suelo no es naturalmente arcilloso, cubrir la superficie con una capa de arcilla húmeda de buena calidad, de 3 a 5 cm de espesor, bien compactada para evitar grietas. Revestir los bordes con tejas o ladrillos cocidos, o con plástico para evitar que se agrieten cuando baje el nivel. La espirulina crece muy bien en un recipiente de arcilla, pero su pureza bacteriológica debe controlarse más de cerca (mayor riesgo de presencia de microorganismos anaerobios en el fondo porque el fondo no se puede remover). El sellado no es completo, pero se puede mejorar incluso con una película de plástico muy delgada colocada debajo de la arcilla.

3.2) Cobertura de la cuenca de cultivo

En ausencia de protección en la cuenca, es necesaria una buena disponibilidad de agua (para compensar la evaporación), la ausencia de lluvias torrenciales (lluvias de más de 200 mm/día) y las bajas temperaturas.

De hecho, a menudo es útil, incluso necesario, instalar un invernadero o al menos un techo sobre el estanque, para protegerlo contra la lluvia, el sol o el frío excesivos, y contra la caída de hojas, excrementos de pájaros, tormentas de arena y otros desechos, al tiempo que permite para "respirar". El techo puede estar hecho de lona de carpa blanca o tela de poliamida recubierta de PVC blanco que permite que pase algo de luz pero capaz de detener la lluvia lo suficiente. También puede ser de plástico translúcido: film de polietileno tratado anti-UV utilizado para la construcción de invernaderos hortícolas, o láminas de policarbonato o fibra de vidrio-poliéster gel-coated (para evitar que se salgan las fibras). Si el techo es opaco, debe ser lo suficientemente alto para que la piscina reciba suficiente luz de los bordes. El techo se completa preferentemente con un cierre traslúcido o mosquiteras en los laterales. Si la lluvia es tolerable, el techo puede ser reemplazado por una simple sombra (red de sombra, canisse, hojas de palma tejidas). El techo puede ser flotante (pero no en contacto con el cultivo) si el estanque es demasiado grande para construir una estructura fija que lo sostenga.

La instalación de un invernadero consiste en recubrir el estanque con una película translúcida con pendiente y tensión o soportes suficientes para evitar la formación de bolsas de agua de lluvia y resistir

a las tormentas. La película puede estar sostenida por montantes rígidos o alambres de hierro o redes (debajo y, a veces, también por encima). Las aberturas de ventilación y/o acceso deben estar provistas y equipadas con mosquiteros. Por lo general, es necesario proporcionar también un dispositivo de sombra (por ejemplo, una red de sombra de plástico tejido negro). La madera sin tratar y el acero galvanizado son materiales adecuados para estructuras de invernaderos. Evite los tornillos cadmiados (con reflejos amarillos). Evite también cualquier pintura que no resista bien al medio de cultivo (la pintura epoxi es adecuada). Prohibir las pinturas antioxidantes a base de minio (plomo). Coloque y estire la película en climas cálidos para evitar que se estire en climas cálidos. Cabe señalar que determinadas maderas son atacadas por el medio de cultivo, y que según los países sólo se autoriza el uso de maderas de determinadas esencias en la industria o en la industria alimentaria artesanal. Una realización económica de un estanque de invernadero consiste en hacer un murete de elementos rígidos (bloques o ladrillos de hormigón cementados o no cementados, tablas atornilladas a estacas de acero), colocar la película impermeabilizante que cubre el murete y enterrar en los bordes y luego estirar sobre una película de efecto invernadero en sí enterrada en los bordes. Una ligera pendiente (4 %) de la película del invernadero es suficiente para que el agua escurra de la película incluso con lluvias muy intensas sin acumularse allí, con la condición expresa de que la película se estire (en tiempo cálido) como la piel de un tambor o tela de paraguas; la pendiente puede ser proporcionada por vigas de madera o vigas que formen un marco sobre el estanque, si se permite la madera. Nota: con una pendiente baja, es probable que el invernadero no resista una fuerte nevada o granizo. Pour accéder à un tel bassin et l'aérer il est nécessaire d'installer en au moins un point (mais de préférence deux) une « porte » d'accès, simple cadre vertical sur lequel repose le bord du film qui reste non enterré à este lugar ; la puerta se puede cerrar con un mosquitero (no solo contra insectos sino también contra hojas muertas). Planificar la construcción para que la componente horizontal de la tensión de la película no incline el murete. Una variante de este método de construcción consiste en doblar la película exterior con una película interior sin estirar con un punto bajo, lo que permite un mejor aislamiento del invernadero y recoger el agua de condensación. La realización más económica de un estanque de invernadero utiliza la misma película (película de invernadero) para el fondo, los lados y la cubierta. Con una película de invernadero de ancho estándar (6,5 m), se pueden hacer fácilmente estanques de hasta 30 m². La cumbrera, orientada de este a oeste, puede ser una viga de madera de 6 x 8 cm, de 5 m de largo fijada a aproximadamente 1,5 m de altura. La película se grapa a la cumbrera por un lado, luego por el otro antes de fijarse con listones a la cumbrera. En ambos extremos, se coloca un reborde de tablonos o bloques de hormigón sobre el que se levanta y fija firmemente el borde del film y se disponen dos "puertas" de acceso que deben estar provistas de mosquiteros. El costo de los materiales es de \$5/m² si la base protectora está hecha de película plástica reciclada (usada), excluyendo sombreado, protección lateral y agitación. La experiencia nos ha demostrado que los jabalíes no atacan estas estructuras de film plástico, pero aún así se recomienda una protección lateral contra el riesgo de perforación: colóquela a una distancia mínima de 50 cm de los bordes si es de una materia prima que pueda dañar el film al moverse. en vientos fuertes. Para garantizar la estabilidad con vientos fuertes, llene la piscina al menos 20 cm. Se recomienda no dejar los laterales de la piscina expuestos a la luz ya que esto podría favorecer el desarrollo de algas extrañas en las paredes iluminadas. Este tipo de invernadero permite la recuperación automática del agua condensada en la película del invernadero (importante especialmente por la noche en climas desérticos). Por la noche puede ponerse una manta aislante suave.

Ejemplo de realización en 20m² (en Mialet, en 2000):



¡Cuidado con la nieve si la pendiente es baja y la viga es demasiado baja y/o demasiado larga entre dos soportes! Una variante de este sistema permite producir en invierno. Ponemos un aislamiento fijo en el fondo y en los laterales hasta el nivel del agua, y los taludes se aíslan con un aislante multicapa aluminizado flexible, al igual que las puertas. El aislante flexible que cubre la cara Sur se puede enrollar durante el día para dejar pasar la luz y sobre todo el sol que será reflejado por la cara Norte quedando colocada. Las bombas de agitación proporcionan calefacción adicional. Las lámparas fluorescentes a prueba de agua se pueden colgar debajo de la viga para proporcionar luz adicional de 5 a. m. a 9 a. m. y de 5 p. m. a 9 p. m.

El uso de película de invernadero plantea la cuestión de su calidad desde el punto de vista alimentario. No parece haber ningún problema. Algunas películas (las que son ligeramente amarillas) están estabilizadas contra los rayos UV por un compuesto a base de cadmio pero según nuestros análisis el cadmio no migra del plástico al medio de cultivo y no contamina la espirulina.

Una cuenca de invernadero hermética tiene la ventaja de poder recibir dióxido de carbono de la combustión de gas o fermentación (compost), pero la aireación sigue siendo necesaria aunque solo sea para mantener un nivel de oxígeno no tóxico para la espirulina.

Un invernadero ventilado y sombreado es ideal en todos los climas porque permite un control máximo de la temperatura, la luz, la lluvia y la evaporación, así como insectos y otros animales, polvo, hojas muertas; es la protección más eficaz para reducir al máximo el consumo de agua en un clima árido. En los invernaderos con aberturas provistas de mosquiteros, generalmente no se produce la implantación de larvas de mosca Ephydra en los cultivos. Y si ocurre una infestación, es fácil dejar que la temperatura suba a 42-43°C el tiempo suficiente para matar las larvas sin matar demasiada espirulina.



En Bionor, cerca de La Serena, Valle de Elqui (Chile), 1997: sólo los cabezales de las balsas son de cemento, el resto es de película semirrígida de etileno-propileno (extremo embebido en hormigón), los invernaderos tienen marco de madera

3.3) Número y superficie de piscinas

Es mejor construir dos o más estanques pequeños que uno grande: así se puede vaciar uno (para limpiarlo o repararlo por ejemplo) sin perder su contenido, y si uno de los cultivos se contamina, no goza de buena salud o muere, otro estanque permitirá continuar y volver a sembrar. También puede ser práctico sacar agua de un recipiente para filtrar en otro. Una cubeta de servicio también es útil para preparar los medios de cultivo y realizar trasvases, o para purgas de evaporación con vistas a reciclar las sales, o bien para depurar el medio de cultivo, pero no es absolutamente necesario.

Un m² de piscina cubre las necesidades de espirulina de una a 5 personas dependiendo de la dosis. El coste de inversión por m² disminuye cuando aumenta la superficie unitaria y la relación superficie/perímetro de las piscinas. Por otro lado, las piscinas estrechas (de menos de 3 m de ancho) son más fáciles de remover y tapar. Una superficie unitaria de 5 a 20 m² parece práctica a nivel familiar o para un dispensario (dependiendo de la dosis diaria de espirulina, y según la productividad de los estanques). Para la producción artesanal, la superficie total de las piscinas difícilmente superará los 300 m², en general, pero es posible un nivel "semiartesanal", posiblemente superando los 1000 m² ([Anexo 28](#)).

3.4) Agitación pélvica

La agitación es necesaria para homogeneizar, promover la eliminación de oxígeno y asegurar una buena distribución de la luz entre todas las espirulinas. Excepto en caso de sol muy fuerte, se puede conformar el rigor con agitaciones discontinuas, más o menos frecuentes (algunos minutos cada hora, al menos 4 veces al día), manuales con escoba o remo, o con bombas no dañar la espirulina (bombas de hélice, tornillo, paleta, diafragma o vórtice). Una bomba de acuario de accionamiento magnético de 1 a 3 m³/h, funcionando 15 minutos por hora o media hora (programador de reloj) o incluso de forma continua, es suficiente.

para agitar de 5 a 10 m² de piscina si está bien posicionada (orientación de su chorro en alzado y en azimut) y si los bordes de la piscina son regulares y sus ángulos redondeados. Un deflector mediano puede facilitar la circulación, pero generalmente debe complementarse con deflectores de esquina que redirigen los flujos desde los bordes hacia el centro, lo que complica la instalación: en una piscina pequeña de dimensiones bien elegidas, el deflector central es completamente inútil. La instalación de un deflector mediano en piscinas de lámina de plástico (que cubre el deflector) plantea el problema de las arrugas que hay que evitar en la medida de lo posible. Este problema se minimiza si el deflector es de baja altura (20 cm) y sus extremos son redondeados. Pero algunos prefieren deflectores fijados sobre losas de mármol o granito colocadas sobre la lona; en este caso, se debe tener cuidado de minimizar el by-pass debajo del deflector. Otra realización del deflector es soldar una tira de lona al fondo y sujetarla con cuerdas a las estructuras del invernadero. También hay deflectores hechos de bolsas llenas de arena y suspendidas por cuerdas. También puedes poner un tubo grande debajo de la lona. La eficiencia de las bombas se mejora al hacer pasar su chorro por un tubo "Venturi", pero esto complica la instalación en firme de Consac (Charente Marítimo) se agitan con este sistema venturi.

. Todas las cuencas del

De vez en cuando limpiar los filtros de las bombas y los huecos del cuerpo de las bombas (yo prefiero quitar la tapa que solo sirve para embellecer las bombas del acuario). Con vástagos "ondulados" (Paracas) se pueden utilizar bombas de bodega ordinarias sin riesgo de romper los filamentos; una bomba de este tipo puede agitar una piscina cuadrada o redonda de 50 m²; pero estas bombas no son accionadas magnéticamente y, por lo tanto, incluyen un sello, lo que puede causar problemas de sellado y corrosión después de un tiempo). Advertencia: las bombas de 220 voltios requieren precauciones para evitar la electrocución, especialmente en invernaderos húmedos (los fabricantes de bombas de acuario piden que se desconecte antes de tocar el agua); se recomienda que el sistema de suministro de energía esté conectado a un transformador de "pantalla de aislamiento" conectado a tierra (sistema utilizado para tomas de afeitadoras en baños); la seguridad se puede complementar con un disyuntor diferencial de 30 mV. Son preferibles las bombas de 12 o 24 voltios...

La agitación con rueda de paletas sigue siendo preferida para estanques de tamaño mediano a grande.

Mejor una agitación enérgica discontinua que continua pero débil. Incluso una agitación vigorosa será más efectiva si es intermitente porque en cada reinicio hay una mezcla, mientras que continuamente la masa de agua tiende a moverse en un bloque (a menos que se instalen deflectores a lo largo del recorrido). Es una buena práctica agitar el estanque al menos una vez al día, especialmente si es lo suficientemente profundo, y cepillar el fondo y los lados una vez al día.

Los estanques industriales grandes y muy largos siempre están equipados con un deflector mediano y agitados por una rueda de paletas. Su superficie unitaria máxima es de 5000 m². La técnica de construcción de ruedas de paletas merece un capítulo especial, pero no se tratará aquí, sino que se discutirá brevemente en el [Apéndice 24](#).

Los cultivos en capas de agua en un plano inclinado (ver § 3.1) son agitados por la turbulencia debida al flujo. Su construcción es delicada y el costo de bombeo es elevado.

Otro modo de agitación, la campana de aire comprimido se aplica bien a recipientes pequeños bastante profundos, preferiblemente redondos. Consiste en llevar un flujo de aire comprimido (de un compresor de acuario) bajo una pesada campana colocada en el fondo de la cubeta (un plato de Pyrex funciona bien): la campana se eleva por un lado, a intervalos regulares, produciendo un

gran burbuja de aire; al caer la campana provoca una cierta circulación del líquido. En una cubeta redonda de 7 m² equipada con un compresor de 300 l/h en funcionamiento continuo, la agitación resultó ser buena. Una ventaja importante de este modo de agitación es la ausencia de cables eléctricos. En la práctica, este modo de agitación se limita a estanques o estanques pequeños, pero puede ser de gran utilidad.

Es necesario recalcar que el medio de cultivo es muy corrosivo para los metales. Prácticamente solo resisten bastante bien el acero galvanizado y el acero inoxidable tipo 304.

3.5) Contenedores, palanganas, vainas

Sucede que los recipientes translúcidos como botellas, bombonas, palanganas, fundas de película plástica, recipientes de jugo de frutas (hay 1000 litros) se utilizan como palanganas pequeñas. Cabe señalar que la tasa de fotosíntesis parecerá ser más rápida en tales recipientes porque el medio de cultivo recibe luz de varios lados y también se calienta más rápidamente. Esto puede ser ventajoso, pero la temperatura y el pH deben controlarse más de cerca que en los estanques comunes. La agitación en dichos recipientes se realiza preferiblemente con aire comprimido (compresor de acuario).

NB Se trata de hecho de variantes de "fotobiorreactores" con una gran relación superficie/volumen que permiten alcanzar altas concentraciones de biomasa.

3.6) Reparación de películas plásticas

Es posible reparar pequeños agujeros en las películas: limpie y seque un área alrededor del agujero y luego pegue un producto suave y pegajoso (grado alimenticio) vendido para este propósito, parecido a un chicle. El PVC también se puede reparar con parches encolados o soldados, o con una tira adhesiva impermeable. Algunas cintas adhesivas también se aplican a películas de polietileno. Advertencia: use productos de calidad alimentaria.

4) MEDIO DE CULTIVO

[NB El software MEDFEED existe para facilitar los cálculos de medios y alimentos; ver final de este capítulo]

4.1) Preparación del medio de cultivo

La espirulina vive tanto en agua salada como alcalina. El agua utilizada para el medio de cultivo debe ser preferiblemente potable (pero que no tenga un fuerte olor a cloro) o al menos filtrada (en filtro de vela o filtro de arena) y, en ocasiones, esterilizada con UV, siendo la más importante la eliminación de algas extrañas. El agua de lluvia, de manantial o de pozo es generalmente de calidad adecuada. Si el agua es dura, se producirán lodos minerales (más o menos abundantes según el contenido en calcio, magnesio y hierro), que sedimentan rápidamente y no son especialmente molestos para el cultivo, siempre que la siembra inicial en espirulina sea bastante concentrada. . Si el agua es demasiado dura, es mejor tratarla para evitar los molestos lodos.

Los límites permitidos de alcalinidad (o basicidad, los dos términos son intercambiables) y salinidad son bastante amplios pero generalmente nos situamos en el mínimo, por razones de economía (salvo que la fuente de álcali sea muy barata), con una salinidad total de 13 g /litro y una alcalinidad de 0,1 gramo-molécula/litro (b = 0,1); pero estas concentraciones se pueden duplicar sin inconveniente. Incluso puede ser beneficioso trabajar con doble alcalinidad para suavizar las fluctuaciones de pH.

por la tarde, especialmente en la superficie o en los rincones de la piscina cuando la agitación es deficiente. Un caso en el que se prefiere $b = 0,2$ es el de una cuenca abierta iniciada en la estación seca: la dilución por la lluvia puede hacer que b vuelva a $0,1$ o incluso menos durante la estación lluviosa.

La alcalinidad suele ser aportada por bicarbonato sódico, pero este último puede ser sustituido en parte por sosa cáustica o carbonato sódico que tienen la ventaja de elevar el pH inicial del medio de cultivo (por ejemplo 5 g/l de bicarbonato sódico + 1,6 g/l de soda da un pH de 10); el carbonato de sodio o la soda cáustica pueden incluso ser la única fuente de alcalinidad siempre que estén bicarbonatados con dióxido de carbono o expuestos al aire antes de su uso [tenga cuidado de no confundir la soda cáustica y los "cristales de soda" comerciales que son carbonato de sodio decahidratado]. También se puede usar natrón o trona (ver [natrón](#)). La salinidad adicional la proporcionan los diversos fertilizantes y la sal (cloruro de sodio). La sal de cocina yodada y fluorada puede ser adecuada, pero a menudo contiene hasta un 2% de magnesio insoluble: es mejor utilizar una sal que no lo contenga, para evitar un exceso de lodos minerales. Del mismo modo, si la sal aporta demasiado magnesio soluble (sulfato por ejemplo), se formarán sales minerales insolubles, especialmente a un pH bastante elevado; un exceso de lodos minerales puede ser muy molesto para un cultivo sembrado con una baja concentración de espirulina: de hecho, ésta es fácilmente arrastrada por las escamas de lodo en el fondo de la cubeta sin que sea posible recuperarla.

Esta es también una razón que se opone a la adición de calcio al comienzo de una nueva cosecha. Además, se puede recomendar el uso de una sal poco refinada debido a su contenido de oligoelementos beneficiosos.

Además de sal y soda, el medio de cultivo contiene fertilizantes para asegurar el crecimiento de la espirulina, como en la agricultura habitual: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) son los tres elementos principales, pero azufre (S). También hay que añadir magnesio (Mg), calcio (Ca) y hierro (Fe) si no son aportados en cantidad suficiente por el agua, la sal y los fertilizantes. Un análisis de agua y sal es útil para calcular la dosis de Mg, Ca y Fe a añadir porque un exceso de estos elementos puede ser perjudicial (pérdida de fósforo soluble, formación de lodos). El agua, la sal y los fertilizantes suelen aportar suficientes oligoelementos (boro, zinc, cobalto, molibdeno, cobre, etc.), pero como estos son caros de analizar, preferimos, cuando sea posible, añadir sistemáticamente oligoelementos, al menos los principales excepto molibdeno que siempre es suficiente.

Las fuentes preferidas de nitrógeno de la espirulina son el amoníaco y la urea, pero estos productos son tóxicos más allá de una concentración límite (la urea se hidroliza poco a poco en amoníaco). Esta es la razón por la que a menudo se prefiere, al menos durante la preparación del medio de cultivo, utilizar nitrato, del que se puede añadir una dosis elevada sin peligro, constituyendo así una reserva de nitrógeno a largo plazo. Spirulina primero consumirá amoníaco o urea si está disponible. Un leve olor pasajero a amoníaco revela que nos estamos acercando al límite autorizado; un olor persistente y fuerte indica que seguramente se ha excedido y que debe esperarse un mal estado del cultivo (transitorio o irreversible según la dosis de amoníaco).

La espirulina alimentada con urea durante mucho tiempo pierde su capacidad de consumir nitrato. Si se utiliza una cepa de este tipo, será necesario, por tanto, iniciar el cultivo con urea pero sin exceder las dosis permitidas, es decir, será necesario ponerla en pequeñas dosis frecuentes (guiado por el aumento de la cantidad de espirulina en la piscina). : poner un máximo de 0,3 gramos de urea por gramo de espirulina presente).

Nota: Urea es el nombre común de carbamida; algunas personas confunden urea y orina, y pueden sentir cierta reticencia a comer espirulina hecha con "urea", quizás sea preferible que sustituyan el término "urea" por su sinónimo científico: "carbamida", igual de correcto pero menos evocador. Sin embargo, la urea es un producto muy limpio e inodoro, muy utilizado en la agricultura y muy generalmente disponible en el Tercer Mundo.

El nitrato no está realmente exento de riesgos porque puede transformarse espontáneamente en amoníaco bajo ciertas condiciones (en presencia de azúcar por ejemplo e indudablemente de exopolisacáridos secretados por la propia espirulina). Viceversa el amoníaco (de la urea por ejemplo) se oxida más o menos

rápidamente en nitrato por el fenómeno natural conocido como nitrificación.

El fósforo lo aporta indistintamente cualquier ortofosfato soluble, por ejemplo el fosfato monoamónico (NH₄H₂PO₄), el fosfato dipotásico (K₂HPO₄) o el fosfato trisódico (Na₃PO₄, 12 H₂O), o incluso el propio ácido fosfórico o el tripolifosfato sódico (que se hidrolizará lentamente a ortofosfato). De manera similar, el potasio puede ser proporcionado por nitrato de potasio, cloruro de potasio, sulfato o fosfato dipotásico. La fuente habitual de magnesio es el sulfato de magnesio llamado sal de Epsom (MgSO₄, 7 H₂O). El calcio que puede ser necesario lo aporta un poco de cal apagada o yeso (sulfato de calcio), o mejor una sal de calcio soluble (nitrato, cloruro); es necesario poner suficiente para saturar el medio con calcio a un pH cercano a 10, pero no más, es decir hasta que se forme una ligera turbidez blanca. En caso de sembrar un nuevo cultivo con poca espirulina, es mejor abstenerse de agregar calcio al principio para evitar perder la semilla arrastrada en el lodo mineral.

[Nota : La adición de pequeñas cantidades de productos ácidos (ácido fosfórico por ejemplo) en un medio que contiene bicarbonato de sodio y carbonato de sodio no reduce su alcalinidad pero baja su pH, es decir, transforma una parte del carbonato en bicarbonato de sodio sin pérdida de CO₂. Esto se aplica tanto a las adiciones cuando se prepara un medio de cultivo como cuando se agrega alimento a un cultivo. Pero si preparas una mezcla con un alto contenido de ácido, habrá una pérdida de alcalinidad y CO₂, lo cual es lamentable. Así que pon el ácido directamente en el recipiente.]

Nótese la posibilidad de aportar varios elementos a la vez por un mismo producto, por ejemplo N y K por nitrato de potasio, P y K por fosfato dipotásico, o S y Mg por sulfato de magnesio.

Vemos la importancia de tener una química básica para poder hacer malabares entre los diferentes productos según su disponibilidad y su precio. Básicamente, solo necesitas saber los pesos moleculares y hacer una regla de tres. También es posible prescindir del concepto de peso molecular y trabajar únicamente con el % de elementos que figura en el [Apéndice A16](#).

El hierro es proporcionado por una solución de sulfato de hierro acidulado, preferiblemente con ácido cítrico, o por hierro asociado con un [agente quelante](#) como el que comúnmente se vende para usos hortícolas.

No utilice fertilizantes agrícolas ordinarios destinados a ser poco solubles (y que contengan muchas impurezas), sino solo fertilizantes solubles (ver § 6.1, NB [gránulos e y f](#)) o los correspondientes productos [químicos puros](#). En caso de duda, analice la espirulina producida para comprobar que no contiene demasiado mercurio, plomo, cadmio o arsénico).

Los límites de concentración permisibles para los diferentes elementos en el medio de cultivo se dan en el [Apéndice 18](#). Aquí hay un [ejemplo](#) de análisis de un medio de cultivo típico para un estanque en producción:

Carbonato = 2800 mg/l
Bicarbonato = 720 mg/l
Nitrato = 614mg/l
Fosfato = 25mg/l
Sulfato = 350 mg/l
Cloruro = 3030 mg/l
Sodio = 4380 mg/l
Potasio = 642 mg/l
Magnesio = 10 mg/l
Calcio = 5mg/l

Amonio + amoníaco = 5 mg/l

Hierro = 1 mg/l

Salinidad total = 12797 mg/l

Densidad a 20°C = 1010 g/l

Alcalinidad = 0,105 N (molécula-gramo/l) pH

a 20°C = 10,4

El medio también debe contener todos los oligoelementos necesarios, generalmente proporcionados por el agua y por las impurezas de las sales, pero es prudente, cuando sea posible, agregar un suplemento, al menos en lo que respecta al [zinc](#) (ver [Anexo 26](#)). Un poco de arcilla puede ser una adición útil.

Aquí hay una fórmula para un nuevo medio de cultivo (pH cercano a 8, ver § 4.7: [pH](#)) adecuado para aguas con dureza cero o baja:

Bicarbonato de sodio = 8 g/l

Cloruro de sodio = 5 g/l

Nitrato de potasio = 2 g/l (opcional)

Sulfato dipotásico = 1 g/l (opcional; 0,1 mínimo)

Fosfato monoamónico = 0,2 g/l

Sulfato de magnesio MgSO₄, 7H₂O = 0,2 g/l

Cloruro de calcio = 0,1 g/l (o cal = 0,07 g/l)

Urea = 0,01 g/l (o 0,034 g/l para extensión de cultivo, por ejemplo cubeta "con geometría variable"); opcional si hay nitrato y si la cepa está acostumbrada a consumir nitrato Solución a 10 g de hierro/litro = 0,1 ml/l Solución de oligoelementos (según [Anexo 26.2](#)) = 0,05 ml/l

El hierro puede ser aportado en forma quelada por 0,008 g de Fetrilon 13 o Ferfol 13, o por 0,005 g de sulfato de hierro FeSO₄.7H₂O por litro de medio. Si el fósforo es aportado por ácido fosfórico o un fosfato sin amonio, la urea aumenta a 0,035 g/l (o 0,070 g/l en caso de ampliación de la piscina).

El nitrato de potasio en realidad no es necesario, pero facilita el trabajo al proporcionar una reserva de nitrógeno y potasio. Por el contrario, si se añade nitrato, se puede omitir la urea (si la cepa está acostumbrada a consumir urea, puede tardar de 3 a 4 días en acostumbrarse al nitrato). Si se omite el nitrato, el sulfato dipotásico proporciona potasio. Si el agua es suficientemente rica en sulfatos, se puede reducir el sulfato dipotásico a 0,1 g/l y si además se añade nitrato potásico se puede incluso omitir.

La dosis total de cloruro de sodio + nitrato de potasio + sulfato de potasio depende de la alcalinidad b; debe ser aproximadamente igual a: $12 - (40 \times b)$, en g/l, con un mínimo de 4 g/l. Sin embargo, esta regla no es absoluta ya que el medio de Zarrouk contiene sólo un gramo de NaCl por litro.

La alcalinidad de 0,1 puede ser aportada por 5 g/l de carbonato de sodio o por 4 g/l de sosa, que deben dejarse carbonatar antes de su uso (unos 15 días al aire en una capa de 15 cm); el bicarbonato de sodio también se puede mezclar con carbonato de sodio o sosa cáustica (ver [Anexo 12](#) y [A13 Anexo 13](#)). Tenga en cuenta que una mezcla 50/50 de carbonato y bicarbonato de sodio da un pH cercano a 10 que, a una dosis de 7 g/l correspondiente a una alcalinidad de 0,1, es muy adecuado para iniciar un nuevo cultivo. El sesquicarbonato de sodio Na₂CO₃.NaHCO₃.2H₂O, un producto natural llamado "trona" en EE. UU., se puede utilizar a 8 g/l y da un pH de 10,15 que también es adecuado (ver § 4.7: pH). El natrón africano es una trona impura cuyo uso tal cual no siempre es recomendable. Los mejores natrones son generalmente los menos coloreados. Antes de utilizar el natrón hay que probarlo: comprobar que una solución de 20 g/litro filtra bien (sobre papel filtro de café) y no

no demasiado colorido o nublado; medir alcalinidad y sulfatos. A menudo encontramos hasta un 30% de insolubles (arena) y solo un 30% de carbonato/bicarbonato. La arena se elimina fácilmente por sedimentación.

Cuando el pH de un medio que se prepara a partir de bicarbonato de sodio y agua dura debe elevarse agregando sosa, carbonato de sodio o natrón, es importante no agregar el fosfato hasta después de la sosa, el carbonato de sodio o el natrón, para evitar la formación de escamas. precipitado de muy difícil sedimentación o incluso con tendencia a flotar, según pruebas realizadas en octubre de 2005 en Montpellier (agua a 116 ppm en este lado).

El nitrato chileno de potasio ("salitre potásico", gránulos coloreados de rosa con óxido de hierro), un producto natural, puede reemplazar ventajosamente al nitrato de potasio al proporcionar una rica dosis de oligoelementos, así como azufre y magnesio, pero sin metales pesados tóxicos; al menos ese fue el caso en 1998 (ver [análisis](#) en el Apéndice [A16.1](#)). Chile también exporta nitrato de potasio purificado y nitrato de sodio.

Cuando el medio contiene simultáneamente iones de amonio (NH_4), magnesio (Mg) y fosfato (PO_4), las concentraciones de estos iones son a veces (dependiendo de las concentraciones y del pH) interdependientes porque la solubilidad de la estruvita, un fosfato mixto de amonio y magnesio, es extremadamente bajo. No obstante, el fosfato mixto insolubilizado sigue estando disponible para la espirulina, ya que se redissuelve tan pronto como las condiciones lo permiten, pero si hay un desequilibrio, las concentraciones de uno o dos de los tres iones involucrados pueden ser muy bajas, lo que ralentiza el crecimiento e incluso puede matar el cultivo (tanto por falta de magnesio como de fosfato). Los cristales de fosfato mixto normalmente se depositan con el lodo, pero a veces se pueden encontrar en la superficie bajo ciertas condiciones e incluso a veces en la espirulina cosechada. Esto no es serio. Estos cristales se vuelven a disolver inmediatamente por acidificación (¡como en el caso del estómago!). Cabe señalar que en ausencia de amonio también suelen ocurrir los mismos fenómenos, siendo también muy insoluble el fosfato de magnesio a $\text{pH} > 9$. Se recomienda mantener una concentración de iones Mg aproximadamente igual a la del ión PO_4 .

Cuando el agua utilizada es calcárea y sobre todo muy calcárea (100 y hasta 500 mg de Ca/l, o incluso más), el fosfato tiende a precipitar en forma de fosfatos cálcicos (muy insolubles), y esto tanto más que el pH y la temperatura del cultivo serán altos. Pero los fosfatos insolubles pueden permanecer en sobresaturación (en solución) sin precipitar durante mucho tiempo, especialmente en presencia de materia orgánica, e incluso si al mismo tiempo precipita carbonato de calcio. Por lo tanto, es muy difícil predecir cuándo el fosfato en solución será insuficiente para un buen crecimiento de la espirulina. Es por esto que se recomienda verificar el contenido de fosfatos del medio de cultivo con bastante frecuencia si el agua es muy calcárea. Los kits para medir el fosfato se pueden encontrar en las tiendas de acuarios. Durante el cultivo, especialmente en caso de crecimiento débil o problemas, es conveniente medir el contenido de fosfato del medio filtrado y, si es $< 5 \text{ mg/l}$, añadir fosfato; si no tiene una prueba de fosfato, puede intentar agregar fosfato para reactivar el crecimiento. En el caso de que el agua sea calcárea, conviene adaptar preferentemente la fórmula del medio de cultivo anterior ([fórmula](#)): reducción o eliminación de la adición de calcio (esta adición equivale a 36 mg de Ca/litro en la fórmula), y aumento la adición de fosfato ([por ejemplo](#), por cada mg de exceso de Ca añadir 0,5 mg de P, es decir, 1,6 mg de ácido fosfórico). Se puede decir que los fosfatos de Ca insolubilizados constituyen una reserva de Ca y P, ya que pueden redisolverse cuando sea necesario; sin embargo esta posibilidad está limitada por los lodos orgánicos y las imperfecciones de la agitación cerca del fondo o en los ángulos de la balsa. El programa de cálculo medio MEDFEED (ver más abajo) tiene en cuenta este suplemento de fosfato. Existe una alternativa: añadir 80 ppm de EDTA como en el medio de Zarrouk, pero uno puede ser reacio a añadir tal cantidad de este quelante, 10 veces la dosis que contiene el Ferfol, sobre todo porque no se garantiza su acción.

El agua también puede ser tratada para reducir su contenido de calcio antes de su uso, lo cual es un poco complicado pero puede ser rentable ([ver Anexo 31](#)).

Precauciones para el almacenamiento de medios de cultivo nuevos: ver § 4.8 [almacenamiento](#).

Precauciones para el almacenamiento de agua tratada: ver [almacenamiento](#).

Precauciones en el manejo del medio de cultivo: la piel está a pH 5,5 y algunos individuos no toleran mal el contacto con el medio de cultivo alcalino. El remedio es usar guantes que también protejan contra riesgos eléctricos.

4.2) Medio "Zarrouk" (Tesis de [Zarrouk](#) (París, 1966), página 4)

El medio estándar de Zarrouk, muy citado y que sirve de referencia, pero no muy económico, está elaborado a partir de agua destilada y contiene, en g/litro:

$\text{NaHCO}_3 = 16,8$; $\text{K}_2\text{HPO}_4 = 0,5$; $\text{NaNO}_3 = 2,5$; $\text{K}_2\text{SO}_4 = 1,0$; $\text{NaCl} = 1,0$; $\text{MgSO}_4, 7 \text{H}_2\text{O} = 0,2$; $\text{CaCl}_2 = 0,04$; $\text{FeSO}_4, 7 \text{H}_2\text{O} = 0,01$; $\text{EDTA} = 0,08$; "Solución A5" = 1,0; "Solución B6" = 1.0.

Composición de la "solución A5", en g/l: $\text{H}_3\text{BO}_3 = 2,86$; $\text{MnCl}_2, 4\text{H}_2\text{O} = 1,81$; $\text{ZnSO}_4, 7 \text{H}_2\text{O} = 0,222$; $\text{CuSO}_4, 5\text{H}_2\text{O} = 0,079$; $\text{MoO}_3 = 0,015$.

Composición de la "solución B6", en g/l: $\text{NH}_4\text{VO}_3 = 0,02296$; $\text{K}_2\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_4, 24 \text{H}_2\text{O} = 0,096$; $\text{NiSO}_4, 7\text{H}_2\text{O} = 0,04785$; $\text{Na}_2\text{WO}_4, 2\text{H}_2\text{O} = 0,01794$; $\text{Ti}_2(\text{SO}_4)_3 = 0,04$; $\text{Co}(\text{NO}_3)_2, 6 \text{H}_2\text{O} = 0,04398$.

Se puede observar que el producto de solubilidad del fosfato tricálcico está muy excedido en esta fórmula, pero el EDTA evita que precipite.

4.3) ¿Y si no tenemos ningún químico?

En este caso, o si quieres producir una espirulina "100% ecológica", utiliza productos naturales.

Por ejemplo, se puede utilizar bicarbonato de sodio americano natural, trona o [natrón](#) o lejía de [ceniza](#) de madera, y todo lo demás se puede sustituir por 4 ml de orina ([Bibliografía: Jourdan](#)) por litro, más sal y, si es necesario, hierro. Ver el capítulo "Alimentos" (orina) para las precauciones involucradas en el uso de la orina.

Si la orina está prohibida por una u otra razón, se utiliza el nitrato de Chile y el ácido fosfórico extraídos del [polvo](#) de huesos calcinados (el fosfato y el superfosfato naturales contienen demasiado cadmio); lamentablemente el nitrato chileno ha sido declarado "no orgánico" en Europa a pesar de su origen natural; entonces todavía hay una posibilidad: las hojas de plantas comestibles baratas (ejemplo ortiga) que se sumergen en detergente carbonatado y que aportan todos los elementos incluido el carbón, pero su inocuidad no está demostrada y tienden a manchar el medio. También puede usar "estiércol de hojas", pero su olor es bastante desagradable. O amoníaco destilado a partir de digestatos de biogás.

Tenga en cuenta que el agua de mar filtrada (una pizca de sal cruda) es una buena fuente de magnesio y también proporciona calcio, potasio y azufre.

Nótese también la posibilidad de poner en el medio de cultivo productos considerados insolubles pero que de hecho permiten la solubilización progresiva de los elementos consumidos por la espirulina; se puede mencionar el polvo de huesos calcinados (aporte de fósforo y calcio), calizas y dolomitas trituradas (aporte de calcio y magnesio), lodos residuales de agua de cenizas (aporte de magnesio, calcio, azufre y oligoelementos) y arcilla (aporte de oligoelementos). Estos productos se depositarán en el fondo de la cuenca donde corren el riesgo de ser cubiertos con bastante rapidez por lodos y, por lo tanto, perder su eficacia. La agitación con escoba puede ayudar; pero es necesario prever la renovación de estas adiciones cada vez que se limpia la piscina.

Preparación de agua de ceniza

La ceniza de madera utilizada debe estar limpia (blanca y libre de hollín) y rica en sales solubles. Las mejores maderas son (en Europa) las de chopo, olmo, tilo, abedul, pino, eucalipto; las ramas son más ricas que los troncos. Ciertas partes de las palmeras, particularmente ricas en potasa, se utilizan tradicionalmente en África para la extracción de potasa, en particular para la fabricación de jabón (también existen hornos de alta temperatura especialmente contruidos para obtener ceniza blanca para este fin). En Francia existen las llamadas estufas de leña "Turbo" que producen ceniza blanca (véase, por ejemplo, <http://rocles03.free.fr>). Para hacer lejía de ceniza, se utiliza el siguiente dispositivo, por ejemplo: una palangana con fondo perforado, una capa de guijarros en el fondo, un lienzo y 30 a 50 cm de ceniza en el lienzo; se vierte el agua sobre la ceniza (aproximadamente 5 litros de agua por kilo de ceniza, y esto varias veces seguidas) y se hace filtrar a través de la capa de ceniza; al principio el jugo sale concentrado y muy cáustico; protéjase porque ataca rápidamente la piel y nunca debe llegar a los ojos (en caso de daño, enjuague inmediatamente con abundante agua). Podemos reciclar los primeros jugos. Deseche la ceniza vieja cuando se agote y comience de nuevo con una nueva. Esperar quince días para que se produzca la carbonatación de la lejía al aire, en un recipiente de unos 15 cm de espesor de líquido. Durante este período, asegúrese de que el aire se renueve y agite, revolviendo ocasionalmente. Siendo el tiempo de carbonatación inversamente proporcional al espesor, si desea ir más rápido, simplemente extienda la solución en una capa más delgada; otra posibilidad para ahorrar tiempo es neutralizar con un poco de bicarbonato de sodio (ver [Anexo 13](#)) o dióxido de carbono concentrado.

Preparación de un medio de agua de ceniza

Medir la salinidad (ver [Anexo 3](#)) o mejor la alcalinidad (ver [Anexo 5](#)) del agua de ceniza carbonatada. Diluir y sal: La dilución normal es de 8 g/l de sales de cenizas (o alcalinidad = 0,1), más 5 g/l de sal de cocina, pero en caso de escasez se puede reducir considerablemente la dosis de sales de cenizas, manteniendo la salinidad total en 13 g/l añadiendo más sal. No olvides agregar [hierro](#). Para una mejor comprensión, aquí hay un ejemplo de un medio de cultivo para 4 m², listo para ser sembrado: Lixiviar 20 kg de cenizas con 3 veces cien litros de agua Carbonatar la lejía en el aire durante quince días en baja densidad Diluir a densidad (20°C) = 1.005 con 300 litros de agua Sal con 3 kg de sal
Agregar los elementos que faltan: 80 g de [jarabe de hierro](#) y 2 litros de orina.

Si la orina es imposible, reemplázela con las cantidades deseadas de nitrógeno, fósforo, magnesio y calcio, pero que no siempre serán "orgánicos" y pueden incluir fertilizante NPK y urea.

Preparación de sulfato de magnesio a partir de ceniza de madera.

Después de extraer las sales solubles de la ceniza (como se acaba de describir), la torta de filtración residual se puede usar para preparar una solución de sulfato de magnesio. He aquí una receta que ha dado buenos resultados (probada en Montpellier en febrero de 2006): - Diluir 1 kg de pasta residual húmeda (residuo de la fabricación de agua de cenizas) en 4,5 litros de agua.

- Agregar gradualmente ácido sulfúrico al 32% [Cuidado: manejar el ácido con cuidado, teniendo siempre agua a mano para lavar inmediatamente en caso de contacto con la piel]: mucho anhídrido carbónico, tener cuidado de no rebosar el recipiente. Detenga la adición de ácido cuando no haya más desprendimiento de gas (en nuestro ejemplo fue necesario agregar 1,16 kg de ácido). El pH es entonces cercano a 5, pero sube a 7,5 en unos pocos días cuando finaliza el desprendimiento de gas. Decantar y filtrar la solución obtenida, aproximadamente 6 litros, que contiene: 1,75 g de Mg/litro, es decir en MgSO₄·7 H₂O equivalente: 18 g/litro 0,38 g de Ca/litro, en forma de sulfato cálcico 0,015 g de fósforo / litro 2,6 g de azufre / litro

El residuo consiste principalmente en yeso sucio (marrónáceo) (sulfato de calcio hidratado).

El uso de esta solución como fuente de Mg aporta cantidades de Ca, P y S que generalmente pueden despreciarse.

Los 6 litros de solución obtenidos son suficientes para hacer 1000 litros de medio o, utilizado en la fórmula alimenticia, para producir 10 kg de espirulina (por lo tanto, se necesitan unos 40 g de ceniza + 40 g de ácido sulfúrico (contados como 100%) por kg de espirulina).

Preparación de ácido fosfórico a partir de huesos (Método de Jacques Falquet, diciembre de 2003) - con ácido sulfúrico **Material:** Huesos (de cualquier animal, incluso huesos viejos son adecuados)

Algo para hacer un buen
fuego Un mortero Una
báscula de cocina Una

palangana o un balde de plástico (el metal no es adecuado, a menos que sea esmaltado) con una capacidad de al menos 10 litros.

Ácido de batería pero nuevo (= 25% de ácido sulfúrico). Advertencia: NUNCA tome el ácido que está en una batería: use solo ácido nuevo, vendido en botellas.

Recipientes para almacenar el líquido resultante (vidrio o plástico, el metal no es adecuado)

Método:

Huesos fuertemente calcinados en un fuego de brasas

Después de enfriar, retire con cuidado los huesos (tome la menor cantidad de ceniza posible)

Reduzca estos huesos a polvo (si los huesos han sido bien calcinados, son de color blanco grisáceo y muy fáciles de moler)

En un recipiente de plástico (¡y fuera del alcance de los niños!):

Para 1 Kg de polvo de hueso calcinado, añadir 4 litros de ácido de batería, remover y dejar actuar por lo menos dos días (removiendo ocasionalmente).

Advertencia: manipular el ácido con cuidado, teniendo siempre agua a mano para lavar inmediatamente en caso de contacto con la piel.

Luego agregue 4 litros de agua, revuelva y deje reposar por unas horas.

Extraiga con cuidado la mayor cantidad posible de líquido transparente y guárdelo en un recipiente de plástico o en botellas de vidrio. [Nota del editor: preferimos filtrar el lodo blanco obtenido, luego lavarlo en el filtro con la misma cantidad de agua; presionando la torta de filtración, el rendimiento puede entonces acercarse al 100% y el volumen obtenido se duplica]

Atención ! Este líquido (llamémosle "extracto de huesos") es corrosivo: mantenga este producto fuera del alcance de los niños o personas ajenas al proyecto. ¡Etiquete y escriba una señal de advertencia en cada botella!

El " **extracto de hueso**" contiene aproximadamente 50 gramos de ácido fosfórico por litro Para preparar medio de cultivo fresco de espirulina, utilice (en lugar de fosfato) dos litros de extracto de hueso para 1000 litros de medio de cultivo.

Para alimentar la espirulina después de la cosecha, utilizaremos como fuente de fósforo:

1 litro de extracto de hueso por kg de espirulina seca cosechada.

Esto, por supuesto, además de otros productos (nitrato, etc.)

- con jugo de limón

Material: Huesos (de

cualquier animal, incluso los huesos viejos están bien) y con qué hacer un buen fuego.

Un mortero, una balanza de cocina.

Una olla

Jugo de limón

Método: Calcine

fuertemente los huesos en un fuego de brasas

Después de enfriar, retire con cuidado los huesos (tome la menor cantidad de ceniza posible)

Reduzca estos huesos a polvo (si los huesos han sido bien calcinados, son de color blanco grisáceo y muy fáciles de moler)

En una olla, mezcle 100 g de harina de huesos por litro de jugo de limón. Hervir

suavemente durante 15 minutos. Dejar reposar durante al menos un día, revolviendo

ocasionalmente.

Filtrar a través de un paño

fino El líquido recuperado contiene aproximadamente 20 g/l de fosfato soluble. Si es necesario, se puede concentrar por ebullición prolongada.

Usar :

Para preparar nuevo medio de cultivo de espirulina, utilice (en sustitución del fosfato) **cinco litros** de este jugo para **1000 litros** de medio de cultivo.

Para alimentar la espirulina después de la cosecha, utilizaremos como fuente de fósforo:

2,5 litros de jugo por kg de espirulina seca cosechada.

Esto, por supuesto, además de otros productos (nitrato, etc.)

(NB 1: tenga cuidado con los polvos de huesos calcinados que se venden en los mercados, en África por ejemplo, cuya calidad puede ser cuestionable; ¡es mejor hacerlo usted mismo!)

NB 2: Estos métodos de preparación del ácido fosfórico son aplicables a los fosfatos de calcio naturales resultantes de la descomposición del guano, como el producto denominado PHOSMAD en Madagascar.

4.4) Renovación del medio de cultivo/purga El medio

de cultivo debe permanecer ligeramente coloreado y ligeramente turbio, lo más bajo posible en materia orgánica, para asegurar el mejor desempeño. Normalmente las bacterias y el zooplancton se encargan de la mineralización y reciclaje de los desechos biológicos. Pero sucede que la producción de residuos excede su eliminación (sobre todo en cuencas poco profundas con alta productividad); también es posible que el medio esté empobrecido en oligoelementos o que la salinidad tienda a ser demasiado alta (en el caso de alimentación carbonosa en forma de bicarbonato de sodio o nitrógeno en forma de nitratos por ejemplo), o incluso si el agua de reposición está muy mineralizada: el medio de cultivo debe ser reemplazado o purgado. Esta purga se realiza preferentemente por el fondo (por bombeo o sifón) eliminando al mismo tiempo los lodos, o bien durante la recolección al no reciclar el filtrado. Si las lluvias elevan el nivel de la balsa hasta el punto de que corre el riesgo de desbordarse, también se debe realizar una purga para bajar el nivel. Devolver a la piscina la cantidad de sales contenidas en la purga (excepto, por supuesto, aquellas cuya concentración se quiera rebajar). Si purgamos porque el nivel estaba demasiado alto por la lluvia, obviamente solo añadimos las sales, sin agua. Idealmente, uno nunca debe purgar.

Si una piscina resulta ser demasiado rica en un elemento (exceso de urea, por ejemplo) y si su nivel es lo suficientemente bajo, se le puede agregar un nuevo medio desprovisto del elemento en exceso, para diluirlo.

Caminar sin renovación o purificación del medio de cultivo durante varios años es posible si los oligoelementos se agregan regularmente y si la productividad no es excesiva en relación con la profundidad de cultivo (la profundidad expresada en cm debe ser al menos el cuádruple de la productividad media expresado en g/día/m²) y preferiblemente si se mantiene la agitación por la noche para mejorar la oxigenación. En la práctica, sin embargo, una cierta tasa de renovación del medio ayuda a mantener despreciable la concentración de posibles contaminantes (químicos o biológicos) y a garantizar el suministro de oligoelementos (por las trazas contenidas en el agua de aporte o en las sales). . Es aconsejable contar con al menos una renovación cada 2 kg de espirulina producidos por m² de estanque, es decir, cada 6 a 18 meses según la productividad, todo de una vez o, mejor, gradualmente. Para no tener ningún problema, si te lo puedes permitir, es mejor renovar el medio cada 3 meses (o

purga del 1%/día), pero tenga en cuenta que esto no es una necesidad y no es bueno para el medio ambiente.

NB a) El funcionamiento sin o casi sin renovación requiere un control más estricto de los posibles contaminantes.

b) El no reciclado del jugo de prensado equivale a una tasa de purga del orden de 0,02%/día. Si la mitad del nitrógeno es aportado por el nitrato, éste provoca la alcalinidad perdida por esta purga.

4.5) Purificación y reciclaje del medio de cultivo

Generalmente se recomienda, por razones ecológicas, no desechar el medio purgado en el medio ambiente sino utilizarlo en la alimentación animal o como fertilizante para plantas halófilas (palmeras por ejemplo), o bien dejarlo evaporar hasta sequedad en una cubeta separada a modo de "marisma", preferiblemente al resguardo de la lluvia en un invernadero. Las sales recuperadas, similares al natrón natural, ciertamente pueden ser purificadas por calcinación a alta temperatura (preste atención al correcto ajuste de la temperatura y al suministro de aire, para evitar el ennegrecimiento por carbonización) o por recristalización, luego reciclado, pero esto permanece para ser juzgado. Con evaporación seca, una renovación cada 3 meses requeriría una superficie de evaporación de un tercio de la superficie de las balsas.

También es posible reciclar el medio de cultivo después de una purificación parcial (proceso utilizado por F. Haldemann en Equateur: véase su [publicación en el Coloquio Embiez](#), mayo de 2004, página 86): en este caso, se prescinde de la relación del § 4.4 anterior (profundidad = 4 x productividad); esta depuración consiste en una combinación de filtración, decantación y tratamiento biológico anaeróbico y luego aeróbico por flora natural, protegida de la luz, en estanques profundos de 1 a 2 m. con un tiempo de residencia total de 2 a 4 semanas. Otra forma de proceder, menos buena: enviar las purgas en una cubeta "natural" con poca o ninguna agitación, de superficie igual a un tercio de la de las cubetas activas y 2 m de profundidad, recuperar para alimentación animal la (muy bonita) espirulina que se desarrollan allí en la superficie y reciclan el medio después de una posible esterilización (en caso de contaminación por microorganismos extraños) por rayos UV o por calentamiento. Un simple almacenamiento del medio de cultivo durante 6 meses a 20°C, sin agitación y protegido de la luz, lo purifica bastante bien: en una zona templada, por ejemplo, el medio de cultivo se purifica notablemente durante el invierno cuando la producción es nula, a pesar de la baja temperatura.

En 2013/14 se está desarrollando otro proceso de depuración, ya utilizado en Peter Schilling en Canarias: por desnatado (skimming), que extrae un concentrado muy coloreado que contiene proteínas y EPS y proporciona un medio reciclado muy limpio. Está previsto esterilizarlo antes del reciclaje, con el fin de eliminar las cianobacterias extrañas y la espirulina más pequeña para evitar contaminaciones y derivas de cepas. El uso de este proceso es muy recomendable.

Más que construir una instalación de depuración, parece más sencillo, a nivel artesanal, aumentar la superficie y/o la profundidad de las balsas para realizar una depuración biológica "in situ", asegurando el mantenimiento del pH por parte del CO₂ atmosférico, a costa de una menor productividad, pero con una tasa de purga muy baja o incluso nula del medio ambiente. Se recomienda la esterilización anual.

Otra posible solución: uso de las purgas como fertilizante por esparcimiento agrícola o en pilas de compost. La alta concentración de sodio del medio de cultivo es un problema para muchas plantas, pero no para todas (por ejemplo, no para la palma de coco). También es posible sustituir en la fórmula del medio de cultivo el máximo número de iones de sodio por iones de potasio. El agua de [ceniza](#) (lo suficientemente alta en potasa para no requerir más de dos o tres gramos de sal por litro) es adecuada. De lo contrario, se puede utilizar un medio que contenga 10 g de bicarbonato de potasio + 2 g de nitrato de potasio + 1 g de sulfato de dipotasio + 3 g de sal por litro (el resto como en el § 4.1). Para obtener un medio con un pH cercano a 10, los 10 g de bicarbonato de potasio se pueden sustituir por 6 g de bicarbonato de potasio + 2 g de potasa cáustica (¡cuidado: las mismas precauciones de seguridad que con la sosa!) o por 3 g de bicarbonato de potasio + 4 g de carbonato de potasio. Un medio rico en potasio es al menos dos veces más caro que un medio rico en sodio, pero tiene el beneficio adicional de producir espirulina, que puede ser útil para algunas dietas "libres de sodio"; esta ventaja podría más que compensar el costo adicional del medio.

4.6) Uso de agua de mar

Es posible utilizar agua de mar para establecer y mantener un cultivo de espirulina, sin tratamiento previo del agua de mar más allá de la filtración, pero a condición de trabajar a un pH regulado con una

gran precisión cercana a la del agua de mar, técnicamente difícil para los productores artesanales. El agua de mar contiene una cantidad excesiva de calcio y magnesio que, a pH elevado, provocan una precipitación abundante de carbonatos y fosfatos. Por otro lado, la alta salinidad de esta agua (35 g/l) prohíbe su uso como agua de reposición para compensar la evaporación, a menos que ésta se mantenga muy baja mediante un uso juicioso de estanques de invernadero.

Ripley Fox desarrolló el concepto de una granja (gigante) de espirulina utilizando agua de mar tratada con carbonato de sodio, producido en el sitio a partir de soda electrolítica. Los subproductos de cloro e hidrógeno de la electrólisis se transforman en ácido clorhídrico que se utiliza para generar CO₂ puro a partir de carbonato de sodio. El problema de compensar la evaporación se resuelve rechazando el medio de cultivo (previamente neutralizado) al mar cuando su salinidad es demasiado alta. Este concepto podrá aplicarse algún día, pero requiere grandes medios, fuera del alcance de un pequeño productor. Además, requiere una verdadera fábrica de productos químicos que a algunas personas no les gustaría.

Por otra parte, el agua de mar puede utilizarse con provecho, en pequeñas cantidades, para aportar magnesio y azufre. Y el agua de mar desalada ya se usa mucho para producir espirulina (Islas Canarias, por ejemplo).

4.7) pH óptimo

El pH óptimo de un nuevo medio de cultivo a realizar depende de su uso.

Si se debe inocular para iniciar un nuevo cultivo, su pH debe ser de al menos 9, lo más cercano posible al de la cepa utilizada: si es demasiado bajo, el cultivo corre el riesgo de comenzar mal, con formación de grumos o precipitaciones de espirulina en el fondo. El natrón o la mezcla de carbonato + bicarbonato de sodio, o el agua carbonatada de cenizas, por lo tanto, son muy adecuados para este caso.

Por otra parte, si el nuevo medio va a servir como complemento de un cultivo existente, su pH puede ser ventajosamente cercano a 8, lo que contribuye a mantener el pH del cultivo suficientemente bajo mediante la adición de bicarbonato sódico. Este suele ser el caso de las cuencas que se amplían ("con [geometría variable](#)"). En este caso, el medio debe estar basado solo en bicarbonato de sodio, si este último está disponible. Si el medio es de pH bajo, será más fácil usar NPK no desamoniado sin correr el riesgo de matar a la espirulina, porque lo que es peligroso es el NH₃ (a pH bajo es el NH₄ el que domina).

4.8) Almacenamiento de nuevo medio de cultivo y agua tratada

No se recomienda almacenar el medio de cultivo nuevo, incluso lejos de la luz, ya que constituye por naturaleza un "caldo de cultivo" donde podrían desarrollarse microorganismos indeseables. Esta observación se aplica especialmente a los medios de bajo pH.

También se recomienda encarecidamente no almacenar agua dulce, por ejemplo agua tratada para eliminar el exceso de dureza, en presencia de luz porque en pocos días se desarrollarían allí algas y cianobacterias extrañas. Sin embargo, entre estos últimos los hay altamente tóxicos (caso de ciertos lagos de agua dulce).

4.9) Software de cálculo "MIDIEU"

Para facilitar el cálculo de los medios y el alimento mineral teniendo en cuenta las materias primas y el análisis del agua disponible, se han escrito programas de cálculo ([Cálculos](#)).

5) SIEMBRA

5.1) ¿Qué cepa de espirulina usar?

Hay espirulina de diferentes "razas" (cepas), aunque todas tienen características comunes que las distinguen de otras cianobacterias. Reconocemos muy rápidamente bajo el microscopio o incluso con una lupa de gran aumento (25 veces) si las espirulinas son espirales o rectas, pero es menos fácil decir de qué cepa se trata porque la espirulina tiene una fuerte tendencia a cambiar de tamaño y forma (espirales más o menos estrechas u "onduladas" o rectas). Ante la presencia de formas rectas surge una duda: ¿son espirulina u Oscillatoria similares a la espirulina recta y algunas de las cuales son tóxicas? Un ojo entrenado no puede confundir una línea con una de las oscilatorias tóxicas comunes ([cianobacterias extrañas](#)). Un porcentaje demasiado alto de líneas rectas conduce a dificultades en la cosecha. Así que de preferencia tomar una semilla 100% espiral, de gran tamaño, de un hermoso verde con tendencia a azul verdoso, que se filtre fácilmente. Las cepas puras se podían conseguir en el Institut Pasteur donde el "Lonar" se llama PCC 8005, pero Pasteur ya no ofrece este servicio. Casi todas nuestras cepas son en realidad "Arthrospira platensis" por su nombre científico. Llamamos "espiral tipo Lonar" a las cepas cuyos filamentos están "en espiral", como "Lonar". Llamamos "espirales onduladas" (u "onduladas" para abreviar) a las cepas cuyos filamentos están en una espiral estirada, como "Paracas". Para facilitar la elección de la cepa, aquí hay algunos elementos útiles:

- Las espirales tipo Lonar generalmente flotan más que las onduladas y rectas, lo que eventualmente permite su separación.
- Las espirales filtran mejor y su biomasa menos hace la pelota fácilmente en el filtro, cuando el medio de cultivo es lo suficientemente puro.
- Las espirales tienen una mayor tendencia a formar grumos y pieles verdes flotantes, especialmente a pH bajo y en ausencia de amonio (ver [§ 7.9](#)), lo cual es una desventaja.
- El contenido de materia seca en la biomasa deshidratada lista para secar es mayor en corrugados y rectos que en espirales tipo Lonar, lo cual es una ventaja.
- La biomasa de las espirales tipo Lonar se seca más fácilmente.
- Las ondulaciones tienen poca tendencia a volverse rectas, al menos en condiciones normales de funcionamiento.
- Los corrugados resisten el bombeo por bomba centrífuga, mientras que los espirales se rompen.
- Los corrugados son más resistentes al choque osmótico (a veces podemos lavar la biomasa con agua dulce sin que revienten las células, mientras que con los corrugados es raro).

No hay diferencias notables en composición o valor nutricional entre estas cepas, en cambio el color verde de las onduladas es más oscuro; algunos prefieren el color y el sabor de cualquiera de las cepas, pero eso es una cuestión de gusto personal.

Las onduladas y las rectas tienen caracteres comunes, pero las onduladas no sufren la sospecha de no ser espirulina "real".

Con todo, nuestra preferencia práctica es por "ondulado", aunque "espiral" se ve mejor bajo el microscopio.

5.2) Siembra a partir de una gran cantidad de semilla

Pour ensemencher il suffit de transvaser dans du milieu de culture neuf un certain volume de culture provenant d'un autre bassin en production jusqu'à ce que la couleur devienne verte (le « disque de [Secchi](#) » ne doit plus se voir à 5 cm de la superficie). Préférentiellement sembler par la tarde. Se puede reducir el volumen a transferir tomando sobrenadante concentrado o recolectando espirulina sin escurrirla (dispersarla bien en un poco de medio de cultivo

antes de verterlo en la cubeta, para evitar que queden grumos, lo que no es fácil con las colas en espiral: utilice por ejemplo una hélice mezcladora de pintura conectada a un taladro).

Para iniciar con éxito un cultivo, siempre es beneficioso empezar lo más concentrado posible en espirulina. Es por eso que comenzamos con el nivel mínimo de líquido (por ejemplo, 5 a 10 cm) si la disponibilidad de semen es limitada y/o utilizamos la técnica de la "cuenca de geometría variable". Un cultivo sembrado concentrado (Secchi < 3 por ejemplo) tiene muchas menos probabilidades de ser invadido por chlorella o de sufrir el arrastre de espirulina en el lodo calcáreo (cuando se trabaja con agua dura).

Si el cultivo inicial es demasiado diluido ("Secchi" mayor de 5 cm), debe sombreadarse, de lo contrario corre el riesgo de que la espirulina muera por fotooxidación al sol. También hay que tener cuidado para evitar los depósitos minerales que llevan consigo la espirulina (para ello, si es necesario, filtrar el nuevo medio antes de inocularlo y mantener la agitación durante la noche si es posible). Si el nivel inicial es el nivel normal, y si el nuevo medio es a base de bicarbonato de sodio, tampoco inocular demasiado concentrado, de lo contrario será necesario cosechar antes de que el pH haya alcanzado el nivel mínimo de 9,6 recomendado (ver 7.13); pero es fácil comenzar con un medio de cultivo con un pH de 9,6 o superior mezclando bicarbonato de sodio con carbonato de sodio o soda (ver Apéndice 12 y Apéndice 13). Otra ventaja de un pH inicial alto es la reducción de la tendencia inicial a formar grumos con las cepas en espiral, una ventaja que puede ser decisiva cuando tienes poca semilla: ¡no debes perder ningún grumo! Por otro lado, es cierto que hay interés en no someter la semilla de espirulina a un choque de pH: hemos visto morir a veces un cultivo principiante tras un choque de pH de 2 unidades (de 10 a 8): nuestra recomendación es limitar el delta Ph a 1 unidad.

Se permite almacenar unos días y transportar un semen muy concentrado (3 a 4 g/l por ejemplo, no más), siempre que se remueva y airee al menos de vez en cuando, de lo contrario fermentará y olerá mal. . A 2 g/l, el transporte puede durar diez días. Tenga en cuenta que una capa flotante tomada con cuidado puede contener de 5 a 10 g/l. En un semen altamente concentrado, el pH cae y con el tiempo se desarrolla un olor mercapturado (olor de "chucrut").

Después de la inoculación con una espirulina que ha "sufrido" en el almacenamiento, la nueva cubeta puede formar demasiada espuma, pero esto normalmente desaparece en uno o dos días.

La semilla se conserva mejor a baja temperatura, alrededor de 10°C por ejemplo (respiración reducida). La biomasa fresca, incluso prensada, se puede utilizar para sembrar un estanque. Esto es importante para facilitar el transporte en forma concentrada y para inocular inmediatamente un gran volumen. Transporte frío tanto como sea posible y limite la duración. Diluir gradualmente el semen concentrado, homogeneizándolo: no deben quedar grumos (pasar la mezcla por un colador para eliminar los grumos).

5.3) A partir de una pequeña cantidad de semilla

Para implantar un cultivo de espirulina en un sitio que carece de ella, o para empezar de nuevo con una nueva cepa, generalmente no es posible disponer de una gran cantidad de cultivo para inocular. Frecuentemente solo tenemos una botella medio llena (para mantener suficiente oxígeno). Si conseguimos obtener una cepa pura, probablemente solo tengamos unos pocos mililitros de cultivo al principio (NB el medio de cultivo indicado por el Institut Pasteur en su documentación que acompaña a sus cepas

correspondía al mantenimiento de cepas y se diferencia del medio de cultivo para el crecimiento). También puede partir de un solo filamento que usted mismo aísla (ver [§ 5.6](#)). Supongamos que el punto de partida son 150 g de cultivo a 1 g/l de concentración de espirulina y que el objetivo es multiplicar el volumen de semilla inicial para sembrar un estanque de 1000 litros. Será necesario hacer al menos 4 cultivos sucesivos, multiplicando cada vez el volumen por 5, lo que requiere unas tres semanas en total (con una tasa de crecimiento del 35%/día, posible con medio de cultivo a base de bicarbonato de sodio). El primer minicultivo se hará en una jarra de dos litros, el segundo en un recipiente de 10 litros, el tercero en un recipiente de 50 litros, el último en un mini recipiente temporal de película plástica de 1 m² (o varios recipientes grandes).

Si la concentración inicial de cada cultivo es inferior a Secchi = 5 cm, es necesario no solo sombrear sino agitar día y noche (de lo contrario, la espirulina puede aglomerarse, en particular en los bordes, y no poder dispersarse después). Es posible evitar esta aglomeración elevando el pH, pero esto corre el riesgo de aumentar el lodo mineral que puede atrapar la espirulina. Por medio de lo cual todavía conseguimos iniciar un cultivo a partir de concentraciones muy bajas (Secchi = 15).

La agitación continua de cultivos en pequeños recipientes (botellas, cubos, palanganas, por ejemplo) se realiza mediante un pequeño burbujeo de aire como en un acuario y requiere una relación altura/diámetro del líquido elevada, igual o superior a 1, con si posible un fondo cónico, el tubo de suministro de aire emerge cerca del fondo (hay compresores de acuario que funcionan con baterías eléctricas). Es práctico calentar e iluminar simultáneamente los pequeños cultivos iniciales en el laboratorio mediante lámparas incandescentes o halógenas colocadas a la distancia adecuada para mantener automáticamente alrededor de 35°C en el cultivo (no encender más de 16 h/día).

La agitación de grandes volúmenes (> 100 litros) de cultivos diluidos se puede hacer por medio de una pequeña bomba de acuario, pero se recomienda bombear solo intermitentemente para no dañar la espirulina, especialmente el Lonar, por lo tanto, utilizar un reloj programador. Los tocones ondulados son mucho menos susceptibles al daño de la bomba.

Para evitar la formación de grumos (especialmente con las cepas espirales tipo Lonar y si no hay agitación continua) al inicio de la siembra, la semilla concentrada debe diluirse muy gradualmente, agregando pequeñas dosis de nuevo medio de cultivo a base de urea, por ejemplo con cada batido, manteniendo una alta concentración de espirulina durante los dos primeros días. Entonces es ventajoso mantener una concentración alta de espirulina (0,3 g/l o más) y, por lo tanto, diluir el cultivo lo menos posible con cada aumento de volumen: la dilución gradual (por ejemplo, diariamente) es la mejor. Esto se puede hacer mediante una "piscina de geometría variable", expandible en la superficie, fácil de hacer con película plástica.

Cada aumento de volumen (por lo tanto de superficie) se realiza por dilución con nuevo medio de cultivo (preferentemente a base de bicarbonato sódico). El nuevo medio de dilución, si es a base de urea como fuente de nitrógeno, debe contener **una dosis alta de urea (0,04 g/l)** o, si es a base de orina: 6 ml de orina/l. Si el nuevo medio es a base de bicarbonato de sodio, por tanto pH = 8, el pH del cultivo se mantiene en torno a 9,6 durante su fase de extensión.

Este pH puede no ser suficiente para evitar grumos en espiral: en este caso, aumente el pH agregando medio a base de carbonato a pH = 10,3. El crecimiento se acelera durante la fase de "cuenca de geometría variable" manteniendo la profundidad baja (5-10 cm).

NB: 1)

Un cultivo puede morir después de una dilución, una iluminación o un calentamiento demasiado fuerte o un exceso de urea.

2) La elevación del nivel de una piscina debe realizarse mediante la adición de medio de cultivo. Agregar sales sin disolver directamente al estanque puede ser muy peligroso para el cultivo.

3) Si se prepara previamente una reserva de medio de cultivo de dilución, manténgala cerrada por un tiempo corto y en la oscuridad para que no corra el riesgo de ser contaminada por algas extrañas.

4) Advertencia: un choque de pH de 2 unidades suele ser fatal: al sembrar, tenga cuidado de minimizar las diferencias de pH entre la semilla y el estanque.

5.4) Tasa de crecimiento inicial

La tasa de crecimiento depende de varios factores, incluido el pH. Es máximo a pH por debajo de 10, por lo que es ventajoso utilizar bicarbonato de sodio para iniciar rápidamente un nuevo cultivo. También nos interesa maximizar la superficie de cultivo (por lo tanto, una cuenca poco profunda si es posible). El método de extensión progresiva de la superficie del estanque ("con geometría variable") descrito en el § anterior promueve un crecimiento rápido. La velocidad de establecimiento de un nuevo cultivo se caracteriza mejor calculando la tasa de crecimiento en la fase inicial de crecimiento que precede a la fase de cosecha. Esta tasa se expresa en % de crecimiento en peso por día (peso expresado en materia seca). En condiciones favorables, en medio a base de bicarbonato de sodio, puede superar el 30%/día. A partir de un gramo de semilla (expresado en espirulina seca), a razón del 20%/día se pueden obtener 20 m² de estanque de 15 cm de profundidad listos para cosechar en 40 días, o 120 m² en 50 días.

NB Uno estaría tentado de iluminar los cultivos las 24 horas del día para aumentar la tasa de crecimiento, pero es mejor no someter la espirulina a más de 16 horas de iluminación por día, incluso si tiene iluminación artificial. .

5.5) Reserva de semillas

Normalmente las propias piscinas sirven como reserva si se mantienen en buen estado de salud y sin contaminantes, pero hay que planificar los accidentes y cómo sobrellevar la posible mala temporada. También es de nuestro interés, cuando sea posible, vaciar completamente los tanques y reiniciarlos desde cero para asegurar el mantenimiento de una buena calidad de espirulina (sin contaminantes, sin líneas, filtrando bien). Para ello necesitas semen puro. Por lo tanto, se recomienda mantener alguna cepa pura "en el laboratorio" (= en la casa), a temperatura moderada o ambiente, con poca luz durante unas 12 horas al día (en ausencia total de luz, la espirulina muere en pocos días). , por ejemplo en 2 días a 35°C), ligeramente agitada, y renovada ("replantada") cada 2 ó 3 meses: en estas condiciones se conserva bien mientras que en cultivo demasiado intensivo tiende a mutar y puede degenerar.

Una botella de plástico es muy adecuada como recipiente. Para la agitación y la aireación, lo más práctico es un pequeño compresor de aire eléctrico para acuarios, que solo puede funcionar ocasionalmente con un temporizador (existen compresores y temporizadores que funcionan con corriente continua). Tanto para encender como para calentar el cultivo, es suficiente una lámpara de noche de 40 Watt, dirigida horizontalmente hacia la botella, a la distancia que proporcione la temperatura correcta (< 30°C). Para conservar mayores cantidades de semen se utilizan balsas o acuarios, con lámparas más potentes, incandescentes o halógenas; Los tubos luminiscentes se calientan poco y

adecuado si la temperatura ambiente es lo suficientemente alta. Foto de una reserva de semilla:



5.6) Selección y cultivo monoclonal

La siembra de cualquier semilla da como resultado un cultivo que tiene los mismos contaminantes potenciales que la semilla. Para estar seguro de tener un cultivo puro ("monoclonal"), teóricamente es necesario partir de un solo filamento seleccionado y lavado con medio estéril.

Es posible separar un filamento individual de una mezcla de cepas. Se pueden utilizar varias técnicas, basadas en una dilución del cultivo original, para realizar esta separación, que sigue siendo una operación difícil para un no especialista.

Es más fácil y rápido tomar de un cultivo muy poco contaminado (por ejemplo, de espirulina pura) una gota sin contaminantes: la selección se hace mediante examen al microscopio a bajo aumento, rechazando las gotas contaminadas aunque sólo sea por una sola gota extraña. filamento y poniendo las gotas puras en medio de cultivo filtrado (enjuagando el portaobjetos del microscopio con una botella de lavado llena de medio de cultivo filtrado). Recolectamos tantas "gotas" puras como podamos en el tiempo disponible: cuantas más haya, más rápido obtendremos una semilla utilizable. Es prudente realizar esta operación de selección periódicamente para mantener un stock de seguridad puro sin esperar un porcentaje de contaminantes (líneas rectas por ejemplo) demasiado elevado que dificulte la operación de selección.

5.7) Deriva de una cultura a otra cepa

Es común ver una variación en la forma y/o tamaño de los filamentos de espirulina durante el cultivo. Por supuesto, hacia la forma recta, pero también hacia otras formas en espiral, en particular hacia formas más pequeñas o constreñidas que pasan preferentemente al filtrado. Sería ilusorio intentar contrarrestar esta deriva utilizando telas filtrantes de malla más fina (lo que generalmente solo ralentiza la evolución). La única contramedida radical, además de la purga, es el no reciclaje directo de los filtrados: el reciclaje debe realizarse a través del sistema de depuración ([Purificación](#)).

6) ALIMENTO MINERAL ESPIRULINA

[NB Existe [software](#) para facilitar los cálculos de medios y alimentos]

Aunque el principal alimento de la espirulina es el carbono, en este capítulo solo se tratarán los alimentos sin carbono, solo los alimentos minerales. Para alimentos de carbono ver [§ 7.8](#). El medio de [cultivo](#) inicial permite que la espirulina crezca hasta una concentración de espirulina cercana a 1 g/l (sin nitrato) a 2 g/l (con nitrato), pero es mejor devolver los nutrientes absorbidos por la espirulina sin esperar el agotamiento de la medio o mejor aún sigue el contenido de elementos en el medio, especialmente si el cultivo está contaminado por phormidium que consume insumos por su parte.

Agregar urea (y si corresponde CO₂ y/o azúcar como aporte de carbono) diariamente dependiendo de la cosecha deseada o esperada durante el día, los demás nutrientes solo se pueden agregar una vez por semana, o incluso una vez cada quince días. Asegúrese de agregar la urea (y si es necesario el azúcar) temprano en el día, justo después de la cosecha y respetando la regla dada en NB c a continuación ([ureteo](#)). El uso de nitrato no requiere las [mismas](#) precauciones que la urea, pero esta última es menos costosa y más eficaz, reduce la formación de grumos (importante sobre todo en espirales de tipo Lonar) y refuerza el vigor a veces debilitado de la espirulina (sin amonio, especialmente los ondulados, no se pueden escurrir fácilmente presionando); además, la urea no aporta salinidad pero aporta CO₂ "libre". Evidentemente se puede utilizar amoníaco en lugar de urea, pero con aún más precauciones: allí, el goteo es prácticamente necesario. Por otro lado, el amoníaco tiene una ventaja sobre la urea, que solo se hidroliza gradualmente (una dosis demasiado alta de urea puede constituir una "bomba de relojería" al producir amoníaco). El bicarbonato de amonio es una posibilidad interesante para aportar tanto nitrógeno como CO₂ "libre" (el doble de urea), e incluso el acetato de amonio que aporta aún más (el cuádruple de urea).

Todos los ingredientes deben estar disueltos antes de ser introducidos en el cultivo y durante la introducción el cultivo debe estar bajo agitación.

[Nota : La adición de pequeñas cantidades de productos ácidos (ácido fosfórico por ejemplo) en un medio que contiene bicarbonato de sodio y carbonato de sodio no reduce su alcalinidad pero baja su pH, es decir, transforma una parte del carbonato en bicarbonato sin pérdida de CO₂. Esto se aplica tanto a las adiciones cuando se prepara un medio de cultivo como cuando se agrega alimento a un cultivo. Pero si preparas una mezcla con un alto contenido de ácido, habrá una pérdida de alcalinidad y CO₂, lo cual es lamentable. Así que pon el ácido directamente en el recipiente.]

Con base en la composición elemental de la espirulina que figura en el [Anexo 19](#) y las [indicaciones](#) del [§ 4.1](#) sobre el [medio de cultivo](#), es fácil, pero a menudo tedioso, calcular las necesidades de alimentos minerales según los productos (fertilizantes) disponibles. Se tiene en cuenta la pureza química de los productos, las pérdidas durante la producción (fotooxidación, consumo por parásitos, pérdidas químicas y físicas) y durante la cosecha. No tenemos en cuenta los aportes del agua de reposición a no ser que la evaporación sea muy fuerte y el agua de reposición esté muy mineralizada.

Como ejemplo que se puede utilizar con bastante frecuencia, a continuación se presenta una fórmula calculada para el caso de aguas no ferruginosas y de baja dureza, para una evaporación media y para un índice de pérdidas común en pequeñas explotaciones:

Gramos por kg de espirulina producidos (contados en materia seca):

Urea = 300 g (270 recomendado por FSF)
Fosfato monoamónico = 50 (30 recomendado por FSF)
Sulfato de dipotasio = 40 (30 recomendado por FSF)
Sulfato de magnesio heptahidratado = 30
Cloruro de calcio = 20 Hierro quelado (13 %
de hierro, polvo) = 4 (10 recomendados por la FSF)
Solución de oligoelementos (según [Anexo 26.2](#)) = 50

(el fosfato monoamónico se reemplaza a menudo por ácido fosfórico, en cantidad dependiendo de la concentración de este ácido: por ejemplo, 57 g de ácido al 75% reemplazan 50 g de fosfato monoamónico)

(el cloruro de calcio se puede sustituir por 30 g de nitrato de calcio si se dispone de este producto, o por 13 g de cal apagada)

(El hierro se puede introducir en forma de 50 ml de solución de hierro quelado a 10 g de hierro/l, por ejemplo 77 g de Ferfol/litro, o "jarabe de uñas").

nótese bien

a) La fórmula alimenticia anterior no incluye los requisitos de nutrientes para los lavados de medio de cultivo, que por lo tanto deben agregarse cuando corresponda. b) La dosis de hierro anterior corresponde a 500 ppm de hierro en la espirulina;

se puede ajustar a pedido, algunos médicos prefieren un contenido de hierro más bajo, otros 1000 o incluso 1500 ppm. Para estos altos contenidos en hierro, es preferible la adición de un quelante (EDTA, ácido cítrico, carambola o jugo de limón) o el uso de hierro quelado (tipo [Ferfol](#) o [Fetrilon](#)) al sulfato de hierro solo. Muchas veces se ha dicho que la introducción de hierro (no quelado) en forma de sulfato es mucho más eficaz gota a gota (y con agitación continua), pero esta observación no se aplica, o menos, si se utiliza hierro quelado. c) La dosis teórica de urea es de 270 g/kg, pero especialmente a pH bajo es necesario un exceso si hay tendencia a formar grumos, pieles, etc.

El exceso de urea no utilizado se convierte en nitrato o se pierde en la atmósfera en forma de amoníaco. Es mejor detener la inyección de urea tan pronto como se perciba un olor a amoníaco en el cultivo o, si se puede medir el amonio, seguir la regla dada en el [Apéndice 18](#) (NB b). La urea es la fuente de CO₂ más barata (aparte del aire) y si la temperatura de la piscina es lo suficientemente alta podemos consumir hasta 0,8 kg/kg de espirulina, transformándose la parte no consumida por la espirulina en nitrato (alcalinidad consumida, según la ecuación: $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 4 \text{O}_2 + 2 \text{Na OH} = 2 \text{NaNO}_3 + 3 \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$); de hecho, muchos balances de nitrógeno nos han mostrado que parece formarse más nitrato: por ejemplo, medimos en un estanque alimentado con 600 g de urea/kg de espirulina una "fijación" de nitrógeno atmosférico correspondiente a 6 veces el nitrógeno contenido en el espirulina producida!. Normalmente no puede ser la fijación de nitrógeno del aire ya que la espirulina no tiene heterocistos, pero se sabe que la fijación de nitrógeno sin heterocistos es posible en ciertas cianobacterias bajo ciertas condiciones.

Pero en ausencia total de urea y también sin exceso de urea, no parece formarse nitrato. Tenga en cuenta que el nitrato formado puede servir como fuente de nitrógeno.

por reducción biológica por la espirulina, con restauración de la alcalinidad: $\text{NaNO}_3 + 4\text{H}_2 = \text{NaOH} + \text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$, pero esto no ocurre mientras haya suficiente urea porque la espirulina prefiere utilizar nitrógeno amoniacal en lugar de realizar este trabajo de reducción que es muy costoso en términos de energía (glucosa). ¡Entonces se produce una acumulación de nitrato en el medio de cultivo, donde se han medido hasta 5 a 10 g de iones NO_3 por litro! Cuando el nitrato no es demasiado caro, se recomienda una dieta nitrogenada mixta (50% nitrato, 50% amoniacal), como se practica con éxito en la granja La Mé en Côte d'Ivoire: 140 g de urea + 500 g de nitrato de potasio. Esto evita la acumulación de nitrato en el medio, pero no evita el aumento de salinidad y pH debido al potasio introducido.

Tenga en cuenta que si el nitrato es demasiado caro o no está disponible, aún puede hacer una dieta mixta de urea/nitrato utilizando el nitrato acumulado en otro tanque alimentado solo con urea (pero esto requiere tanques de mezcla). ¡También puede usar nitrato de amonio, que es un fertilizante común pero que presenta el riesgo de ser un explosivo!

El bicarbonato de amonio NH_4HCO_3 es mejor que la urea porque aporta el doble de CO_2 ; es un producto potencialmente muy barato ya que es el intermediario requerido en la fabricación de la ceniza de soda de Solvay, pero no está disponible comercialmente en todas partes (Solvay-England lo vende). Se necesitan 2,6 veces más bicarbonato de amonio en peso que la urea. También se puede usar acetato de amonio que proporciona cuatro veces más carbono que la urea.

Ver también a continuación en NB j ([fosfato](#)) los posibles efectos de un exceso de amonio sobre el equilibrio $\text{PO}_4/\text{Mg}/\text{NH}_4$ del medio de cultivo.

d) Según la cantidad y análisis del agua traída para compensar evaporación, se pueden reducir o eliminar las dosis de sulfatos, magnesio, calcio y hierro. Si l'eau est très calcaire, il peut être nécessaire de majorer la dose de phosphate pour compenser l'éventuelle précipitation de phosphate de calcium, en suivant la recommandation énoncée à propos du milieu de culture : compenser le Ca par la moitié de son poids en P ; se recomienda hacer una dosificación de fosfato en este caso aproximadamente una vez al mes o cuando el cultivo parezca marchitarse. e) No se recomienda el uso de ciertos fertilizantes agrícolas de disolución lenta (liberación lenta) o baja solubilidad, superfosfato, fosfato diamónico (ver párrafo f abajo), sulfato de potasio, porque generalmente contienen aditivos coloreados y/o odorantes y aceites que ensucian medio de cultivo, formando una película grasa en la superficie del estanque (frenando la absorción de dióxido de carbono y la desorción de oxígeno). Además, los fertilizantes de este tipo pueden contener metales pesados (en particular, el cadmio presente en los fosfatos naturales) que son peligrosos porque la espirulina los absorbe rápidamente. Estas observaciones no se aplican a: urea, sulfato de magnesio, sulfato de potasio, nitrato de potasio, nitrato chileno, fosfato mono o diamónico, cloruro de potasio vendido como fertilizantes agrícolas solubles, incluso gránulos. El sulfato de hierro agrícola es de calidad cuestionable desde el punto de vista de la pureza (después de la disolución requiere al menos decantación o filtración). f) Para utilizar fosfato diamónico granulado como fuente de fósforo, si no se dispone de otra, F. Ayala procedió de la siguiente manera: en un litro de ácido clorhídrico 0,5 N (50 ml de concentrado al 33%, diluido en un litro de agua) agregar 250 g de fosfato triturado y llevar a ebullición; eliminar la capa oleosa sobrenadante y recuperar el líquido decantado; repetir una segunda vez en el lodo; mezclar los dos líquidos decantados, es decir aproximadamente 1,5 litros que contengan

aproximadamente 50 g de fósforo en solución utilizable, correspondientes a 5 kg de espirulina. Verifique que la espirulina producida a partir de esta fuente de fósforo cumpla con el estándar de cadmio.

g) La aportación de oligoelementos por las trazas contenidas en el agua de reposición y las sales pueden no ser suficientes. Si el agua de reposición está demasiado poco mineralizada, se puede utilizar sal sin refinar (eventualmente más un poco de arcilla y/o agua de cenizas) para aportar oligoelementos, sin olvidar practicar las purgas correspondientes en caso de excesiva salinidad. Sin embargo, parte del nitrógeno también puede ser aportado por nitrato de Chile conocido como "salitre potásico" (rico en oligoelementos) o bien se pueden utilizar concentrados de oligoelementos preparados a partir de productos químicos (ver § 7.7 y Anexo 26). h) El aporte de calcio (cal o mejor nitrato o cloruro cálcico) sólo es necesario si el agua de aporte no contiene suficiente, o si se desea una espirulina enriquecida en calcio como la de varios productores industriales. i) El consumo de cloruro es teóricamente de 7 g de NaCl/kg de espirulina, pero es prácticamente inútil añadirlo, salvo la extraordinaria longevidad del medio de cultivo. Es estrictamente innecesario añadirlo cuando se utilice orina o agua de mar j) Cuando el medio contiene simultáneamente iones de amonio (NH_4),

magnesio (Mg) y fosfato (PO_4), que es el caso habitual a pH intermedios, las concentraciones de estos iones son interdependientes porque la solubilidad del fosfato mixto de amonio y magnesio, llamado estruvita, es extremadamente baja. Para evitar desequilibrios, la concentración de amonio debe mantenerse baja. La concentración de amonio es automáticamente baja si la urea se añade en pequeñas fracciones y si el pH es alto (parte del amonio se transforma en amoníaco NH_3 bajo el efecto del pH alto). Se recomienda mantener la concentración de Mg aproximadamente igual a la concentración de P. En ausencia de amonio, el fosfato de magnesio en sí mismo es muy insoluble.

h) Para simplificar la operación, podemos contentarnos con alimentar la espirulina (aparte de la urea) solo una vez al mes, pero esto conduce a fluctuaciones bastante fuertes en la composición de la espirulina, en particular en hierro. Es por eso que se recomienda alimentar más bien semanalmente, o incluso diariamente. Si se usa urea, se debe agregar diariamente. La base del alimento a proporcionar no es la cantidad cosechada sino la producida por la fotosíntesis (hay una diferencia significativa si la concentración de espirulina varía significativamente).

¿Y si no tenemos productos químicos?

Basta con añadir 17 litros de orina (esta es una dosis media ya que la concentración de orina varía mucho según el sujeto y su dieta) por kg de espirulina cosechada, más hierro. La orina también proporciona carbono, lo que reduce la tendencia del pH a aumentar y aumenta la productividad en 2 g/m²/día en ausencia de otros alimentos de carbono. Esta solución solo se ofrece para dar respuesta a situaciones de supervivencia, o para proporcionar espirulina destinada a la alimentación animal, o incluso para aquellos que prefieran una espirulina verdaderamente "orgánica". Tenga cuidado de distribuir la dosis regularmente (como para la urea) y de agregar la orina justo después de la cosecha (en cualquier caso, no por la tarde) y solo con buen tiempo; a velocidad de crucero, se recomienda limitar la productividad a 7 g/d/m², por lo tanto, no añadir azúcar, y mantener una altura líquida bastante alta (mínimo 20 cm) y también una concentración de espirulina de al menos 0,4 g/l. Por una

consumo personal de la espirulina producida, la esterilización de la orina (personal, el sujeto en buen estado de salud) no es una necesidad (el autor nunca ha esterilizado su orina, sino la espirulina reservada para uso personal), pero por lo demás parece indispensable, al menos menos por razones psicológicas. La esterilización se puede realizar añadiendo 3,5 g de sosa por litro 24 horas antes de su uso (aumentando el pH a 12-13 se insolubilizan algunos de los componentes: no filtrar, para no perder estos componentes, y homogeneizar antes de su uso). Hay otras formas de esterilizar. Hay quien dice que en los países del África negra, la orina podría contener ciertos organismos resistentes a este tipo de esterilización por pH elevado: hay que comprobarlo. Ver también otros métodos de esterilización (Olivier, Galaret). En cualquier caso, el *Schistosoma haematobium*, cuyos huevos contaminan la orina de las personas infectadas con bilharziasis, debe poder eliminarse por filtración de la orina en un paño de 30 μ , antes de la esterilización con sosa. El otro parásito que se puede encontrar en la orina, *Trichomonas vaginalis*, no se elimina con esta filtración sino que solo sobrevive 24 horas en la orina. Cabe señalar que estos tratamientos por esterilización con soda y filtración aún no han sido validados en cuanto a la calidad de la espirulina producida; en particular, no sabemos si el tratamiento de la orina con sosa no induce transformaciones químicas indeseables (en cualquier caso, no impide que la espirulina prospere!). Ver también NB a), b), e) y f) a continuación.

Una aplicación especial del uso de la orina para hacer espirulina es el reciclaje de los desechos biológicos de los astronautas en futuras estaciones espaciales: la espirulina es la mejor manera de convertir el CO₂ nuevamente en oxígeno y los desechos en alimentos. Este proceso está siendo estudiado en grandes laboratorios en diferentes partes del mundo.

La producción de espirulina "orgánica" también es posible sin recurrir a la orina, utilizando únicamente productos "naturales" (ver § 4.3) como la trona, el sulfato de magnesio subproducto de las marismas o extraído de residuos de extracción de agua de cenizas y ácido fosfórico extraído de harina de huesos, así como las hojas de especies vegetales comestibles baratas. Al nitrato chileno se le negó la aprobación "orgánica", mientras que se acepta el ferfol. Las hojas verdes de las especies no tóxicas son una buena fuente de nutrientes (incluidos el carbono y el hierro), y nuestras diversas pruebas de uso por inmersión directa en el cultivo fueron positivas, pero tuvieron que suspenderse debido al exceso de suciedad en el medio ambiente (que haber requerido un sistema de depuración biológica que no teníamos).

Algunos experimentan con varios abonos vegetales. El jugo de compost ("té de compost") sería una buena solución, pero aquí también parece necesario tener un sistema de purificación biológica, aunque solo sea para liberar los nutrientes contenidos en los muchos microorganismos en este jugo. . En resumen, hacer espirulina solo a partir de plantas es posible, pero es bastante complicado.

nótese bien

a) Como la orina no contiene hierro, su uso no prescinde de añadir hierro. b) La orina utilizada debe tener un olor y color normal y provenir de donantes sanos y que no tomen medicamentos que puedan causar toxicidad a la Espirulina como antibióticos. c) Se dice que la sangre animal sería un buen alimento para la espirulina y que se puede utilizar en dosis relativamente altas (50 ml/l de medio de cultivo). Tenga cuidado con la posible contaminación, sin embargo. Nunca tratamos de usar sangre

y no queremos. d) Es

perfectamente posible “mezclar” productos químicos y naturales. e) El uso de la orina como único fertilizante está especialmente indicado cuando el agua es un poco dura (20 mg de calcio/litro) pero no demasiado dura; de hecho, el aporte de calcio y magnesio por la orina es un poco débil y un suplemento proveniente del agua es bienvenido, pero también hay que tener en cuenta que la orina aporta un exceso de fósforo demasiado débil para compensar una fuerte dosis de calcio. f) La disentería se propaga a través de las heces, no de la orina.

7) GESTIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA CULTURA

Contenido:

7.1) [Cosechas](#)

7.2) [Agitación](#)

7.3) [Evolución del pH](#)

7.4) [Sombreado](#)

7.5) [Nivel de agua](#)

7.6) [Hierro](#)

7.7) [Oligoelementos](#)

7.8) [Cómo aumentar la productividad por aporte de carbono](#) _____

7.9) [Exopolisacáridos \(EPS\)](#) _____

7.10) [Anomalías](#) _____

7.11) [Contaminación por pequeños animales](#)

7.12) [Contaminación por cepas o algas extrañas](#) _____

7.13) [Contaminación por microorganismos](#) _____

7.14) [Intoxicación química](#) 7.15) [Falta de oxígeno \(hipoxia\)](#) _____

7.16) [Enfermedades](#)

7.17) [Metales pesados](#)

7.18) [Limpieza de estanques](#)

7.19) [Purificación del medio de cultivo](#)

7.20) [Muerte súbita de cultivos](#)

7.1) Cosechas

La recolección se realiza de forma que se mantenga la concentración de espirulina en el nivel deseado, por ejemplo entre 0,3 y 0,7 g/l, no necesariamente todos los días. Si el medio está turbio, tenga esto en cuenta al medir la concentración con el [disco Secchi](#). En ausencia de cultivos, con suficientes nutrientes, calor y luz, la concentración de espirulina aumenta hasta el equilibrio entre la fotosíntesis y la respiración, correspondiendo a aproximadamente 250 g de espirulina/m² de estanque.

No es bueno que el cultivo permanezca mucho tiempo sin ser cosechado, en concentraciones muy altas: incluso puede ser causa de muerte para él. Por el contrario, no es bueno bajar la concentración por debajo de 0,4 g/l, en cualquier caso 0,3 g/l: la productividad es mayor a bajas concentraciones pero el cultivo está ahí

menos estable, y allí se produce espirulina con un menor contenido de ficocianina.

7.2) Agitación (ver [§ 3.4](#))

Agitación manual: revuelva (¡al menos!) 4 veces al día, pero la frecuencia mínima depende de las condiciones y la cepa; aumenta con la intensidad de la luz y la flotación. En medio de un día muy caluroso y sin sombra, la sacudida de un tocón que flota fuertemente debe ser muy frecuente (al menos dos veces por hora) o incluso continua. Sin embargo, hay condiciones en las que puede ser preferible agitar menos porque entonces la capa superior del cultivo, que es más cálida, produce más.

Si tiene un modo de agitación eléctrica que es seguro para la espirulina (por ejemplo, burbujeo de aire, hélice o rueda de paletas), la agitación puede ser continua (con una parada de 15 minutos/hora de todos modos). Con las bombas, es mejor no remover una cola de espiral (tipo Lonar) continuamente, sino solo 15 o 30 minutos/hora. La agitación continua mediante bombas de acuario o bombas de vórtice es posible con espirales corrugadas (Paracas) y algunas resistentes.

La agitación nocturna teóricamente se puede detener, pero cuando sea posible, dos o tres agitación nocturna son beneficiosas para reducir el riesgo de grumos y mejorar la oxigenación del ambiente. La agitación nocturna continua, cuando es posible, promueve claramente la autodepuración del ambiente y reduce el riesgo de bacterias anaerobias.

La productividad de un cultivo intensivo depende fuertemente de la agitación, sin que podamos cuantificar realmente este efecto todavía. Varios experimentadores reportan productividad récord (¡hasta 30, incluso 40 o 50 g/día/m²!) bajo excelentes condiciones de agitación, generalmente en tanques pequeños, en tubos o en el laboratorio.

En el programa de simulación presentado en el capítulo Cálculo, se ha adoptado la siguiente convención para tratar este problema:

Para tanques ordinarios, de los cuales tenemos experiencia, el grado de agitación está definido por la velocidad promedio de movimiento del cultivo, hasta 30 cm/s, con una débil influencia en la productividad (ver anexo A1 página 86)

Para balsas con sistemas de agitación sofisticados, el grado de agitación sigue estando caracterizado por la velocidad, pero debe fijarse por encima de 30 cm/s; par convention le modèle multiplie alors la vitesse par 8 (par exemple si l'on fixe la « vitesse » à 40, le modèle appliquera 320), ce qui conduit aux très fortes productivités rapportées par certains auteurs, mais que nous ne croyons pas réalistes en la práctica.

7.3) Cambio de pH

Una buena prueba del crecimiento de un cultivo es su aumento en el pH. En ausencia de suplementación de [carbono](#) y si no hay deficiencias minerales, para una alcalinidad cercana a 0,1 N, una altura de líquido cercana a 20 cm y una concentración de espirulina cercana a 0,4 g/l, con temperatura alta y sol, el pH normal aumenta es de alrededor de 0,1 unidad/día en el rango de pH entre 10 y 10,6.

Sin embargo, en presencia de materia orgánica en el ambiente, estas pueden

se oxidan liberando CO₂, que contrarresta el aumento del pH, pudiendo incluso, en el límite, provocar una caída del pH. Otra forma de comprobar que la fotosíntesis está activa es observar la evolución del oxígeno en la superficie del estanque en ausencia de agitación.

7.4)

Sombreado En ausencia de suplementos de carbono, el pH puede subir a 11,5 y más, pero la espirulina no puede soportar un pH superior a 11,3 por mucho tiempo e incluso se recomienda limitar el pH a menos de 10, 8. Generalmente, una media sombra es suficiente para mantener el pH por debajo de 11. Si la agitación es buena, se puede evitar un aumento excesivo del pH sin sombrear manteniendo un alto stock de espirulina (> 150 g/m²), es decir, una concentración de espirulina superior a aproximadamente 0,7 g/l para una altura de líquido de 20 cm, lo que puede denominarse "autosombreado".

La sombra también es necesaria cuando la temperatura del cultivo es demasiado baja (< 10°C) con luz solar intensa, de lo contrario, el cultivo puede morir fácilmente por fotólisis. Es necesario por precaución mantener la iluminación de la cubeta por debajo de un cierto límite que depende de tres factores simultáneos: la temperatura, la concentración de espirulina y la concentración de oxígeno disuelto. Cuanto menor sea la temperatura y la concentración de espirulina y mayor la concentración de oxígeno, más luz se debe moderar para evitar o reducir la mortalidad de la espirulina. Sin poder dar cifras precisas, se recomienda mantener el oxígeno por debajo de 20 ppm (mediante agitación vigorosa) y la iluminación por debajo de 30 klux, especialmente si la temperatura es inferior a 25°C y la concentración de espirulina inferior a 0,3 g/litro.

Hay otra ocasión en la que puede ocurrir la fotólisis: es a temperaturas muy altas. Se observó una destrucción de la espirulina en unas pocas horas a 39°C bajo una iluminación del orden de 50 Klux. Bajo iluminación de 6 Klux por encima de 32°C, según la tesis de Zarrouk, no hay más que ganar en productividad.

También es necesario dar sombra para ahorrar agua en época seca, o si la temperatura tiende a superar los 38°C en el cultivo.

Un cultivo bajo sombra es más fácil de cosechar y se mejora la calidad de la espirulina (más rica en pigmentos), con una reducción de la productividad que puede seguir siendo modesta.

7.5) Nivel de agua

Asegúrese de agregar agua a la piscina (preferiblemente por la noche) para mantener el nivel deseado. No agregue más del 10% del volumen del estanque por día. Si el agua de reposición es muy calcárea, se producen lodos minerales en la piscina y a la larga es preferible eliminarlos, pero al mismo tiempo la experiencia demuestra que el agua calcárea tiene dos ventajas: aporta poco bicarbonato y sobre todo la precipitación de carbonato de calcio ayuda a flocular impurezas como el EPS. El agua de reposición también contiene sales solubles que aumentan gradualmente la salinidad (del mismo modo, el uso de nitrato como fuente de nitrógeno o bicarbonato de sodio como fuente de carbono aumenta la salinidad); esto puede requerir una purga para evitar que la salinidad supere los 30 a 50 g/l. Pero el agua de reposición (excepto el agua de lluvia) también proporciona oligoelementos beneficiosos. Si la evaporación es apreciable y el agua de reposición es muy calcárea, existe el riesgo de

co-precipitación de fosfato de calcio: controle de cerca el contenido de fosfato del medio y agregue fosfato si es necesario.

En estanques abiertos, la lluvia es beneficiosa siempre que sea moderada (por ejemplo, el 10% del volumen del estanque por día), pero una dilución repentina demasiado fuerte del medio de cultivo hace que la espirulina caiga al fondo. Al final de la temporada de lluvias, es de su interés mantener el nivel máximo permitido por la cuenca (lo que ahorrará agua en la temporada seca). Si la fuente de alcalinidad no es rara, y/o si la precipitación no es excesiva, toda la lluvia que cae puede ser admitida en la cubeta, cuidando de realizar purgas del medio de cultivo a tiempo para evitar que la cubeta se desborde; estas purgas se realizan recogiendo sin reciclar el filtrado o aspirando el fondo para eliminar los lodos, volviendo a poner en la cubeta las sales correspondientes al volumen de medio de cultivo eliminado. Estas purgas mantienen la calidad del medio de cultivo y le aportan oligoelementos contenidos como impurezas en las sales extra. Si no dispone de un concentrado de oligoelementos, puede que tenga que realizar purgas con el único fin de introducir los oligoelementos a través del agua y las sales! Si se permiten purgas.

Un nivel alto de agua (30 cm o incluso más) reduce el sobrecalentamiento en climas muy cálidos y probablemente sea útil para facilitar la autopurificación del medio de cultivo (ver [purificación](#)). Un nivel bajo es interesante para reducir el gasto de medio de cultivo, pero requiere un fondo muy plano (con una punta más hueca para facilitar la recogida del flotador en la cubeta así como el vaciado), purgas suficientes para mantener la calidad del medio de cultivo y una vigilancia media y aumentada del pH, la temperatura y la concentración de nutrientes para no exceder los límites permitidos.

En una piscina abierta, si no son necesarias las purgas para mantener la calidad del ambiente y si los bordes son lo suficientemente altos, el nivel y la alcalinidad varían durante el año: asegúrese de que el nivel mínimo sea suficiente y que la alcalinidad permanezca suficiente ($> 0,05$) en el nivel máximo.

7.6) Hierro

La espirulina es uno de los alimentos más ricos en hierro. Por lo tanto, es necesario proporcionarlo en gran cantidad y en forma asimilable que no es evidente debido al alto pH del medio de cultivo. Si la espirulina no es lo suficientemente verde oscura, puede deberse a la falta de nitrógeno, pero también a la falta de hierro. Incluso una espirulina muy verde puede resultar baja en hierro en el análisis (por ejemplo, 200 ppm). Una concentración de hierro insuficiente (por ejemplo $< 0,1$ ppm) en el medio dificulta el corte de los tricomas de espirulina que se alargan mucho y por otro lado frena la proliferación de bacterias útiles para la limpieza del medio.

A veces, pero rara vez, hay suficiente hierro en las sales y/o el agua utilizada. Incluso puede haber demasiado hierro en el agua si es ferruginosa, un caso que rara vez se encuentra. La forma clásica de introducir el hierro es preparar una solución de hierro de 10 g/l de la siguiente manera: en 1/2 litro de agua poner con 50 g de sulfato de hierro heptahidratado + 20 ml de ácido clorhídrico concentrado o, mejor, 100 g de grado alimenticio ácido cítrico (el ácido cítrico es un buen quelante de hierro); completo a un litro. [NB La pureza de los sulfatos de hierro que se venden para tratar el césped es a menudo inadecuada: la solución debe filtrarse o decantarse o usarse sulfato puro]. El uso de 100 ml de solución de hierro a 10 g/l por kg de espirulina producido corresponde a 1000 ppm de hierro. En la práctica, 50 ml son generalmente suficientes. También puedes remojar 50 g de clavos oxidados en un litro de vinagre con el jugo

4 limones o carambolas; almacenar en un recipiente no hermético (liberación de hidrógeno), agitando de vez en cuando: al cabo de dos semanas se obtiene un "jarabe de uñas" con unos 10 g/l de hierro, que puede ser fuente de hierro "orgánico" .

Un agente quelante como el EDTA o el ácido cítrico hace que el hierro sea más asimilable por la espirulina, pero también hace que el hierro de la espirulina sea más asimilable por el cuerpo humano (ver [Bibliografía: Manoharan](#)). El jugo de limón (que contiene ácido cítrico) y especialmente el jugo de carambola tienen un poder quelante para el hierro, al igual que ciertos extractos acuosos de tierra vegetal o arcilla esterilizados por tyndallización (calentados durante 10 minutos a 80°C dos veces a intervalos de 24 horas).

Los productos comerciales que contienen hierro quelado, como Ferveg, Fetrilon 13 o Ferfol con un 13% de hierro, quelado con EDTA, también pueden utilizarse como suplemento de hierro. Sequestrene 100 SG con 6% de hierro quelado con EDDHA, se dice que es más efectivo que el EDTA a pH alto, tiene la desventaja de teñir fuertemente el medio de cultivo de rojo y no lo usamos. Tenga en cuenta que Ferfol fue aprobado como "orgánico" en Francia (en 2009), pero parece que ya no lo es.

La [sangre también](#) sería una fuente de hierro "biológico" considerado muy asimilable (a 9 g/l), pero no lo hemos probado.

Cuánto hierro tomar es un tema de discusión. Una dosis media de 500 ppm parece adecuada. Es posible, si es necesario, obtener espirulina extremadamente rica en hierro (hasta 5000 ppm).

Cuanto más hierro se agregue regularmente, más regular será el contenido de hierro de la espirulina. Si el hierro (quelado) solo se agrega una vez al mes, por ejemplo, el contenido de hierro de la espirulina justo después de la adición será muy alto (por ejemplo, 1000 ppm), mientras que será bajo justo antes de la adición (por ejemplo, 300 ppm). .

El goteo es obviamente el mejor y parece poder reemplazar la quelación (según la experiencia de Koudougou, Burkina Faso). He aquí un procedimiento adecuado: hacer una predilución de la solución de hierro (100 ml en 10 litros de agua), agitar bien y agregar lentamente (si es posible gota a gota) en el cultivo agitándolo muy bien (esta agitación es esencial).

Un artículo de Puyfoulhoux B. *et al.* (2001) tiende a demostrar que la biodisponibilidad del hierro de la espirulina es equivalente a la de la carne.

7.7) Oligoelementos

En lugar de confiar en el agua de reposición y las sales para proporcionar los oligoelementos necesarios para el crecimiento de la espirulina, puede ser más seguro e incluso más económico proporcionarles una solución concentrada preparada (de muy alto costo). el kilo de espirulina). La adición de oligoelementos parece ser un factor positivo para asegurar una buena cosechabilidad y una buena productividad de forma más regular, pero también mejora la calidad nutricional del producto.

El aporte de al menos los oligoelementos mayoritarios (boro, cobre, manganeso y especialmente zinc) parece recomendable en caso de baja tasa de renovación del ambiente durante un largo período. El riesgo de exceder la dosis máxima permitida para un oligoelemento que ya está presente en una cantidad significativa en el agua o las sales utilizadas es

bajo si la solución de oligoelementos se añade en proporción a los cultivos, por ejemplo hasta una cuarta parte o la mitad de las necesidades teóricas. Sería más seguro agregar solo lo que falta en el medio de cultivo, pero eso requeriría el uso de medios analíticos fuera del alcance del artesano. Existen diferentes [fórmulas](#) de oligoelementos. El más citado es el del Zarrouk medio (ver [Apéndice 18](#)) pero es innecesariamente complicado, a la vez que incompleto...

El aporte de selenio lo realiza generalmente el selenito de sodio, de delicado manejo por ser muy tóxico, que preferimos evitar (sería prácticamente necesario trabajar con máscara antigás para introducir el producto). Algunos tienen más coraje.

¿Se debe agregar cobalto? Este es un tema de discusión relacionado con el hecho de que la vitamina B12 (cianocobalamina, que contiene cobalto) es abundante en la espirulina, mientras que algunas normas limitan la ingesta de esta vitamina; La vitamina B12 en la espirulina es rica en "análogos de B12" que, según algunos, deben tenerse en cuenta. Las aclaraciones científicas sobre este tema son deseables. Jacques Falquet resume muy bien el estado actual del conocimiento sobre este importante tema de la siguiente manera: una proporción variable (pero alta) de vitamina B12 presente en la espirulina es, de hecho, uno (o más) análogos desprovistos de actividad B12 en humanos.

Esta proporción varía según la espirulina analizada; la de Hawaii contendría un 36% de B12 activa

Los análogos de B12 existen en muchos productos alimenticios y son detectables de forma natural en el plasma humano

La vitamina B12 presente en las tabletas multivitamínicas puede convertirse espontáneamente en análogos no asimilables

Actualmente se desconoce la peligrosidad real de los diversos análogos de B12 (no hay estudios clínicos serios)

La literatura científica no reporta ningún caso de trastornos relacionados con los análogos B12 de la espirulina (más de 30 años de consumo de espirulina en países industrializados)

La población de Kanem (donde se consume tradicionalmente la espirulina) no parece verse afectada por ningún trastorno en particular (pero la anemia perniciosa es mortal y sus síntomas son "espectaculares"). »

En cualquier caso, el cobalto nunca parece faltar en el medio de cultivo. La fórmula "JP Jourdan", por lo tanto, omite el cobalto y el selenio.

Existe un buen consenso sobre el beneficio de una dosis mucho mayor de zinc (la fórmula "JP Jourdan" proporciona solo un pequeño suplemento). Otra forma de introducir zinc, propuesta por J. Falquet, es añadir 20 g de sulfato de zinc heptahidratado a los 50 g de sulfato de hierro en la preparación de la solución de hierro relatada en el § anterior ([clásico](#)). Una dosis de 500 a 1000 ppm de zinc en espirulina sería adecuada mientras que altas adiciones de zinc al medio de cultivo pueden causar serios problemas; aquí está la opinión de Jacques Falquet sobre este tema (2009) : *"Nuestras propias pruebas nos llevan a pensar que no es tan fácil obtener tales niveles de zinc enriqueciendo el medio de cultivo: no solo este zinc precipita (o en cualquier caso no es absorbida por la espirulina más allá de un cierto umbral) pero presenta cierta toxicidad para la propia espirulina. De hecho, creo que la espirulina con mucho hierro o*

zinc se obtienen por tratamiento post-cosecha: no debería ser muy difícil, ya que la biomasa de espirulina se comporta como una verdadera resina de intercambio iónico. Por tanto, bastaría con dispersar la biomasa recolectada (y lavarla con agua salada para bajar el pH) en una solución de una sal metálica adecuada y dejar incubar unos minutos. Después de una nueva filtración, lavado, prensado y secado, seguramente obtendríamos el producto deseado

» Si no disponemos de una fuente fiable de sales u óxido de zinc, podemos intentar fabricar alguno atacando el zinc metálico con un ácido, pero ahí está el peligro de que el zinc metálico contenga demasiado plomo.

Hay un poco de níquel en la espirulina, pero no está claro si este metal debe considerarse un oligoelemento beneficioso o si simplemente se absorbe: no se ha incluido en la fórmula "JP Jourdan" debido a los posibles riesgos de toxicidad para los humanos.

¿Cuál debería ser la pureza de las sales posiblemente utilizadas para proporcionar los elementos traza? La calidad "técnica" se considera suficiente, dadas las pequeñas cantidades utilizadas. No es necesario utilizar purezas de tipo "para análisis".

En países donde el acceso a los productos químicos necesarios es imposible, se puede prescindir de la adición de oligoelementos, excepto el zinc, que merece un gran esfuerzo para obtenerlo.

7.8) Cómo aumentar la productividad por aporte de carbono

El principal alimento de la espirulina es el carbono, cuya fuente normal es el dióxido de carbono. El método de cultivo más sencillo, donde el alimento carbonoso proviene del **aire** (que contiene dióxido de carbono, pero extremadamente diluido), tiene una productividad modesta, pero que, expresada en proteínas, sigue siendo muy superior a la de los mejores cultivos agrícolas u hortícolas, y que, expresada en calorías de los alimentos, es equivalente a ellas, y ello sin consumir más agua, ni mucho menos. La absorción de CO₂ atmosférico se produce de día y de noche, independientemente de las variaciones meteorológicas diarias, por lo que no influye en la productividad media de estos cultivos; este último tampoco se ve afectado por una temperatura exagerada por la noche (el pH desciende por la respiración nocturna, pero sin pérdida de CO₂, que se utilizará más adelante). En estos cultivos, el pH se mantiene en torno a 10,6 o menos ajustando **la sombra**. Tenga en cuenta que cada año aumenta el contenido de CO₂ del aire (llegó a 400 ppm en el hemisferio norte en 2014), lo que favorece a la espirulina. La productividad obtenida de la atmósfera alcanza un máximo de 4-5 g/d/m² si la superficie de absorción se limita a la superficie del estanque, pero es posible mejorarla aumentando la superficie de contacto entre los cultivos y la atmósfera, por ejemplo, haciendo olas pero sobre todo añadiendo una columna de absorción a la cubeta: esta columna, llena de anillos Raschig u otros, se riega con cultivo a un pH de, digamos, 10,5 y se alimenta en su base con aire atmosférico mientras el cultivo sale por el fondo de la misma. columna a pH por ejemplo 10.4 y regresa a la cubeta. Pero es más que probable que una columna de este tipo sea más cara que una superficie de estanque adicional dando el mismo aumento de producción (a estudiar caso por caso).

Si la atmósfera de la piscina se comunica con una **fuentes de CO₂** en el aire, como compost en fermentación, granero, combustión de gas limpio o

una fuente de agua carbonatada, el pH del estanque con buen tiempo será más bajo y la productividad aumentará significativamente. El caso de los gases de combustión se trata cuantitativamente en el programa de simulación del Apéndice.

Pero también es posible aumentar la productividad con buen tiempo, aumentándola por ejemplo a 12 o 15 g/día/m², si la agitación es suficiente, inyectando **dióxido de carbono puro** directamente en el cultivo para bajar su pH a 10. CO₂ el consumo ronda los 1,9 kg/kg de espirulina (teoría = 1,71). El gas es otra forma de inyectar el gas es introducirlo en un venturi a la salida de una bomba colocada en el recipiente y hacer que la emulsión recorra una longitud de tubería suficiente para que el gas sea absorbido por completo antes de que el líquido regrese a la cuenca

Si no tienes dióxido de carbono en cilindros sino una **fermentación** alcohólica cerca de la cubeta de espirulina, es bastante fácil captar el dióxido de carbono puro producido por la fermentación, pero su presión será muy baja y será necesario succionarlo por el gas. emulsionante

Un sitio web canadiense describe en detalle cómo suministrar CO₂ a un invernadero hortícola: <http://www.omafra.gov.on.ca./french/crops/facts/00-078.htm>. Puede quemar propano o biogás en la atmósfera del invernadero, pero debido a la aireación el rendimiento será menos bueno que con CO₂ puro inyectado directamente en el líquido.

En lugar de anhídrido carbónico **se puede utilizar bicarbonato de sodio**, pero entonces será necesario realizar purgas para mantener la salinidad en un nivel aceptable (densidad cercana a 1015 g/l) y añadir los elementos del medio de cultivo (diferentes a bicarbonato de sodio) correspondiente al volumen purgado. Se necesitan de 2 a 6 kg de bicarbonato de sodio por kg de espirulina, dependiendo de la productividad deseada. Este método es muy conveniente; en particular, evita tener que controlar el pH. Las purgas previstas en el § 7.5 (nivel) cuentan para el total de purgas a realizar. El procedimiento de purga se puede simplificar incluyendo en el alimento de la espirulina las sales perdidas en la purga: entonces es suficiente reemplazar el volumen purgado con el mismo volumen de agua; la fórmula alimenticia proporcionada por los programas de cálculo en los Apéndices A27 y A30 se establece sobre esta base. La práctica de purgas requiere precauciones con respecto al medio ambiente (ver § 4.5 en [Purificación](#)).

Sabemos que la productividad es una función inversa del pH, en igualdad de condiciones. También sabemos que la fotosíntesis consume CO₂ y eleva el pH. Por tanto, añadimos bicarbonato de sodio para compensar el CO₂ consumido: 2
$$\text{NaHCO}_3 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$

Al hacerlo, se acumula carbonato y se aumenta la salinidad del medio y llega un momento en el que se debe purgar el medio reemplazándolo por medio nuevo, y luego estas purgas mantienen las condiciones de salinidad y pH.

Tenga en cuenta que estas purgas son al pH que queremos mantener en la piscina. Por ejemplo, si desea un pH de 10, la purga contendrá tanto bicarbonato de sodio como carbonato. Entendemos que cuanto más queramos trabajar a un pH bajo, más bicarbonato de sodio consumiremos. Cuanto mayor sea la productividad, por lo tanto, mayor será el consumo de bicarbonato de sodio (y la cantidad de residuos minerales).

Ilustremos este hecho con un pequeño cálculo para un proceso a pH 10 que corresponde a la máxima productividad (por debajo de 10 ya no se mejora la productividad), pH donde no hay absorción de CO₂ atmosférico (lo que simplifica mucho el cálculo):

Sabemos que a este pH el medio de cultivo contiene 7 moles de CO₂ por 10 moles de hidróxido de sodio en forma de bicarbonato de sodio + carbonato de sodio. En operación estable, no hay acumulación de hidróxido de sodio en el medio (las purgas equilibran los aportes), por lo tanto un balance molar de entrada/salida alrededor del estanque da:

Entrada: 1 bicarbonato de sodio (= 84 gramos) = 1 CO₂ + 1 NaOH

Salida de purga: 0,7 CO₂ + 1 NaOH

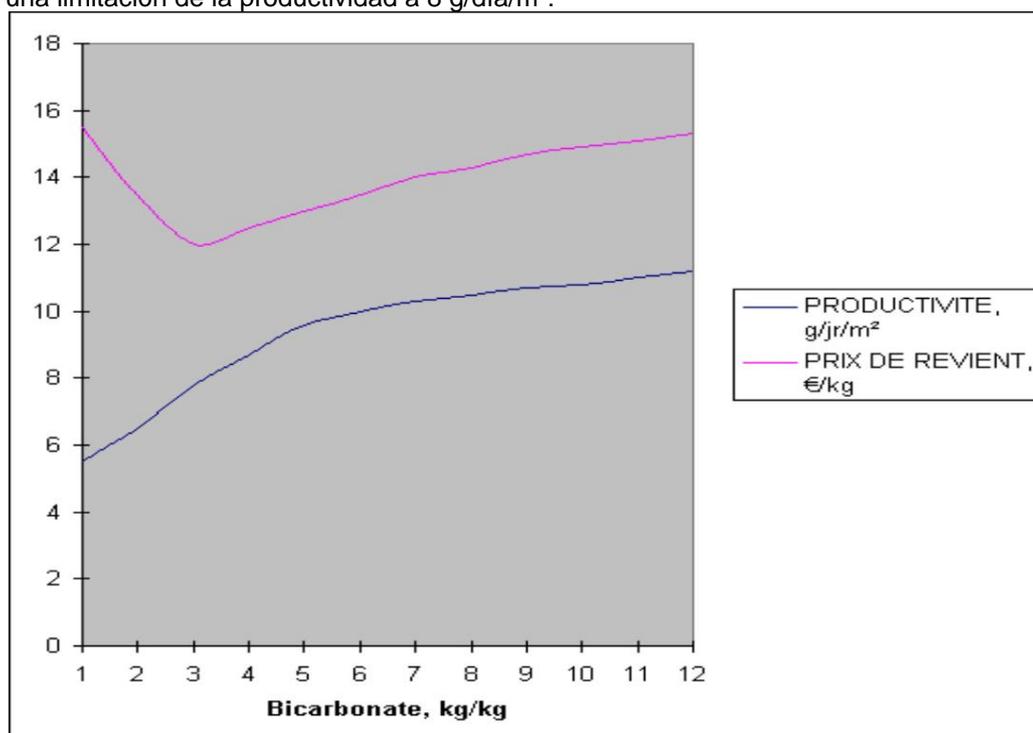
CO₂ saliendo con la espirulina producida: $1 - 0,7 = 0,3$ CO₂, por lo tanto
 espirulina producida = $0,3 \times 44 / 1,8 = 7,33$ gramos (de hecho, 1 mol de CO₂ pesa 44 g y necesita 1,8 g de CO₂/g de espirulina)

De ahí el consumo de bicarbonato de sodio: $84 / 7,33 = 11,5$ g/g de espirulina.

Mediante el uso del software de simulación (ver [CÁLCULOS](#)), podemos establecer la relación entre la productividad y el consumo de bicarbonato de sodio, y encontrar el óptimo económico:

Por ejemplo, el siguiente gráfico se estableció para Koudougou con un precio de bicarbonato de sodio de 0,5 €/kg.

Muestra un claro precio de coste óptimo a 3 kg de bicarbonato de sodio/kg, con una limitación de la productividad a 8 g/día/m²:



Hay que ver la flexibilidad de mercado que tenemos: si el mercado demanda más espirulina podemos empujar los fuegos a la espera de que se construyan nuevos estanques. Por el contrario, si hay sobrecapacidad, se puede reducir o incluso eliminar el suministro de bicarbonato de sodio (pero en este caso, si no hay sombra, el pH se situará por encima de 11 con buen tiempo, lo que el cultivo no agradece mucho).

Si la evaporación es importante y si el agua de aportación es **muy calcárea**, el carbonato cálcico precipita y se encuentra en los lodos, lo que tiene como efecto reducir las purgas y reducir el consumo de bicarbonato sódico, mediante un aumento de la cantidad de lodos minerales que habrá que eliminar; en este caso existe el riesgo de coprecipitación de fosfato cálcico: vigilar de cerca el contenido de fosfato en el medio y añadir fosfato si es necesario.

La proximidad de un **lago sódico natural** ofrece una posibilidad interesante: la de enviar allí las purgas y sacar de él lo que las sustituya. En general, los lagos de sodio tienen un pH cercano al equilibrio con el aire, es decir, cerca de 10. Bombear agua del lago al cultivo a pH 10,5, por lo tanto, le aporta CO₂. El agua del lago debe filtrarse (por ejemplo, a través de un filtro de arena) antes de permitir su ingreso al cultivo, para no correr el riesgo de contaminarlo. Si su composición no es la correcta para la espirulina, se debe corregir con los añadidos necesarios (normalmente será urea y hierro) y diluir si su salinidad es demasiado alta. Las purgas recicladas al lago son allí depuradas biológicamente por un proceso natural. El hecho de tener CO₂ prácticamente libre permite realizar importantes aportes de carbono y empujar la productividad con buen tiempo fácilmente a 12 g/día/m² (mediante bombeos en el lago del orden de 3000 litros por kg de producción, para una salinidad del orden de 13 g/l).

El azúcar constituye **otra** posibilidad de introducir alimentos carbonosos (ver [Jourdan \(1996\)](#) en la bibliografía). Su consumo teórico, en ausencia de otras fuentes de carbono, es de 1,11 kg/kg. El peso de azúcar que un estanque es capaz de oxidar durante el día es del mismo orden que su producción de espirulina: esta es la dosis que de todos modos no debe excederse. Agregue el azúcar por la mañana, solo en días soleados, para no causar olores de fermentación, poca eficiencia de conversión del azúcar en CO₂ y producción excesiva de lodos flotantes (ver § 7.15: **lodos**), especialmente si el medio contiene otras materias orgánicas. Para que el azúcar fermente y produzca CO₂, a menudo es necesario que el pH esté por debajo de 10,8 (pero he visto al azúcar al menos una vez bajar rápidamente el pH de un cultivo que había llegado a 11,1). Si los fermentos han sido esterilizados por un pH demasiado alto, vuelva a sembrar el cultivo con un "levain" tomado de otra cubeta. Comience a "endulzar" tan pronto como el pH alcance 10,4; se necesitan dos días para ver el efecto; luego ajuste el suministro de azúcar para mantener el pH alrededor de 10,4; una dosis media de 0,6 kg/kg de espirulina es generalmente suficiente, cuando hace buen tiempo. De hecho, se recomienda no superar la dosis de 6 g de azúcar/m²/día con buen tiempo (e incluso preferiblemente 3) si queremos evitar efectos secundarios indeseables como la excesiva turbidez del medio de cultivo y las dificultades de recolección que pueden llegar hasta la imposibilidad de deshidratar la biomasa por prensado, especialmente al inicio del período de azucarado. Estas dificultades pueden surgir

una falta de nitrógeno (que provoca una sobreproducción de exopolisacáridos) debido al consumo de nitrógeno por parte de los fermentos; al comienzo del azucarado, por lo tanto, es bueno aumentar la urea. El contenido de proteína de la espirulina obtenida con azúcar es estrictamente idéntico al de la producción de CO₂.

El azúcar puro debe poder ser sustituido con beneficio por caña de azúcar triturada, a razón de 7 kg/kg de azúcar (remojar la caña durante un día o más en la palangana y luego sacarla) o por jugo de caña, pero no hemos probado estos métodos. No use melaza, demasiado impura; en cambio la miel o la glucosa pura serían excelentes si fueran menos costosas. El azúcar también puede ser aportado por diversos productos que lo contienen como el suero de leche (no superar la dosis de 4 litros por kg de espirulina, porque el suero de leche es rico en nitrógeno).

El azúcar también puede sustituirse por hojas de plantas frescas: las hojas verdes empapadas en el cultivo (preferiblemente en una red) sufren un ataque del medio básico que disuelve en pocos días todos sus elementos excepto la celulosa, que constituye un medio de alimentación de la espirulina con carbono y también con elementos minerales. Las hojas deben ser de especies vegetales elegidas por su no toxicidad y su facilidad de "disolución"; elija preferentemente plantas que sean comestibles pero no muy populares y, por lo tanto, baratas, como la ortiga, el amaranto o los cuartos de cordero. Cabe señalar que el azúcar y las hojas en dosis elevadas provocan un aumento de la turbidez del medio, lo que debe tenerse en cuenta a la hora de medir la concentración mediante el [disco Secchi](#). Tal cultivo es menos "limpio": más lodo, filtración más lenta y mayor riesgo de microbios patógenos que se han vuelto resistentes al pH alto. Si se dispusiera de una instalación para la depuración de los filtrados antes del reciclaje, este inconveniente debería desaparecer (pero aún no se ha intentado).

Reemplazar el azúcar con glucosa teóricamente reduce las desventajas del azúcar. De hecho, la glucosa tiene fama de ser asimilada directamente por la espirulina o puede ser oxidada directamente por el oxígeno de la fotosíntesis: los fermentos se volverían inútiles, lo que daría como resultado un cultivo "más limpio" y una mejor filtración, y la posibilidad de trabajar a pH > 10,8 si se desea. . La única vez que quisimos usar glucosa comercial pura en una dosis de 1 kg/kg, en realidad se comportó más o menos como el azúcar; después de 15 días el pH se mantuvo bien en 10 pero la turbidez del medio de cultivo había subido a Secchi negro = 6 cm (la filtración seguía siendo fácil). Esta turbidez desaparece a los pocos días de la reducción o eliminación de la adición de glucosa. Parece que la glucosa potencia la salud de la espirulina. También permite cultivo en heterotrofia, sin luz.

Hay que mencionar el aporte no despreciable de CO₂ procedente de la **urea**, que es incluso la fuente de CO₂ más barata. Ver § 6, NB [c para las precauciones](#) esenciales de uso. Recuerda que en caso de alimentación de espirulina a través de la **orina**, aporta carbono adicional equivalente a 2 g de espirulina/día/m². El lodo del fondo del estanque mismo se oxida gradualmente (sobre todo si se tiene la precaución de cepillar diariamente el fondo y los bordes del estanque), contribuyendo así a la incorporación, o más bien al reciclaje, de CO₂. Por último, mencionar que es perfectamente posible mezclar las diferentes fuentes de carbono.

En general, se recomienda no buscar mantener

productividad récord, porque aumentan la tasa de ensuciamiento del medio de cultivo y, al parecer, la frecuencia de mutaciones; a baja productividad el medio tiene más posibilidades de autodepuración. Pero los diversos peligros y, en particular, los relacionados con el clima y la agitación a menudo débil significan que la productividad promedio generalmente no supera los 7 g/día/m² durante una temporada de producción en el sur de Francia.

7.9) Exopolisacárido (EPS)

La espirulina secreta un exopolisacárido sulfatado (una especie de alginato). Hipótesis: el EPS de bajo peso molecular se libera gradualmente en el medio de cultivo donde primero se disuelve y luego se polimeriza gradualmente en micelas cada vez más grandes, luego en pieles de color marrón amarillento o grumos de tamaño variable, microscópicos (visibles bajo un microscopio después de teñir el medio con tinta china, el EPS no se mancha) o incluso visible a simple vista; cuando el medio se concentra en EPS, su solubilidad disminuye y se forma como una vaina de EPS en la superficie exterior de la espirulina. Los grumos o capas de EPS pueden obstruir los poros del filtro y ralentizar significativamente la filtración; ligeramente más densos que el medio de cultivo, pueden asentarse en el fondo de la cubeta en forma de lodo y finalmente desprenderse de él tomando burbujas de gas de fermentación y flotando. El tamiz de recogida detiene grumos suficientemente grandes de EPS. La producción normal de EPS a un pH bajo y bajo una luz intensa es de alrededor del 30 % de la de la espirulina, pero todavía parece que se forma EPS a un pH muy alto; si hay deficiencia de nitrógeno, la fotosíntesis produce exclusivamente EPS (Cornet JF, 1992). Incluso en presencia de nitratos, la deficiencia de amonio parece favorecer la formación de EPS, si las condiciones de luz y temperatura son insuficientes para la reducción de nitratos. En presencia de amonio, la proteinogénesis se ralentiza por temperatura insuficiente, pero menos que con nitratos solos. La deficiencia de hierro también parece interferir con la proteinogénesis y, por lo tanto, promover la EPS.

Según el informe Melissa 2004, página 199, una concentración de nitrógeno amoniacal superior a 65 ppm con una iluminación superior a 33 W/m² (¡nivel muy bajo!) favorece la formación de EPS y la formación de grumos; de hecho en Cédric Lelièvre en julio de 2005 se estaban formando grumos en un cultivo con 2,5 g de KNO₃ + 80 mg de amonio, con buena luz solar. Para luchar contra el exceso de EPS y grumos necesitas amonio, pero no demasiado (una dosis de 3 a 15 ppm es adecuada) y evita que el pH esté por debajo de 10,2. Lo ideal sería suministrar urea (o amoníaco) gota a gota. Pero a menudo se ha encontrado que la adición abrupta de amoníaco a un cultivo que sufre un exceso de EPS (filtración y/o prensado difícil) es una forma rápida de mejorar el estado de este cultivo. Las cantidades de amoníaco a 22°Bé (es decir, 20,5% NH₃) permitidas dependen fuertemente del pH: 0,25 ml a pH 10 y 0,17 ml/litro a pH igual o > 10,3 (para dar una concentración de 30 ppm de NH₃ libre en un medio que no contiene nada al principio).

Para luchar mejor contra el EPS, solemos utilizar un exceso de urea o amonio, que se oxida a nitrato. ¡Después de unos meses, podemos medir niveles de 5 a 10 g de nitratos por litro en el medio ambiente! Es mejor aportar nitrógeno a la mitad en forma amoniacal (urea) y nitrato, sin exceso: esto es lo que se practica con éxito en la finca La Mé en Côte d'Ivoire. Dado que el nitrato es más caro y, a veces, no está disponible, se puede intentar reducir el exceso de urea.

Es obvio que una fuerte producción de EPS es problemática, no sólo porque es una pérdida de rendimiento, sino porque ensucia el medio de cultivo y provoca dificultades en la cosecha.

El EPS es biodegradable más o menos rápido según las circunstancias, lo que limita la cantidad que se encuentra en la espirulina recolectada. Una espirulina con un 60 % de proteína contendría un 30 % de EPS (Melissa Report 1996, página 90).

La biodegradación del EPS se ve favorecida por la práctica del cepillado diario del fondo y paredes de la piscina.

La adición de iones de calcio que provocan la precipitación de carbonato de calcio permite cierta eliminación de EPS por floculación.

La presencia de una cierta cantidad de EPS parece facilitar la recolección. Con una colada en espiral, el exceso de EPS conduce a veces a la floculación de la espirulina con la formación de pieles o grumos verdes flotantes. Estos últimos, durante la recolección, son fácilmente retenidos por el tamiz sobre el que se juntan en aglomerados formando inmediatamente una "bola": si al mismo tiempo no hay lodos flotantes, se pueden añadir a la biomasa recolectada tamizándolos con la extrusora por reemplazando su dado por un tamiz; la calidad de la espirulina así cosechada es un poco peor de lo normal (un análisis realizado en junio de 1999 sobre el producto seco dio un 52% de proteína y demasiados microorganismos aerobios). Se podría temer que la formación de grumos aumente el % de líneas: la experiencia, durante una gran producción de grumos (octubre de 1999) nos ha demostrado que no es así.

El aumento del pH y de la temperatura, la adición de hierro (si hay carencia) y sobre todo la adición de urea o amoníaco combaten eficazmente estas pieles y grumos; sigue la regla: "sube la urea si hay grumos verdes o pieles flotantes, baja la urea si hay olor a amoníaco". La dilución repentina y/o una disminución repentina del pH también pueden causar que la espirulina en espiral se flocule en grumos verdes flotantes.

Un exceso de EPS conduce a una pegajosa espirulina capaz de obstruir los poros de los filtros ya la imposibilidad de exprimir la biomasa por prensado, mientras que la falta de EPS parece conducir a una biomasa fácilmente exprimible.

Las pieles de EPS se pueden confundir con aglomeraciones de algas extrañas como microcystis altamente tóxicas, de ahí la necesidad de realizar pruebas de toxicidad en caso de duda, aunque nunca hemos visto ningún caso de toxicidad comprobada.

Las publicaciones parecen demostrar que los polisacáridos (endo y/o exo) de la espirulina tienen interesantes propiedades terapéuticas: en espera de confirmación.

7.10) Anomalías

En caso de crecimiento pobre cuando por lo demás todo va bien, es conveniente comprobar el contenido de fosfato del filtrado y, si es bajo, añadir fosfato; y si no tiene una prueba de fosfato, puede intentar agregar fosfato para reactivar el crecimiento. Esto se aplica principalmente si el agua utilizada es muy calcárea, porque la

el fosfato de calcio tiende a precipitar.

Si un cultivo se vuelve caqui amarillo-marrón sin que se detenga la fotosíntesis, definitivamente hay una falta de nitrógeno. El exceso de luz, especialmente en frío o en ausencia de agitación, o incluso a una concentración demasiado baja de espirulina, o manteniendo un pH > 11,3 durante un período prolongado, produce decoloración y luego destrucción progresiva. Si se ha roto o destruido demasiada espirulina, el medio de cultivo se ensucia (turbio, espumoso amarillo, o un poco viscoso, o "blanco" como leche diluida, o por el contrario marrón, o maloliente), fermenta (desprendimiento de burbujas incluso de noche) y/o la filtración y/o el prensado durante las cosechas se vuelven difíciles, si no imposibles. En general, el cultivo puede curarse por sí solo en una a tres semanas, preferiblemente en "reposo" en condiciones de luz y temperatura suaves, siempre que no sea deficiente (en nitrógeno y hierro en particular). La práctica de purgas medianas puede ayudar en la recuperación del cultivo; la resiembra es particularmente efectiva. Si no se produce el reinicio, es probable que el ambiente se haya vuelto tóxico para la espirulina: desagüe. Un vaciado completo de vez en cuando es un medio poderoso, pero costoso, para evitar anomalías culturales.

Si el cultivo contiene mucha espirulina rota en pequeños fragmentos, puede deberse a un exceso de luz (sobre todo por la mañana) o a una agitación demasiado brusca, o incluso a una falta de potasio. La espirulina anormalmente larga puede ser un signo de falta de hierro, a menos que sea un cultivo de crecimiento muy débil.

La espirulina de ciertas cepas (espiral por ejemplo) suele flotar fuertemente en la superficie del medio de cultivo, mientras que otras (onduladas, rectas) permanecen más fácilmente en la masa del cultivo (pero todavía flotan normalmente). Si la espirulina cae al fondo del estanque, esto suele ser una señal de que están desnutridos en nitrógeno o hierro; un cambio brusco de pH o salinidad también puede provocar que la espirulina caiga al fondo, por ejemplo una fuerte lluvia que duplique el volumen de agua. Una temperatura muy baja tiene el mismo efecto. Las espirulinas del fondo de la cuenca corren un gran peligro de morir y convertirse en lodo orgánico marrón: para aumentar sus posibilidades de supervivencia, deben resuspenderse con la mayor frecuencia posible. Del mismo modo, la parte superior de la capa flotante corre peligro de muerte por fotólisis (pardeamiento o decoloración) en caso de una insolación demasiado fuerte y demasiado prolongada sin suficiente agitación.

Las espirales de espirulina tienden bastante a menudo a aglomerarse en grumos verdes cuando la producción de EPS es abundante; estos grumos flotan si son muy ricos en espirulina, a diferencia de los lodos marrones de EPS. Pero si la proporción de espirulina en los grumos es baja en comparación con los EPS (grumos de color tirando hacia el marrón), ya no flotan y pueden permanecer en medio del agua y dificultar la cosecha al obstruir rápidamente el tamiz.

Puede ocurrir que la propia espirulina (incluida la de tipo corrugado) flocule en mini grumos verdes (con poco EPS) bajo el efecto de partículas minerales muy finas como el carbonato de calcio en proceso de precipitación o de un exceso de ciertos iones. Entonces puede resultar beneficiosa una dilución del medio.

Para contrarrestar la tendencia a la formación de grumos, también es prudente agitar la palangana 2 o 3 veces durante la noche.

El lodo sube a la superficie y flota temporalmente durante la fotosíntesis activa, especialmente cuando se agita el fondo, pero normalmente vuelve a caer al fondo antes de la mañana siguiente. Se pueden eliminar mediante tamizado (malla o malla). La flotación nocturna de estos lodos se debe a la fermentación anaerobia de una capa de lodos demasiado espesa y carente de oxígeno (**hipoxia, anoxia**), situación que requiere varios días para recuperarse (removiendo los lodos con más frecuencia, y/o eliminando la mayoría). El remedio recomendado es pasar la palangana a otra y limpiarla. El lodo es una mezcla de minerales insolubles (carbonatos y/o fosfatos), productos de descomposición de espirulina muerta (que contiene clorofila A y especialmente carotenoides que dan al lodo un color marrón característico), EPS y microorganismos biodegradantes; también hay **filamentos** aparentemente incoloros, mucho más pequeños en diámetro que la espirulina (clasificados en 2,5 micrones), pero generalmente más largos. La observación a gran aumento con un microscopio de contraste de fase permite distinguir células en estos filamentos, que aparecen de color verde; es una cianobacteria del género *Phormidium*, potencialmente tóxica, aunque nunca se ha detectado toxicidad en muestras que contienen estos filamentos con la prueba de salmuera. La aparición de estos filamentos "incoloros" se produce muy rápidamente en aglomerados que contienen residuos de espirulina muerta, y esto incluso en agua dulce: si pones espirulina en agua dulce, no sobrevive mucho tiempo y se descompone en un lodo marrón formado por "bolas" de estos filamentos incoloros apretados.

Tenga en cuenta que la agitación del lodo puede provocar un aumento del lodo que contiene espirulina cautiva y mucho *Phormidium*. La flotación puede deberse a espirulina cautiva o a burbujas igualmente cautivas, de modo que este lodo cae con dificultad al fondo de la balsa.

El color de los lodos de las balsas a veces tiende al rosa, pero generalmente es marrón, el color del caroteno.

También se encuentran con frecuencia en los lodos cristales en forma de aguja, a menudo agrupados en haces: se trata de una mezcla de fosfato amónico y magnésico, soluble en medio ácido; Sucede que estos cristales son absorbidos por la capa flotante de espirulina y recolectados con ella, pero se vuelven a disolver bajo el efecto de la acidez estomacal. Para evitar la formación de estos cristales se deben evitar dosis excesivas de fosfato, magnesio y/o amonio.

Un mal olor generalmente corresponde a un mal estado o una cosecha insuficiente, o a una fermentación anaeróbica o a una adición excesiva de urea, azúcar u orina. Un olor moderado a amoníaco, correspondiente a 20-30 ppm de amoníaco en el ambiente, no es grave pero alerta de un posible peligro inminente. El uso de azúcar como aporte de carbón provoca en ocasiones olores a fermentos o levaduras que no son realmente desagradables. Un cultivo de espirulina en buen estado de salud ya la temperatura ideal desprende en ocasiones un olor aromático característico y agradable, rayano en el geranio o la rosa.

7.11) Contaminación por pequeños animales

A menos que la piscina esté completamente protegida, es inevitable que insectos o, a veces, pequeños animales (serpientes, lagartijas, ranas, ratones, caracoles), hojas y otros restos de plantas caigan en la piscina. Se pueden quitar con una red, pero si se dejan, lo que no se recomienda, eventualmente serán "digeridos" por el medio de cultivo y servirán como alimento para la espirulina.

Por otro lado, algunos gusanos e insectos pueden vivir en el medio de cultivo como parásitos. Es el caso de las larvas de la mosca *Ephydra* (una pequeña mosca marrón que camina sobre el agua), las larvas de mosquito, el zooplancton (rotíferos, especialmente *brachyonus*, cianofagos y amebas capaces de comer espirulina), que se asientan y viven durante un tiempo en la piscina: a acelerar su desaparición, el pH puede elevarse temporalmente a pH 12 y luego mantenerse en este pH durante la noche, volviendo a acidificar por la mañana a pH 10; pero este choque de pH también mata algo de la espirulina: el cultivo debe entonces ponerse en convalecencia (sombreado). Este choque de pH apenas es efectivo en las amebas. Pero a veces basta un aumento repentino de la salinidad de 3 g/l para que desaparezcan los invasores (especialmente las larvas). También puedes subir la temperatura a 40°C (con picos a 44°C). La adición de una dosis alta de amoníaco, por ejemplo 100 ppm, mata las larvas y las amebas, pero también parte de la espirulina... Finalmente, la mejor manera de eliminar las larvas es eliminarlas físicamente cosechándolas con una trampa de malla de 300 µ. colocados a través de la corriente cultural.

La desaparición de las amebas se produce generalmente de forma natural en unos días de buen tiempo con buena temperatura y rápido crecimiento de la espirulina; mantener una concentración de espirulina no demasiado elevada y una buena agitación favorece la desaparición de las amebas. De hecho, las amebas solo parecen coexistir con la espirulina cuando esta última está debilitada o tiene un crecimiento débil o nulo. Por ejemplo, en una muestra de un cultivo en buen estado podemos ver la aparición de amebas tras 24 horas de almacenamiento en el laboratorio.

De manera similar, los rotíferos, en principio, no pueden invadir un cultivo sano.

En caso de infestación por larvas o rotíferos, la recolección sigue siendo posible porque el tamiz los detiene (ajuste la malla del tamiz si es necesario: para *brachyonus* se requiere una malla de 120 µ); se puede tratar de eliminar las larvas y ninfas tanto como sea posible con un tamiz, o colocar el recipiente en un invernadero sellado o mosquitero.

La infestación por larvas depende del lugar, del clima. Sólo puede ser transitorio. Algunos años no sucede. En un invernadero, el riesgo de infestación se reduce o elimina (las aberturas de ventilación y las puertas del invernadero deben estar equipadas con mosquiteros para esto). Nunca hemos tenido rotíferos en Mialet, pero nuestros colegas indios los han tenido con bastante frecuencia. Tenga en cuenta que los rotíferos no son tóxicos y no comen espirulina en espiral en buen estado de salud, pero por otro lado se desarrollan rápidamente en caso de mala salud de la espirulina y terminan invadiendo el cultivo, dándole un color rojizo. Los rotíferos están muy a menudo presentes en cultivos al aire libre, en pequeñas cantidades, y contribuyen a

eliminar la chlorella y también la espirulina recta.

Ripley Fox explica que cualquier ameba que pueda estar presente en un cultivo tiene una probabilidad casi nula de ser tóxica. Sin embargo, como precaución, se recomienda no consumir biomasa fresca de un cultivo que contenga amebas. Cuando se secan a 65°C, mueren de todos modos.

NB:

1) los mosquitos machos de los estanques de espirulina serían esterilizados por el alto pH del cultivo (según un estudio indio) y los estanques constituirían entonces un medio de control biológico contra los mosquitos; sin embargo, esta información es cuestionada por el hecho de que los mosquitos proliferaron en el lago Nakuru antes de la introducción de las tilapias precisamente para combatirlos, cuando este lago estaba lleno de espirulina pero probablemente cohabitando con otras algas... 2) el zooplancton y las larvas que vimos que vivir con espirulina no era tóxico para los humanos. 3) las larvas de mosquito y los rotíferos comen espirulina recta, pero no espirales tipo Lonar.

7.12) Contaminación por líneas o algas extrañas

A) Líneas rectas

La "espirulina pura" aparece con frecuencia en los cultivos. Se asemejan a las cianobacterias *Oscillatoria*, de las que existen variedades tóxicas (ver párrafo B abajo), pero hemos comprobado que las "líneas rectas" que hemos tenido hasta ahora son efectivamente espirulina (*Arthrospira*), además de composición normal, no sólo por utilizando criterios dimensionales, morfológicos, matiz de color, etc., y comprobando su contenido en ácido gamma-linolénico (muy superior al de *Oscillatoria*) y su contenido en ácido alfa-linolénico (muy presente en la mayoría de las cianobacterias y ausente en *Arthrospira*), pero también según un estudio de "huellas genéticas" de la Universidad de Ginebra (ver Bibliografía: **Manen** descargable desde este enlace : <http://ijs.sgmjournals.org/cgi/reprint/52/3/861>).

La espirulina recta generalmente flota menos o más lentamente que las espirales, uno puede intentar contrarrestar su proliferación no cosechando la capa flotante sino cosechando el cultivo homogéneo y manejando el cultivo para reducir la tasa de crecimiento de las rectas. Una buena agitación evita la fotólisis de las espirales, las más flotantes y por tanto las más expuestas al sol, por lo que reduce la proliferación de líneas rectas. Cuando hay pocas líneas rectas, la capa flotante puede contenerlas todas y, por lo tanto, se puede cosechar; pero más allá de un cierto % de líneas, esto ya no es así. En caso de infestación avanzada, se puede intentar una reducción de la agitación y una resiembra masiva en espirales flotantes.

En 2011 se observó la presencia de líneas flotantes en una cepa Paracas XXL...

Dado que las espirales tienen una marcada tendencia a aglomerarse en grumos bajo ciertas condiciones (pH bajo, baja temperatura, ausencia de amonio), se podría temer que la formación de grumos aumentaría el % de líneas rectas: la experiencia nos ha demostrado, durante de una enorme producción de terrones en octubre de 1999, de lo que era

no es el caso.

Las líneas rectas son espirulina genéticamente verdadera, pero tienen inconvenientes, que a menudo incluyen una dificultad notoria en la cosecha. El problema no es nuevo pues hace casi 40 años Félix Busson ya peleaba con él:

Au Colloque de Florence sur la Spiruline, 1980, BUSSON disait :

"Des formes droites apparaissent spontanément dans des cultures axéniques de spiruline. Nous avons séparé ces formes droites provenant aussi bien de *Spirulina platensis* que de *Spirulina maxima*. Depuis onze ans elle continuent à se reproduire droites."

La "Pequeña Noticia de la Espirulina" de noviembre de 2002 decía:

“ ¿ La **espirulina pura venció** ?

Un correo electrónico de Jean-Denis N'Gobo, de Bangui, del 11/04/02 da muy buenas noticias: "eso es todo, solo tenemos espirales en nuestras 3 cuencas"

Una llamada telefónica de Pierre Ancel el 11/8/02 nos dice que en Koudougou (Burkina Faso) la espirulina de la cepa espiral tipo Lonar también es 100% espiral ahora.

Sabemos que en Madurai (India) los derechos han desaparecido desde 2001 y en Mialet desde 2000.

Pero todavía hay sitios que sufren de derechos, y todavía estamos buscando remedios que permitan el control de los derechos con seguridad..."

No todas las líneas son un problema: están las "largas" que apenas interfieren con la cosecha y las "endémicas", no virulentas, que conviven con los Paracas sin invadirlos. Las que más tememos son las cortas y virulentas, es decir, cuyo ritmo de crecimiento es claramente superior al de las espirales. Un pequeño software (DRIMPR) permite simular la forma en que estas líneas pueden "explotar" repentinamente en unas pocas semanas; en el siguiente ejemplo, partimos de un cultivo que contiene 1 línea recta para 10 000 espirales en el tiempo cero:

Datos: 1)

Profundidad de la cuenca, cm = 10 2)

% inicial de líneas = .01 (1/10,000)

3) Tasa de inyección de espirales, g/m²/día = 0 4) %

de líneas en inyección de espirales = 0 5) (% de líneas

en cultivo)/(% en cultivo), fracción = 1 6) Tasa de mutación de

espirales, fracción/día = 0 7) Tasa de respiración de líneas, fracción/

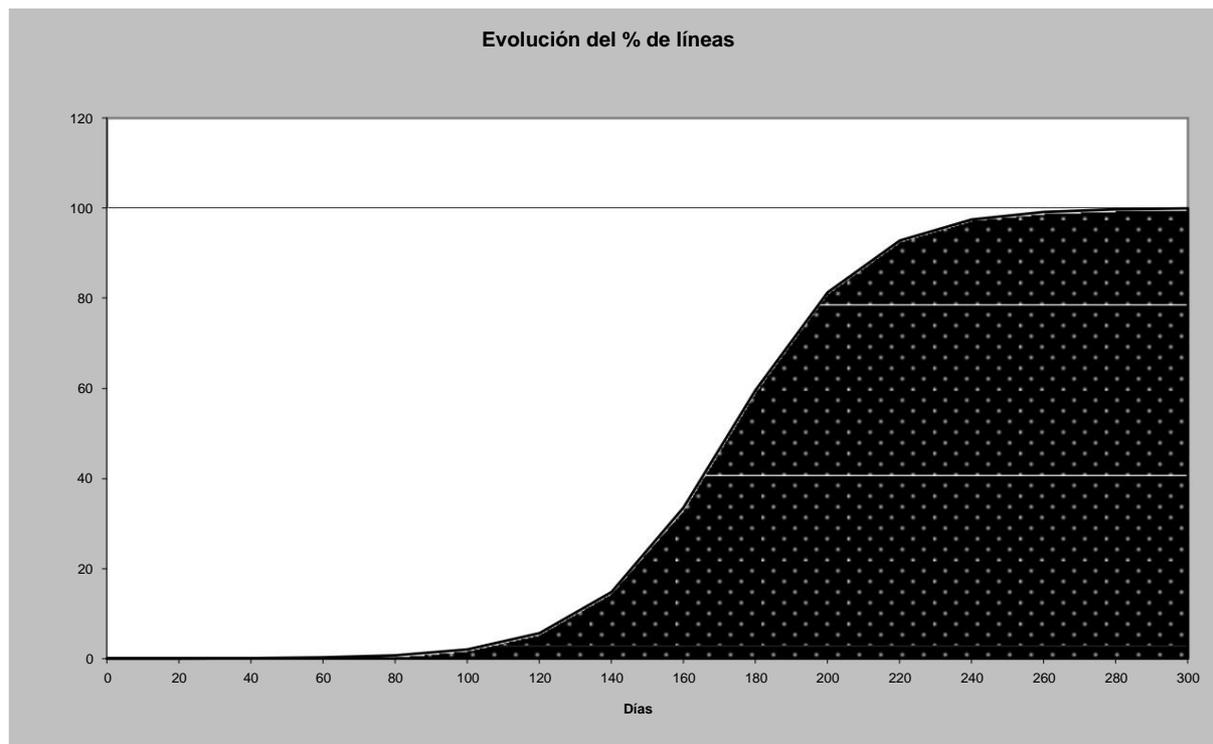
día = 0

8) Concentración, g/l = .3

9) Productividad de espirales, g/d/m² = 8

10) Productividad de líneas, g/d/m² = 10

RESULTADOS :



El único verdadero remedio conocido es la profilaxis rigurosa: vaciar y esterilizar la palangana infestada y reiniciar con una cepa garantizada sin derecho, como las del Institut Pasteur o las de Jacques Falquet en Ginebra en la época en que suministraba cepas. Pero eso no garantiza la reaparición de líneas.

Uno puede preguntarse por qué en la naturaleza generalmente no encontramos líneas rectas (de hecho, hay algunas)? Una posible explicación: las líneas no flotan, o menos, caen al fondo del lago y mueren por falta de oxígeno y luz. Otra posible explicación: las larvas de insectos o rotíferos se alimentan preferentemente de líneas rectas. En cultivos de Koudougou (Burkina Faso) y Pahou (Benin), entre otros lugares, se ha observado una desaparición de las líneas al mismo tiempo que una proliferación de larvas, y en Madurai (India) al mismo tiempo que una proliferación de rotíferos.

De ser cierta esta hipótesis, sería un argumento para no poner los estanques en invernaderos, ya que en los invernaderos no hay o hay menos larvas. Pero además, los invernaderos no favorecen las líneas rectas ya que muchas cuencas de invernadero funcionan de año en año sin ser invadidas por líneas rectas (aunque, por supuesto, también hay cuencas de invernadero llenas de líneas rectas). Una agitación demasiado débil expone más las espirales, a causa de su fuerte flotación, a la fotólisis, favoreciendo así indirectamente a las líneas: en otras palabras, las líneas se contentan con una agitación más débil que las espirales; pero una agitación muy eficaz no impedirá que dominen las virulentas derechas, si están presentes en la cultura.

Respecto a las posibles "ventajas" de las líneas rectas: es cierto que algunas tienen la

potencial para crecer más rápido que las espirales, pero esto no se traduce necesariamente en una mayor productividad: la productividad es lógicamente la misma cuando el carbono es el factor limitante en la dieta (suministro de carbono del aire atmosférico solamente). En cambio, las líneas virulentas, es decir, capaces, como en el ejemplo anterior, de invadir por completo un cultivo, permiten una producción mayor, incluso muy significativa, si se alimentan con carbón artificial (CO₂, bicarbonato de sodio)... a condición de ser capaz de filtrarlos y exprimirlos, lo cual no está garantizado de ninguna manera, hemos tenido la triste experiencia de esto.

Esta es una oportunidad para recordar la desventura que vivimos en la empresa Imade (Motril, España), que había seleccionado laboriosamente una cepa de espirulina (línea corta) particularmente virulenta, que recibió el nombre de M1 y una amplia publicidad en la prensa local; crecía tan rápido que las larvas, por muy abundantes que fueran, no podían consumirlas todas, por lo que la concentración de espirulina era muy alta. Esta cepa resultó ser incosechable e ineludible por nuestros métodos, y tuvo que ser abandonada... Quienes conocíamos este triste asunto esperábamos que la desaparición de la M1 fuera total y quedamos marcados por la fobia a los derechos. ¿Estarían equivocados? No debemos ser sectarios: ¿quién sabe si una tecnología algo "high tech" no permitirá algún día cosechar y escurrir correctamente "M1"? La cosechadora mecánica de tambor rotativo de Robert Nogier (Saint Paulet de Caisson, Gard) es un paso en la dirección correcta, aunque todavía insuficiente. Los filtros vibratorios, tanto para cosecha como para desaguado (vacío), son sin duda una solución.

[Un cultivador español continuaría usando esta variedad M1, seguramente haciendo todo lo posible].

Nos parece preferible conservar unas condiciones fáciles de recolección con los habituales pequeños medios artesanales. Por otro lado, la biomasa de las líneas rectas es a menudo demasiado difícil o imposible de exprimir mediante un simple prensado y luego debe lavarse y escurrirse antes del secado, y este secado debe realizarse a menudo solo por el método "indio" descrito en el capítulo secado. (extender en capa fina sobre film plástico). Se facilita la filtración y el prensado de los derechos mezclándolos con un 20% de espirales o Paracas; Philippe Calamand recolectó líneas rectas aplicando una capa previa de Paracas en su filtro antes de filtrar las líneas rectas.

Debemos relatar aquí una experiencia durante una operación de eliminación de chlorella: la biomasa recolectada de la cuenca contaminada (a pH > 10) se lavó con medio nuevo (a pH 8,2) y se volvió a sembrar inmediatamente en este medio, pero el choque de pH fue demasiado fuerte y la nueva cultura murió un día después. Sin embargo, algunos filamentos sobrevivieron a este tratamiento de choque y la cultura comenzó de nuevo, pero, y esto es interesante notarlo, absolutamente sin línea. El cultivo de partida fue un Paracas que contenía 0,5% puro (no virulento) aparentemente más sensible al choque de pH.

¡En este viejo asunto de los derechos, debemos permanecer muy humildes y reconocer que nuestra ignorancia es todavía grande!

Cabe señalar dos desventajas adicionales de las líneas rectas:

- su biomasa fresca es difícil de consumir porque se presenta como un

una masa un poco viscosa y fibrosa en lugar del agradable "queso" normal fácil de cortar y untar.

- debe comprobarse que las líneas sean efectivamente *Arthrospira* y no cianobacterias extrañas como la *Oscillatoria* potencialmente tóxica.

B) Extranjero

Mientras la espirulina esté creciendo activamente, mientras esté bien nutrida, cosechada, agitada y con un pH > 9,5, de un hermoso color verde oscuro y el medio se purgue o purifique con regularidad, ninguna especie de microalga competidora suele dejar de invadir el estanque. Sin embargo, una cianobacteria filamentosa recta es prácticamente endémica en los estanques de espirulina; probablemente sea un *Phormidium* cuyo diámetro es menor que el de *Arthrospira*. Este organismo no muestra toxicidad en la prueba de artemia, generalmente vive en conglomerados o esteras no flotantes. Su lugar favorito es el lodo en el fondo de las cuencas, pero busca la luz y voluntariamente coloniza las aspas de las ruedas hidráulicas y los bordes de las cuencas en el límite aire/agua (o las paredes de los acuarios). Obviamente consume insumos.

La aparición de *Chlorella* (alga verde unicelular comestible) a finales de invierno en la zona templada es bastante frecuente, pudiendo no ser visible al principio.

Es prudente hacer examinar una muestra de cultivo (una o dos veces al año, por ejemplo) en un laboratorio equipado con un buen microscopio binocular de contraste de fase, y entrenado para reconocer lo que no es *Arthrospira*: puede ser *Chlorella* simple u *Oocystis* (gran *Chlorella*), pero también cianobacterias tóxicas como *Oscillatoria agardhii* (se asemeja a una espirulina recta pero de doble longitud celular), *Oscillatoria rubescens* u *Oscillatoria nigri-viridis* (se asemeja a la espirulina recta pero con un diámetro y una longitud celular claramente mayores y un color diferente), *Anabaena flos-aquae* (se asemeja a una espirulina recta pero con hendiduras en las paredes entre las células), *Anabaenopsis arnoldii* (se asemeja a una espirulina en espiral pero con heterocistos, hinchazones que le permiten fijar nitrógeno) o *Microcystis aeruginosa* (consulte el [Apéndice A 22](#) para comparar la espirulina con estas algas). *Artemia*, no tóxico y demasiado pequeño para permanecer en la biomasa prensada, se puede ver con un microscopio ordinario, posiblemente después de teñir la muestra con tinta china. Si el alga contaminante es eucariota (células con un núcleo diferenciado), se trata de un alga verde o parda, que generalmente no son tóxicas. Un ojo entrenado puede distinguir fácilmente los principales *Oscillatoria* tóxicos de la espirulina pura.

R. Fox propuso una **prueba de toxicidad biológica simple**: si las larvas de camarones de salmuera jóvenes no mueren después de más de 6 horas en contacto con un extracto de cultivo de cianobacterias, esto no sería tóxico. Para tener larvas de artemia (nauplius en términos científicos), basta con remojar sus huevos (que en términos científicos se llaman quistes, y que se venden en tiendas de acuariofilia y se pueden guardar en el frigorífico) durante dos días en agua salada a 30 g/l a temperatura ordinaria. Ponemos alrededor del 10 al 30% del cultivo de espirulina para ser probado en el cultivo de larvas de camarones en salmuera, en un recipiente transparente delgado por

ejemplo un "mini-acuario" hecho con dos portaobjetos de microscopio. Previamente es necesario lisar (romper la membrana) de las microalgas a ensayar porque las posibles toxinas están sobre todo en el interior (R.Fox verificó que las toxinas de una *Oscillatoria* tóxica salían lo suficiente aún sin romper la membrana, pero para más seguridad es mejor romperla). Para romper las membranas, el medio normal es la sonicación con ultrasonido, pero de lo contrario, puede hervir una suspensión de microalgas durante uno o dos minutos o congelar/descongelar espirulina fresca varias veces). Recientemente encontramos en el mercado mini-acuarios de 10 cm x 15 cm para los cuales se escribió la siguiente breve descripción:



Se dispone de un proveedor de **mini-acuarios** para realizar ensayos de toxicidad de artemia, en vidrio siliconado de 15 x 10 cm.

El espacio entre tablas es de dos milímetros (si es necesario, se puede colocar horizontalmente sin que salga el agua). El precio es de 5€ por unidad (sin el soporte) pero el proveedor no se hace cargo del envío.

Aquí están los datos de contacto del proveedor (cerca de Angers):



Prueba de guía de "mejores prácticas" para realizar una prueba de toxicidad de camarones en salmuera:

- Incubar los quistes (huevos) de camarones en salmuera en agua salada a 30 g/litro, a temperatura normal y lejos de la luz solar directa; tarda unos 3 días de incubación (más rápido a 25°C que a 20°C). Algunos quistes tardan en eclosionar o no eclosionan; tenga en cuenta que los quistes en eclosión flotan y los individuos muertos ya no flotan. [Las nacedoras aireadas están disponibles comercialmente, como el kit "Artemio" de JBL].
- Preparar un extracto de las cianobacterias a analizar, hirviendo la muestra en agua, durante 1-3 minutos (pero preferiblemente sonicando la muestra suspendida en agua con ultrasonido), luego filtrando a través de un filtro de café o centrífuga y dejar enfriar. Mantenga el extracto fresco hasta que lo use.
- Llene un mini-acuario a una cuarta parte con el extracto enfriado. Es importante que el mini acuario esté bien limpio antes de su uso.
- Agregue el cultivo de camarones en salmuera hasta que tenga una veintena de individuos vivos (use un gotero o una pipeta de punta fina). Los quistes para incubar a menudo se mezclan con las larvas libres: esto explica por qué el número de larvas a veces aumenta al comienzo del experimento.
- Rellenar de la misma forma otro mini-acuario pero sin caldo, que servirá de blanco (porque puede haber alguna mortalidad incluso sin toxinas, sobre todo si la aireación es insuficiente)

- Controle la cantidad de camarones de salmuera vivos a lo largo del tiempo, durante uno o dos días. Como los camarones de salmuera vivos se mueven rápidamente, el conteo es un poco difícil y aproximado, pero lo que importa es la tendencia promedio. Las condiciones de iluminación del mini acuario son importantes para facilitar la lectura.

Incluso con esta prueba avanzada, la prueba de camarones en salmuera no es cuantitativa ni está garantizada.

La presencia de ácido alfa-linolénico en una muestra de espirulina indica contaminación: análisis muy útil, pero insuficiente. Todavía es necesario de vez en cuando dosificar las toxinas. Varios laboratorios ahora están equipados para esto en Francia, a precios asequibles. Pero una buena observación microscópica puede mostrar que no es necesario un análisis.

En caso de infestación por chlorella, una microalga verde unicelular no tóxica (por ejemplo, después del uso de agua cruda sin filtrar, y/o cosechas demasiado abundantes, o durante la invernada de la piscina), es necesario eliminar de ellos, de lo contrario, tomarán el control rápidamente si la espirulina continúa siendo cosechada, entonces las cosechas se cancelarán. Para librarse de él, teóricamente podemos intentar jugar con el hecho de que la clorella se deposita en el fondo donde, privada de la luz, morirá: pero este método sigue siendo difícil de aplicar porque la agitación general de la piscina debe detenerse y sustituida por una agitación muy moderada, en la superficie, pero suficiente para que la propia espirulina no muera por asfixia o fotooxidación (es necesario sombrear); pero las clorellas, debido a su pequeño tamaño, tienden a resuspenderse a la menor agitación, haciendo que este método sea inaplicable en la práctica. Por otro lado, se puede jugar fácilmente con el hecho de que la chlorella, al ser muy pequeña, pasa a través del filtro: por lo tanto, es posible recuperar la espirulina cosechándola y lavando la biomasa con una solución isotónica (por ejemplo, de un medio nuevo), luego vuelva a sembrar después de una limpieza cuidadosa de la cuenca; este método ha demostrado ser adecuado si ~~se practica el caso de Cláudio Lelièvre en 2005 y de Etienne Boileau en 2006~~, pero se debe tener cuidado de no exponer la espirulina a un choque de pH demasiado grande en el practicante (un pH diferencia de 2 puede ser fatal, ver párrafo siguiente).

La eliminación de la chlorella del filtrado puede, teóricamente, hacerse por varios medios: refiltración a través de un filtro más fino (filtro de arena por ejemplo), esterilización por UV o ultrasonidos. Cabe señalar que una prueba de destrucción de Chlorella a pH 13,5 a 21°C (adición de 8 g de hidróxido de sodio por litro) resultó negativa a corto plazo pero obviamente positiva después de algunos días, y asimismo una prueba a pH 12

Debemos relatar aquí una experiencia durante una operación de eliminación de Chlorella: la biomasa recolectada de la cuenca contaminada (a pH > 10) se lavó con medio nuevo (a pH 8,2) y se volvió a sembrar inmediatamente en este medio, pero el choque de pH fue demasiado fuerte y la nueva cultura murió un día después. Sin embargo, algunos filamentos sobrevivieron a este tratamiento de choque y la cultura comenzó de nuevo, pero, y esto es interesante notarlo, absolutamente sin línea. El cultivo de partida fue un Paracas que contenía 0,5% de líneas rectas (no virulento). *Por lo tanto, las líneas rectas serían más sensibles al choque de pH, al menos este tipo de línea recta.*

En abril de 2007, en la cuenca Etienne Boileau de Montpellier, se probó con éxito otro método de eliminación de la chlorella: el

la concentración de espirulina en agitación se redujo a unos 0,8 g/l y esto hasta que se asfixiaron las clorelas, que acabaron desapareciendo en pocos días.

Tratamientos repetidos con 17 ppm de amoníaco evitarían la proliferación de chlorella en un cultivo de espirulina según Vonshak (ver Bibliografía Vonshak 1997, página 91); la misma referencia indica otros medios para prevenir, en la mayoría de los casos, la contaminación por chlorella: trabajar a una alcalinidad elevada (0,2), con un ambiente límpido ya una temperatura elevada. Estas medidas no surtieron efecto en Cédric Lelièvre, pero por otro lado la filtración fina del agua de su suministro (agua superficial) fue positiva para evitar la reaparición de la chlorella.

Finalmente, los rotíferos pueden prevenir la invasión de un cultivo de espirulina por chlorella (ver el artículo de Mitchell y Richmond a continuación de 1986):

El uso de rotíferos para el mantenimiento de cultivos masivos de monoalgas de *espirulina*

S. A. Mitchell ¹, A. Richmond ²

1Departamento de Botánica, UOFS, PO Box 339, Bloemfontein 9300, Sudáfrica

2Laboratorio de Biotecnología de Microalgas, Instituto de Investigación del Desierto, Universidad Ben Gurion, Sede Boqer 84990, Israel

RESUMEN

*El zooplancton se utilizó con éxito para el control biológico de contaminantes de algas unicelulares en cultivos masivos de espirulina incluso en condiciones adversas para el crecimiento de la espirulina (temperatura máxima diaria en invierno de aproximadamente 10 °C y concentración de bicarbonato muy baja). *Brachionus plicatilis* (Rotífera) fue la especie de zooplancton utilizada con mayor éxito. Se estudiaron las interrelaciones entre *Spirulina*, contaminante verde unicelular, y *B. plicatilis* bajo diversas condiciones. Se utilizaron dos especies de contaminantes unicelulares; *Monoraphidium minutum* se aisló de cultivos locales y *Chlorella vulgaris*, se obtuvo de cultivos de espirulina contaminados en Israel. El rotífero *B.**

*Plicatilis controló con éxito el tamaño de la población de ambos contaminantes, ya sea que se introdujeran en una sola adición o como una dosis diaria. El control biológico de los contaminantes unicelulares permite cultivar *Spirulina* en un medio bajo en bicarbonato, reduciendo así el costo del medio y aumentando la cantidad de CO₂ que se puede absorber libremente de la atmósfera al pH óptimo para el cultivo de *Spirulina*.*

La presencia de navículas, diatomeas (algas unicelulares que contienen sílice) pardas en forma de lanzadera, es bastante frecuente en cultivos de espirulina que contienen suficientes iones de silicato: la adición de 50 a 100 ppm de cloruro de calcio la combate eficazmente al reducir la concentración de silicato soluble, porque el silicato de calcio es insoluble.

Parece prudente vaciar completamente o esterilizar los lavabos de tiempo

en el tiempo (por ejemplo cada 2 años), y reiniciar el cultivo a partir de una cepa de calidad garantizada (monoclonal) para evitar los riesgos de una posible "deriva" genética de la cepa cultivada. Sin embargo, esta recomendación sigue siendo algo teórica, y probablemente inútil: la gran similitud genética de *Arthrospira* sugiere que uno puede confiar en simples criterios "técnicos" (filtrabilidad, resistencia, apariencia, etc.) para estimar si existe en lugar de renovar la cepa [dictamen transmitido por Jacques Falquet, Antenna Technologies el 25/02/2003].

7.13) Contaminación por microorganismos

En el medio de cultivo, al pH alto (> 9,5) en el que trabajamos, la mayoría de los microbios peligrosos para los humanos normalmente se inactivan en dos días.

Tenga cuidado con los cultivos a pH < 9,5 (cultivos jóvenes a base de bicarbonato de sodio o inyección demasiado fuerte de CO₂), que pueden no beneficiarse de este efecto protector.

Se ha informado del riesgo de que ciertos microbios patógenos introducidos en los cultivos de espirulina (probablemente como resultado de la mala observancia de las normas de higiene) se vuelvan resistentes al pH alto, este riesgo puede aumentar si se utiliza azúcar como aporte de carbono; pero nunca se confirmó. También se ha informado de la existencia de microbios o parásitos africanos que pueden ser resistentes al pH alto: aquí nuevamente, no se han observado casos reales si se siguen las normas normales de higiene.

Una agitación insuficiente (un caso todavía demasiado frecuente) corre el riesgo de provocar áreas de anaerobiosis y la proliferación de microorganismos anaerobios sulfitorreductores, cuyo estándar máximo es de 100 por gramo (al menos en Francia) y de *Clostridium perfringens*.

Los cultivos también contienen bacterias biodegradables adaptadas al medio de cultivo y que juegan un papel beneficioso, junto con el zooplancton, al purificar el medio y reciclar los nutrientes, al mismo tiempo que ayudan a eliminar el oxígeno y aportan dióxido de carbono. La proliferación de estas buenas bacterias requiere una concentración suficiente de hierro (preferiblemente quelado), por ejemplo 0,5 ppm, y un pH inferior a 10,8.

Los gérmenes de moho están siempre presentes en los cultivos porque los mohos aparecen regularmente en el baño que se deja mucho tiempo sin agitar (como en la superficie de las mermeladas artesanales), y el análisis bacteriológico detecta comúnmente de 5 a 500 colonias/g, sin que no estándar se ha impuesto en la mayoría de los países.

El uso de azúcar como aporte de carbón, así como el hecho de no recolectar durante mucho tiempo, provocan un aumento en el cultivo del número de **microorganismos filamentosos aparentemente incoloros**, que interfieren en la filtración pero que prácticamente no se encuentran en el producto terminado . (Nota: estos filamentos aparentemente incoloros parecen provenir de los **lodos** donde están presentes en grandes cantidades). Ahora sabemos que es una cianobacteria, un *Phormidium* o *Jaaginéma*.

El análisis de verificación bacteriológica debe realizarse en el producto terminado de

de vez en cuando (¿una o dos veces al año?). Debido al riesgo de contaminación posterior a la cosecha, puede ser necesaria la pasteurización del producto terminado, pero debe evitarse en la medida de lo posible.

Tenga en cuenta: en algunos países, el agua utilizada para limpiar, enjuagar, etc. puede estar contaminado, esto puede ser una fuente de contaminación para el producto cosechado. En este caso, se sugiere el uso sistemático de lejía para toda la limpieza, con aclarado final con agua clorada (mínimo 1 ppm de cloro activo libre: ver § siguiente; es decir, aproximadamente 1 gota de lejía (vendida por litro, 2,8% de cloro activo) en un litro de agua de aclarado).

Es tranquilizador saber que los microbios desaparecen en dos meses de almacenamiento de espirulina bien seca y bien empaquetada.

7.14) Envenenamiento químico

Los detergentes y azúcares no son tóxicos a 100 ppm.

Un gran exceso de urea o amoníaco provoca la muerte de la espirulina, tornándose el medio de cultivo "lechoso", con espuma amarilla o verdosa y abundante lodo; pero en general hay suficiente espirulina sobreviviente (de lo contrario, puede volver a sembrar) para regenerar el cultivo espontáneamente en unos diez días si toma la precaución de sombrear.

En una serie de experimentos, se encontró que una dosis de 8 ppm de cloro activo proporcionado por la lejía (hipoclorito de sodio) mata la espirulina en su medio de cultivo a pH < 9, pero que resiste 4 ppm; a pH 10,6 resistieron una dosis de 12 ppm (pero el efecto del cloro varía según la demanda de cloro del medio). Las dosis de alguicidas generalmente recomendadas para aguas con pH neutro están entre 0,5 y 1 mg de cloro activo por litro.

Nota: la lejía comercial concentrada en cartones tiene un 11% de cloro activo, la lejía común vendida por litro tiene un 2,8%. Debes saber que el poder alguicida del hipoclorito es mucho más fuerte a pH bajo que a pH alto. El tiosulfato ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, pm = 158) se puede utilizar para neutralizar el cloro activo: teóricamente se necesitan 4,5 g de tiosulfato por g de cloro activo, dependiendo de la reacción: $2 \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{Cl}_2 = 2 \text{NaCl} + \text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$ (ditionato)

El tiosulfato a menudo se vende como pentahidrato (ww = 248), en cuyo caso se necesitan 7 g/g. Se recomienda utilizar un exceso de tiosulfato, por precaución.

7.15) Falta de oxígeno (hipoxia)

Si el oxígeno puede considerarse un veneno para la espirulina cuando se encuentra en fuerte sobresaturación durante la fotosíntesis activa, no es así en ausencia de luz ya que la espirulina necesita entonces oxígeno para respirar, al igual que otros microorganismos aeróbicos presentes. El contenido de oxígeno del medio de cultivo en equilibrio con el aire atmosférico viene dado por la siguiente fórmula aproximada: $\text{mg/l ppm de oxígeno} = 0,616 \times (\text{presión atmosférica en mmHg}) \times (1 - 0,0009 \times \text{altitud en m.}) / (31,64 + \text{T}^\circ\text{C}) - 0,035 \times (\text{salinidad en g/l})$, o por ejemplo 8 ppm a 25°C.

En el punto máximo del período de fotosíntesis activa, el contenido de oxígeno del medio de cultivo puede superar con creces la saturación y aumentar a más de 30 ppm. Pero la respiración de la espirulina consume 1,2 g de oxígeno por cada g de espirulina "quemada", es decir fácilmente 3 g de oxígeno/m²/noche, y el oxígeno también es consumido por otros microorganismos, sobre todo si el medio contiene azúcar y otros productos biodegradables; de esta manera el nivel de oxígeno en el medio cae rápidamente después del cese de la fotosíntesis, especialmente si la concentración de espirulina es alta. Como ha demostrado Jacques Falquet, la anoxia se alcanza fácilmente en presencia de 100 ppm de azúcar, incluso removiendo por la noche. El oxígeno del aire se disuelve en el medio tan pronto como está por debajo de su concentración de equilibrio, pero este efecto es insignificante si no hay agitación. La absorción de oxígeno del aire se evalúa, en g/hora/m², mediante la fórmula muy aproximada extraída del experimento de piscicultura = 0,3 x (poder de agitación, W/m²) x (concentración en oxígeno en equilibrio – concentración actual, en ppm), o por ejemplo para una piscina con agitación continua de 1 W/m² y que contiene 200 l/m² a 5 ppm de oxígeno: 11 g de oxígeno/m²/noche. Por tanto, no es de extrañar que el fondo de una piscina que no ha sido agitada durante la noche carezca de oxígeno y que los lodos sufran una fermentación anaerobia con formación de burbujas de gas insoluble (metano) que hagan que los lodos suban a la superficie. Para combatir esta situación, se puede agitar el depósito de lodos con una escoba y mantener la agitación del cultivo por la noche, pero lo más eficaz es retirar periódicamente los lodos sobrantes del fondo de la balsa. Este lodo se elimina transfiriendo el cultivo a otro recipiente o aspirando el fondo con una bomba o un sifón. Existe una aspiradora de lodos comercial, pero se puede hacer una muy fácilmente con una bomba de acuario conectada al extremo del mango de una escoba. La mezcla de lodos y medio de cultivo extraído se puede recolectar en un recipiente para decantar los lodos y reciclar la mayoría. del medio de cultivo.

La espirulina no parece sufrir de anoxia durante unas pocas horas por noche. Amos Richmond demostró que la respiración era muy débil en cultivos muy concentrados, por lo tanto en capas flotantes. Sabemos que podemos mantener viva una cultura dándole solo una pequeña burbuja de aire durante la noche, permitiéndole solo una respiración mínima. También sabemos que en los primeros días de la existencia de la espirulina en la tierra, todavía no había oxígeno en la atmósfera y, sin embargo, la espirulina cruzó victoriosa esta era: es probable que el oxígeno que producían durante el día todavía tuviera rastros de ellos. , disueltos en su entorno de vida, suficientes rastros por la noche para sobrevivir.

7.16) Enfermedades

Ocurre, muy raramente, que la espirulina presente deformaciones, o una ampolla, o bien excreciones amarillentas en un extremo o en un lado de los filamentos, sugiriendo un estallido de la pared con efusión del contenido de las células (la llamada espirulina eviscerada). "). Es posible que esto se deba a un ataque de virus cianófagos. En la práctica, estas anomalías desaparecen por sí solas tras unos días de marcha en condiciones normales; raramente resulta en la muerte de la cultura.

Fotos de espirulina "despojada" vistas al microscopio, Escuela de Agricultura Don Bosco



en Linares (Chile), 1998:

Mantener la espirulina encendida las 24 horas del día produce filamentos irregulares y deformados. La espirulina necesita al menos 8 horas por la noche.

7.17) Metales pesados

La espirulina absorbe muy fácilmente los metales pesados presentes en el medio de cultivo. Algunos son tóxicos para los humanos (mercurio, plomo, cadmio). En el [Apéndice 17](#) encontrará los niveles máximos de metales pesados autorizados en Francia en la espirulina.

7.18) Limpieza de piscinas

Es una buena idea limpiar los estanques cada 3 meses o antes de que el lodo del fondo sea lo suficientemente espeso para fermentar y formar lodo flotante.

De hecho, es mejor eliminar al menos parcialmente los lodos, de vez en cuando, por succión en el fondo y decantarlos en un tanque separado: esta práctica, junto con mantener la aireación nocturna (por agitación), un pH moderado (< 10,5) y el cuidadoso cepillado diario de los costados, parte inferior y pliegues de la pelvis, favorece la autodepuración del ambiente. El cepillado solo, sin eliminar el lodo, es menos efectivo y puede hacer que el lodo se eleve. Para ser eficaz, el cepillado debe ser obligatoriamente diario (incluso los domingos) y completo, y comenzar desde el inicio del cultivo; es por tanto una pena mayor que muchos no aceptan.

El mejor método para la limpieza completa (por ejemplo, anual) de un estanque es transferir temporalmente la mayor parte del contenido del estanque a un estanque cercano, luego drenar el lodo y cepillar los bordes y el fondo, enjuagando.

Preste atención a las esquinas (pliegues de la película de plástico en las esquinas). A menudo hay un depósito blanco incrustado en la película, se trata de un depósito mineral que se puede eliminar cepillando con un cepillo rígido cuando se realiza la limpieza de esterilizar al mismo tiempo (se utiliza especialmente durante los cambios de tensión).

7.19) Purificación del medio de cultivo

Después de 2 a 6 meses de cultivo (dependiendo del nivel de productividad y cuidados de limpieza), sin purgar, el medio de cultivo, nuevo y perfectamente claro al principio, se vuelve más o menos turbio y de color amarillo-marrón, la tasa de filtración desciende y el prensado de la biomasa se vuelve difícil. La práctica de purgas periódicas o la sustitución total del medio resuelve este problema pero esto puede perturbar el medio ambiente y costar demasiado en productos.

La experiencia ha demostrado que un ambiente "gastado" puede ser parcialmente regenerado por simple decantación en un recipiente profundo, no agitado, por un tiempo variable dependiendo del grado de purificación deseado. Es probable que parte de la EPS

se biodegrada durante esta operación, pero una parte se deposita en el fondo, en forma de un depósito más o menos coloreado que puede ser enviado al compost.

Es posible obtener una turbidez baja de esta manera (Secchi negro de más de 30 cm), por otro lado quedan productos orgánicos disueltos (la prueba de filtración sobre 400 g sigue siendo buena = 330 g filtrados en un minuto por ejemplo) .

Antes de reutilizar el medio purificado, es conveniente airearlo para eliminar las bacterias anaerobias presentes en el fondo del decantador.

Si el medio enviado a la balsa de depuración contiene espirulina, no importa: podemos recuperar la capa flotante. Esto incluso puede ser una forma complementaria de reducir el porcentaje de espirulina o clorella pura no flotante.

Pero hay algo mejor que un simple decantado: la filtración sobre filtro de arena (por ejemplo piscina o riego por goteo), que elimina la mayoría de las microalgas.

Y aún mejor: el medio decantado y/o filtrado con arena puede someterse a una oxidación biológica en ausencia de luz, con inyección de aire (no es necesaria la inoculación con bacterias especiales, basta con bacterias ambientales, siempre que el pH sea moderado, preferiblemente inferior a 10,5, y que el medio sea suficientemente rico en nutrientes para el crecimiento de los microorganismos depurativos), seguido de una nueva decantación o filtración para eliminar los residuos ("lodos activados").

Por estos medios, es posible reducir la carga orgánica (DQO o DBO) y la coloración del medio purificado lo suficiente como para que su reciclado permita no necesitar nunca renovar el medio de cultivo; esto se ha practicado en la granja de espirulina BIORIGIN en Ecuador durante unos diez años (ver publicación en el Coloquio de Embiez 2004).

Nótese la posibilidad de una purificación química rápida y sencilla del medio de cultivo utilizado, por ejemplo mediante la adición de lejía (alrededor del 5 % de lejía al 2,6 % de cloro activo) que esteriliza y purifica completamente el medio en pocos minutos, pero requiere la neutralización del exceso de cloro activo añadiendo tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$) a razón de 5 g/litro antes de reciclar. Sin embargo, no se puede recomendar la oxidación química con lejía, ni con permanganato de potasio, ni con peróxido de hidrógeno hasta que se haya comprobado que no induce la aparición de compuestos potencialmente peligrosos para el consumidor.

La oxidación con aire ozonizado es muy eficaz y no produciría compuestos peligrosos, pero es necesario disponer de un ozonizador y además la disolución del ozono en el medio de cultivo a tratar no es tan fácil.

La purificación por oxidación de la carga orgánica, posiblemente seguida de exposición al aire, reduce el pH del medio de cultivo, hasta alrededor de 10.

Otra forma de purificación y reciclaje ciertamente funciona, pero deberá verificarse antes de usarla. Consistiría en dejar evaporar a sequedad el medio gastado en "natrón artificial", luego en calcinar este último a alta temperatura.

temperatura (¿800°C?) en presencia de aire para obtener cenizas blancas que contienen carbonato de sodio y sal (además de restos de otros minerales).

Una ventaja adicional de la depuración de los filtrados antes de su reciclado es la desaparición de la espirulina pequeña que pasa a través de las telas filtrantes (su reciclado directo conduce a un enriquecimiento más o menos rápido del cultivo en espirulina pequeña).

En 2013 se propusieron otros dos métodos de purificación: la adición de arcilla blanda a razón de 10 gramos/m²/semana (principalmente elimina proteínas), o el desnatado con esterilización simultánea con lámpara UV. Intentos de aclaración.

7.20) Muerte súbita de cultivos Muchos

casos de muerte más o menos súbita de estanques (especialmente en Paracas) se reportan incluso en verano, sin que aún se conozca con certeza el origen de la enfermedad. La hipótesis de un virus cianófago no está probada. La hipótesis de la fotólisis parece probable, incluso en verano en el sur de Francia: es necesario admitir una fotosensibilidad muy fuerte de la cepa al frío (incluso a 20°C) y quizás también a temperaturas muy altas.

Philippe Calamand recomienda como remedio añadir amoníaco a la dosis de 1 litro al 13% por 10 m³ de medio si el problema se detecta a tiempo, dosis que puede triplicarse si el caso es grave. Jeff Thévenet recomienda tratar con arcilla a razón de 1 gramo/litro tan pronto como aparezcan los síntomas.

La búsqueda de causas continúa; en el estado actual de la investigación, estamos tentados de culpar a la mala calidad del medio ambiente. El agua pura y el aire puro parecen necesarios para el buen funcionamiento de la espirulina; hay que evitar los vecinos no ecológicos, las ciudades, las industrias, las carreteras. Tenemos derecho a hacer una correlación entre los problemas de muchos cultivos de espirulina ubicados en zonas vitivinícolas (ralentización del crecimiento, muerte de estanques, etc.) y la virulencia del mildiú, que obliga a los viticultores a tratar con productos energéticos.

Puede haber varias causas. La contaminación por un virus cianófago es uno de ellos (en estudio).

Otra hipótesis adelantada, pero que parece improbable, es la invasión del cultivo por una cianobacteria competidora en finos filamentos rectos que probablemente sea *Phormidium*, que puede ralentizar el crecimiento de la espirulina e incluso provocar su muerte si su concentración es muy alta. Esta cianobacteria originaria de los lodos (de la que se alimenta en heterotrofia sin duda), es necesario cazar los lodos para evitarla. Otra sugerencia, más fácil de implementar: trabajar con una cepa mixta y una alta concentración de espirulina (que va de la mano con una reducción en la profundidad de cultivo): esto promoverá el dominio de al menos uno de los tipos de espirulina en extranjeros. cianobacterias, y además protegeremos mejor contra la fotólisis.

Una observación: la contaminación de un cultivo es tanto más probable cuanto que la superficie de cultivo es grande, que se distribuye en una sola cuenca o entre un gran número intercambiando entre ellos el stock. Puede ser necesario adoptar las buenas prácticas de las grandes granjas de espirulina, a saber: - Iniciar un grupo solo a partir de una cepa pura, obtenida a su vez de un solo

filamento en un medio estéril y axénico, tomando las precauciones draconianas habituales en los laboratorios biológicos. ¡Significa renunciar a la resiembra fácil e instantánea de un vecino complaciente!

- No admitir a ningún visitante o empleado a la finca que no esté vestido de pies a cabeza con la ropa de protección requerida y que no haya pasado por un pediluvio esterilizante...

8. COSECHA

Es mejor cosechar por la mañana porque el contenido de proteínas de la espirulina es generalmente más alto que por la tarde, pero también por otras razones: calor excesivo después, necesidad de poner la cosecha a secar lo antes posible (especialmente en caso de secado solar si no se garantiza el buen tiempo por la tarde). Se desaconseja encarecidamente la filtración a pleno sol porque la biomasa en los bordes del filtro rápidamente se vuelve marrón y ensucia la tela de filtración. Con tiempo nublado, esta obligación de cosechar temprano en la mañana es obviamente menos imperativa, y con buen tiempo siempre se puede sombrear el filtro. Independientemente del clima, si opera al aire libre, debe cubrir el filtro para evitar que la biomasa recolectada se degrade y se ensucie.

Cuando sea posible, es muy ventajoso instalar una estación de recolección protegida del sol y el polvo, preferiblemente en un edificio. Este es el caso general de las filtraciones sobre filtros automáticos Rampelt.

8.1) Filtración

La recolección consiste en filtrar parte del cultivo a través de una tela fina (malla de 25 a 50 μ), reciclando el filtrado en la balsa, directamente o, mejor, mediante un sistema de depuración (filtro de arena, decantación, oxidación biológica o desnatado). El cultivo se envía al filtro a través de un tamiz de malla de 300 μ destinado a interceptar cuerpos extraños como insectos, larvas, hojas, lodos o grumos de espirulina. Puede ser necesario un tamiz de malla más fina para detener cualquier rotífero (la abertura de la malla se elige para no detener demasiada espirulina).

La tela del filtro se puede colocar simplemente en un tamiz grande con bordes de 10 cm de altura o en un colador grande, pero se puede preferir una bolsa o un tubo (ver el [final](#) de este §). Los marcos de serigrafía (lienzo muy estirado sobre un marco, como la piel de un tambor) también se pueden utilizar como filtros, pero son demasiado caros y frágiles, sin ofrecer ninguna ventaja decisiva. Es útil, pero no obligatorio, que la tela de filtración esté estirada plana (en el caso de una bolsa, es el peso del líquido lo que estira la tela, de lo contrario, se levanta con la mano un borde de la tela si es posible).) para facilitar su desatasco con una pala de borde recto y también para recoger la biomasa si se pega. En el caso de la filtración por tubo, no destapamos.

Se puede bombear el cultivo (bomba de un tipo que no rompa la espirulina! comprobar al microscopio), o sifonarlo o dejarlo fluir por gravedad si el filtro está por debajo del nivel de la cubeta; para la cosecha manual se utilizan tinajas de lados preferiblemente rectos; en cualquier caso, se debe tener cuidado de no remover demasiado el fondo de la cubeta, para no suspender los lodos del fondo durante el muestreo. Aunque el tamiz detiene los lodos más visibles, casi siempre las partículas finas son absorbidas por la espirulina cosechada: se depositan en el tejido, especialmente en el lugar de llegada del cultivo a filtrar (si hay muchos, la lona, especialmente la de malla fina, se obstruye con bastante rapidez volviéndose marrón y puede ser necesario limpiarla con un chorro de agua durante la cosecha). La filtración se facilita, cuando se ha formado una capa de biomasa sobre la lona, raspando la lona para

desatascar: para ello se utiliza una pala de plástico y te conviene, cuando la filtración sea lenta, sacar el contenido de la pala y ponerlo a escurrir aparte.

Para producciones que ya son un poco grandes, es recomendable utilizar una bomba de alto caudal, como una bomba de bodega (al menos con el tocón corrugado o tipo "Paracas" que es poco sensible a la rotura por bomba), colocando el tamiz en la aspiración o en la descarga, y mediante el envío de un chorro tangencial sobre el tejido horizontal, que desobstruye automáticamente este tejido. También puede colocar una placa de acero inoxidable o una pala de plástico sobre la tela de filtración para que el chorro quede horizontal.

Después de detener el envío de cultivo sobre el filtro (evitar que la concentración de espirulina baje de 0,4 g/litro), se deja escurrir, luego se recolecta la pasta verde obtenida, denominada "biomasa". La biomasa de espirulina con un contenido inferior al 75% de espirulina pura y procedente de un cultivo en buen estado, con un pH y un contenido en amonio no demasiado elevado, se filtra fácilmente y se escurre fácilmente mediante prensado. A veces, la biomasa drenada en el filtro se recoge fácilmente haciéndola rodar sobre sí misma para formar una bola (como una bola de nieve) o un cilindro; esta biomasa no se pega al plástico. Otros tipos de biomasa no forman una bola y se adhieren al plástico, pero se pueden escurrir fácilmente. Por el contrario, las biomasas demasiado ricas en líneas rectas, o provenientes de un cultivo "viejo" o "cansado" debido a demasiado sol o crecimiento demasiado rápido, o demasiado ricas en materia orgánica disuelta (incluidos los azúcares) dan una "crema" pegajosa, que debe recogerse con un cucharón o una pala de plástico y que, en última instancia, no puede escurrirse por presión.

Foto: Una hermosa "bola" (biomasa rica en espirulina espiral tipo Lonar):



También puedes dejar la biomasa en una bolsa colgante para que termine de escurrir. La biomasa drenada contiene del 8 al 12% de materia seca para un medio de cultivo de salinidad habitual.

Como se describe en § 7.9 ([eps](#)), cualquier grumo de espirulina retenido en el tamiz

se puede recuperar

Una tela filtrante de monofilamento de poliamida (Nylon) o poliéster (Tergal) es preferible a una tela de algodón porque facilita el desprendimiento de la biomasa cosechada y luego es más fácil de lavar. Se prefieren las telas de monofilamento que se dice que son para uso industrial, pero es posible arreglárselas con telas de nailon, terileno o seda adecuadamente elegidas (y mucho menos costosas). La vida útil de una tela filtrante de tela sintética será más corta cuanto más tiempo se deje expuesta al sol. Los tejidos acaban pinchándose o desgarrándose. Es posible utilizar una tela (sábana) de algodón siempre que se elija bien y siempre que la biomasa sea de "buena" calidad (no pegajosa) de lo contrario pasa a través de la tela de algodón.

No dudes en lavar los tejidos en la lavadora de vez en cuando para destapar los poros. También puede ser buena idea planchar las sábanas de tejido sintético, con una plancha que no esté demasiado caliente, para eliminar las arrugas que se forman con el tiempo y dificultan la filtración. No abuse de la lejía que acelera el envejecimiento de los tejidos.

La recolección manual de la capa flotante (cuando se forma) utilizando un recipiente con un borde recto es tentadora porque permite obtener un concentrado de espirulina de alrededor de 3 – 6 g/l, por lo tanto con (en relación con el peso seco) aproximadamente diez veces menos de los productos de obstrucción posiblemente se encuentran en el medio, y es rápido. Si se dispone de varias cubetas, es ventajoso colocar el filtro en una cubeta distinta de aquella en la que se recoge la capa flotante, para no perturbarla con el filtrado. Como la espirulina espiral tipo Lonar flota más rápido que las onduladas y las rectas, la capa flotante solo debe recolectarse en el caso de un cultivo 100% espiral o con flotación total, de lo contrario se enriquecería el cultivo con espirulina no flotante (espirulina recta). por ejemplo) que terminaría tomando el relevo de repente: monitorear la evolución del % de las diferentes formas -especialmente líneas rectas- en el cultivo a lo largo del tiempo. Sucede que incluso las líneas onduladas y rectas flotan por completo (esto sucede especialmente en la oscuridad cuando hay poco oxígeno, por ejemplo en un recipiente cerrado o muy mal ventilado, con alrededor de 1 ppm de oxígeno disuelto). Sin duda, sería interesante utilizar el siguiente dispositivo para cosechar espirulina 100% flotante (pero no lo hemos probado): transferir el cultivo a un tanque profundo donde se produciría una flotación total, luego inyectar agua en el fondo para recuperar la capa flotante por Desbordamiento.

Si la flotación no es completa (puede ver esto por la apariencia del medio debajo de la capa flotante), no coseche la capa flotante sola; homogeneice el cultivo antes de la cosecha (deje que el lodo se asiente solo durante 5 minutos) y coseche preferiblemente en la bomba. Para reducir la concentración de líneas rectas o evitar que crezca, se puede recolectar bombeando cerca del fondo, donde hay mayor concentración de líneas rectas.

Hay un caso en el que la capa flotante se puede recolectar sin dudarlo: el de un cultivo de espirulina ondulada (Paracas) que tiende a convertirse en espirales (Lonar) mientras que nosotros preferimos mantener la mayor cantidad ondulada posible. ¡También existe el caso en el que las líneas estarían flotando (señalado en 2011)!

Fotos :

Filtración en un estanque de 6 m² en Mialet, 1998:



Filtración en la Cooperativa Agro-Piscícola de N'dress, Bangui (RCA), 1995 :



Una reducción en el tamaño de la espirulina puede ser causada por una tasa de crecimiento muy rápida o una salinidad o un pH demasiado altos o una luz demasiado alta, o puede provenir de la cepa (en la espirulina en espiral tipo Lonar las vueltas pueden volverse tan cerradas que tocarse unos a otros). En este caso, use un paño de malla fina (25 a 35 micras), de lo contrario, habrá fugas significativas de espirulina a través del paño, especialmente durante el desatascado, lo que resultará en un rendimiento de filtración y una selección deficientes, lo que resultará en el enriquecimiento de la cubeta en espirulina cada vez más pequeña. Una lona de malla fina es adecuada en todos los casos, por lo que es recomendable pero cuesta el doble; es prácticamente imprescindible en el caso de variedades 100% espirales en pleno verano. Cierta porcentaje de recto u ondulado facilita la filtración y puede evitar la necesidad de mallas muy finas.

Puede resultar ventajoso volver a filtrar un filtrado que contenga demasiada espirulina pequeña o residuos de espirulina, a través de un filtro de malla muy fina (5 μ pero preferiblemente de 1 μ , o un

arena), esto para evitar que se acumulen en el cultivo. Esta precaución se aplica tanto a espirales como a líneas rectas.

Para una filtración bastante fácil incluso con líneas rectas, es bueno tener al menos una cuarta parte de formas espirales (u onduladas), preferiblemente grandes. Con espirales al 10% y pH 11, o al 4% y pH 10, la filtración aún es posible pero más difícil. La filtrabilidad se puede evaluar realizando una prueba simple descrita en el Apéndice A6.1. Si toda la espirulina tiene forma recta, la obstrucción es tan rápida que la filtración puede considerarse imposible. Si la biomasa se vuelve habitualmente infiltrable, no dude en cambiar la cepa.

La velocidad de filtración por gravedad varía según el tipo de filtro, la concentración del cultivo y los movimientos impartidos a la tela o a la biomasa a destapar. Una tasa de filtración considerada buena proporciona unos 300 g (de espirulina seca)/hora/m² de superficie filtrante.

Para acelerar la filtración se puede utilizar el vacío que produce una aspiradora doméstica (ver [filtración](#)) o [la presión](#).

Las vibraciones impartidas al filtro aceleran la filtración, lo que se explica fácilmente por el efecto de desobstrucción pero también por las propiedades reológicas del EPS disuelto en el medio de cultivo (la viscosidad disminuye cuando aumenta la velocidad de movimiento).

La filtración a presión se realiza en tubos de tela filtrante, de 5 a 6 cm de diámetro, alimentados por gravedad o por bomba y cerrados con un clip o un nudo. Estos tubos se pueden disponer horizontalmente en el propio lavabo, pero preferiblemente se suspenden verticalmente sobre el lavabo o en la sala de recogida. Una rampa de varios tubos con una longitud de 1 metro es práctica. El tamiz se coloca aguas arriba de la succión de la bomba. Es importante que la presión en el tubo no supere 1 m de columna de agua, de lo contrario la malla del tejido puede aumentar por efecto del exceso de presión y el rendimiento de filtración se verá afectado.

La elección entre filtros planos, bolsas o tubos es una cuestión de gusto personal, pero si la estación de filtración no está protegida de la suciedad (polvo, insectos) se debe preferir el tubo ya que protege la biomasa.

8.2) Lavado y centrifugado (aquí centrifugado y prensado son sinónimos)

Algunos productores quieren neutralizar con agua acidificada y/o lavar su biomasa con agua dulce antes de escurrirla y secarla, a riesgo de perder parte de ella al reventar las células.

Mientras que algunas espirulinas pueden resistir el lavado en agua dulce, otras se decoloran o estallan al contacto y solo se pueden lavar en agua salada o con un medio de cultivo nuevo con la misma salinidad (o más exactamente con la misma fuerza iónica) que la piscina recolectada. En efecto, la espirulina puesta en contacto con un ambiente de salinidad diferente a su ambiente original reacciona casi instantáneamente absorbiendo o perdiendo agua para ponerse en equilibrio osmótico con el ambiente, lo que puede provocar la ruptura de su pared. Los corrugados (Paracas) son más resistentes al estallido que los espirales (Lonar). El lavado también corre el riesgo de provocar una contaminación microbiana: por un lado, si el agua utilizada no es pura, por otro lado, porque la caída del pH hace que la biomasa sea más fermentable durante el almacenamiento o

el secado.

En la finca de Nayalgué (Burkina Faso), desde que se adoptó el lavado sistemático con agua salada a 5 g/litro, se ha observado una clara mejora en la calidad organoléptica del producto seco.

Pero en general se recomienda lavar la biomasa solo si se tiene que cosechar una cosecha sucia o maloliente, o realmente demasiado rica en nitratos, o si la deshidratación es imposible, o incluso para producir biomasa para dietas sin sal a consumir. nuevo. También se debe tener en cuenta que la espirulina lavada con agua dulce tiene un sabor muy suave.

La biomasa procedente de un cultivo en buen estado no necesita ser neutralizada ni lavada, solo exprimida. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que excepcionalmente puede ser necesario enjuagar al menos parcialmente la biomasa para reducir su contenido en nitratos (los nitratos pueden provenir del nitrato introducido como entrada o de la oxidación del exceso de amonio, o del nitrógeno de fijación); normalmente esto no es necesario incluso si el contenido de iones de nitrato del medio es de 1200 ppm como en el nuevo medio de Zarrouk. El enjuague también puede ser útil si hay cianotoxinas presentes en el cultivo. El líquido de enjuague debe tener el mismo pH que el cultivo a filtrar.

El escurrido se puede hacer con un escurridor o sobre un filtro de vacío (bomba de agua o bomba de vacío), pero más simplemente por presión de la siguiente manera: la biomasa escurrida se coloca en una tela del mismo tipo que la utilizada para la filtración, forrada en la por fuera con una lona de algodón fuerte - las dos lonas se doblan sobre la biomasa - y se prensa entre dos esteras o tablas acanaladas: la mayor parte del agua libre se expresa por la presión (0, 2 kg/cm² es suficiente pero se puede llegar hasta 1 kg/cm²). La prensa puede ser solo una pila de pesas, pero una prensa de tornillo superior es conveniente y más limpia, especialmente si está hecha de acero inoxidable, como la que se muestra en la siguiente foto:

Foto: Prensado de biomasa con prensa de zumo de frutas, Mialet, 1998:



:

También puedes usar un gato para auto para ejercer presión o una prensa de queso con palanca y peso. Aumentando la presión lentamente y deteniéndola a tiempo (antes o tan pronto como

el jugo comienza a estar un poco verde), la pérdida de espirulina a través del lienzo se reduce a casi nada; en el caso de biomasa de buena calidad y rica en espirulina en espiral, obtenemos muy buenos resultados (biomasa prensada con una consistencia muy firme) sin tomar muchas precauciones, pero toda la biomasa terminaría atravesando la lona si la presión fuera excesiva. aumentó; en el caso de la biomasa que es más "frágil" o demasiado rica en líneas rectas, el jugo verde fluye más fácilmente, la biomasa prensada es suave y pegajosa y si se presiona demasiado, la espirulina corre el riesgo de reducirse a una papilla demasiado blanda para ser capaz de ser luego extruido. Incluso una biomasa de excelente calidad puede dar una biomasa prensada blanda si la presión ha sido demasiado fuerte o brutal: si se utiliza un gato de coche este peligro es real y se recomienda tener mucho cuidado (un indicador dinamométrico sería útil). Es bueno observar la tasa de flujo del jugo prensado como guía.

El centrifugado/prensado debe realizarse sin demora y sobre todo es necesario evitar que la biomasa sufra el calor durante la espera.

No presione demasiada biomasa al mismo tiempo, incluso si no es "frágil": no cargue más de 8 cm de biomasa por capa (pero es posible superponer varias capas separadas por un espaciador que permita el libre flujo de líquido) . Debajo de la capa inferior, coloque varios espaciadores para facilitar el flujo de jugo. El prensado dura al menos 15 minutos, porque el líquido tarda en recorrer los finísimos intersticios o capilares entre la espirulina comprimida.

Es preferible que el jugo prensado no se recicle a la cuenca, especialmente si está turbio (pero si se dispone de un sistema de purificación, se puede reciclar para la purificación). Presionar grumos verdes siempre da como resultado un jugo "lechoso". Durante el prensado, parte de los exopolisacáridos que recubren la cara exterior de la espirulina se desprenden y van a parar al jugo del prensado, aunque éste no esté turbio ni coloreado (esto se puede comprobar fácilmente realizando la prueba estándar de filtración en medio de cultivo y en el prensado del jugo, dando este último generalmente un resultado menos bueno).

Una espirulina pobre en líneas rectas (menos del 50%), procedente de un cultivo joven, y debidamente escurrida, tiene una consistencia muy firme, no pegajosa y da un corte limpio a cuchillo, y su pH es de 7 a 9 (según el grado de prensado; de hecho, el 9 parece preferible para el secado y la conservación, por lo que no debe pensarse completamente). La espirulina espiral deshidratada suele contener alrededor de un 20% de materia seca (más para las onduladas y aún más para las rectas) si procede de un cultivo con salinidad normal (10-13 g/l) y si no hay lavado o si el lavado se hizo con agua a la misma salinidad (o más bien a la misma "fuerza iónica") que el medio de cultivo. Un medio tipo Zarrouk o agua de lavado con una salinidad de 20 g/l da un % de sequedad aumentado en 5 puntos, agua salada a 30 g/l da un % de sequedad aumentado en 10 puntos (y un sabor más salado), por otro mano, el lavado con agua dulce a menudo dará un % de sequedad reducido en 5 puntos (y con un sabor "suave"). Los medios de cultivo a base de ceniza o bicarbonato potásico dan, a igual salinidad (pero menor fuerza iónica ya que el peso atómico del potasio es mayor que el del sodio), un menor contenido en sequedad. La espirulina ondulada da una biomasa prensada más rica en materia seca (unos 2,5 puntos por encima de las espirales tipo Lonar); sin embargo, su % de sequedad alcanza un máximo del 33% a partir de una salinidad de 44 g/l (en NaCl). Se distinguen claramente seis factores independientes que gobiernan el % de sequedad del producto prensado: la cepa, la forma de los filamentos dentro de la misma cepa, la salinidad del medio de cultivo, la cantidad de biomasa drenada a la vez, la presión aplicada (o vacío, o fuerza centrífuga) y tiempo de prensado.

Si la biomasa es "frágil" o muy rica en líneas rectas, no presione más de 2 cm de espesor inicial y sólo aplique una presión moderada y progresiva (o vacío o fuerza centrífuga) y déjelo actuar más tiempo (por ejemplo, 30 minutos): esto es generalmente eficaz y permite obtener una biomasa extruible.

La ventaja de la deshidratación por vacío o por escurridor es permitir el tratamiento de biomasa escurrida de baja concentración, por ejemplo al 7% de materia seca, casi líquida, mientras que el prensado es difícil o incluso imposible de implementar en este caso allí.

En algunos casos, especialmente cuando hay entre un 90 y un 100 % de líneas rectas, la biomasa no se puede exprimir en una biomasa extruible (los espaguetis, incluso si se pueden formar, se "derriten" al secarse), pero se pueden lavar y luego esparcir. con espátula en capa fina (1 mm) sobre film de polietileno estirado horizontalmente para secado rápido al sol o sobre bandeja de horno con ventilación lateral. Este [método](#) debe usarse con precaución, especialmente si el lavado se realiza con [agua dulce](#): el secado debe ser muy rápido porque la biomasa lavada con agua dulce fermenta rápidamente y se recomienda realizar análisis bacteriológicos más frecuentes en el producto seco así obtenido. . El éxito de este tipo de secado depende en gran medida del grosor de la capa de biomasa extendida: si la distribución no se hace bien, las partes más gruesas se secan mal, adquieren mal olor y no se pueden utilizar para secar alimentos humanos. Este método de secado, al que llamo "método indio" (porque se practicaba ampliamente en el estado de Tamil Nadu, en el sur de la India), también se puede aplicar a la biomasa que se ha prensado adecuadamente pero que permanece demasiado blanda para ser extruida (en este caso, sin lavado, pero posiblemente con una pequeña dilución para facilitar la distribución en una capa delgada). Este método de secado da escamas o copos de espirulina con un aspecto muy atractivo, preferido por algunos consumidores, pero cuya densidad aparente es muy baja. Tiene el inconveniente de que el tendadero (film plástico) es bastante difícil de limpiar cuando ya no es nuevo, mientras que las mosquiteras o rejillas no necesitan limpieza o se pueden lavar al instante con un chorro de agua. Finalmente, las escamas obtenidas por este método tienen una molesta tendencia a cargarse eléctricamente al igual que la película de plástico, que luego se atraen mutuamente.

Cabe señalar que una biomasa prensada "suave", prácticamente imposible de extruir, generalmente sigue siendo buena para consumir fresca.

La biomasa que no se escurre y no se lava con agua, o no lo suficiente, se vuelve marrón rápidamente al sol.

La biomasa deshidratada o prensada debe enfriarse lo antes posible para que no se deteriore. Incluso si debe secarse, lo mejor para usted es ponerlo en el refrigerador mientras espera la extrusión, de lo contrario, se pueden liberar olores desagradables durante la extrusión. Si debe consumirse fresco, le conviene enfriarlo a casi 0°C lo más rápido posible si desea conservarlo el tiempo suficiente (hasta 15 días, por ejemplo, lo que es posible al menos en invierno en Francia) .

En 2009 se descubrió que la biomasa mantenida a 2 – 3°C durante uno o dos días se exprime más fácilmente, y que la biomasa prensada almacenada a esta temperatura durante el mismo tiempo se extruye mejor.

8.3) Herramientas de lavado (ver también [higiene](#))

Nos interesa enjuagar lo antes posible, o al menos poner en remojo, las herramientas, tejidos,

recipientes, instrumentos que hayan estado en contacto con la espirulina; de lo contrario, si la espirulina se seca antes de la limpieza, se vuelve muy difícil de limpiar y puede resultar en un consumo excesivo de agua de lavado. Los paños de filtración y prensado deben lavarse y secarse después de su uso para mantener su eficacia y evitar que capten olores; Atención: para que duren más, no las espongas demasiado tiempo al sol.

Lavar los paños del filtro y de la plancha en la lavadora con detergente es práctico y recomendable al menos ocasionalmente.

9) SECADO

El secado es la única forma segura de almacenar y distribuir espirulina a largo plazo sin una cadena de frío.

En la industria, la espirulina se seca convencionalmente por "atomización" (secado por aspersión), en una corriente de gases de combustión a alta temperatura pero por un tiempo muy corto. Para esto, los filamentos primero deben reducirse a una pasta para romper su membrana: de hecho, es el jugo de espirulina triturado lo que se seca. A menos que el gas de secado sea muy bajo en oxígeno, el secado por aspersión corre un alto riesgo de alterar el producto, al menos desde el punto de vista del olor y el sabor.

En la producción artesanal, por el contrario, son los filamentos enteros de espirulina los que se secan: el tiempo de secado es más largo, pero el interior de las células no está sujeto al contacto directo con gases calientes.

Si la espirulina prensada no se puede secar inmediatamente, se debe mantener en un recipiente cerrado en el refrigerador muy frío y no por mucho tiempo (de lo contrario, desprende un olor desagradable durante la extrusión); tenga cuidado de no congelarlo y de evitar que caigan gotas de agua condensada sobre la biomasa almacenada. En una cámara frigorífica a 1°C la biomasa puede conservarse hasta una semana. La biomasa lavada no se puede almacenar, ni siquiera en el frigorífico (a no ser que se haya lavado con agua salada isotónica ya pH > 9,6).

9.1) Extrusión

El secado debe ser lo suficientemente rápido para que el producto se seque sin fermentar. La biomasa resultante del prensado se distribuye primero por extrusión en "spaghetti" sobre una placa formada por un marco revestido con una mosquitera de nailon o mejor acero inoxidable (malla de 1 mm) o sobre una rejilla de plástico (malla del orden de 5 mm). Si la biomasa es demasiado fluida, se extiende en una capa delgada sobre una película de polietileno (método "indio"). Luego la biomasa se seca al sol, o mucho mejor, en una corriente de aire con baja humedad relativa y alta capacidad de absorción de agua (secador solar indirecto, o eléctrico, o a gas, o deshumidificador), hasta que ya no esté blanda. En absoluto, se desprende fácilmente del soporte y se muele con facilidad.

La extrusión de espagueti se puede hacer con un decorador de pasteles o con una herramienta de cocina común en la India ("fabricante de idiyapam" en Tamil Nadu) y en el Lejano Oriente. Oriente (hecho de una caja con un fondo perforado con pequeños agujeros y un pistón, o usando una pistola

cola de silicona profesional tipo Sika, modificada (tapón de PVC de 50 mm perforado con agujeros de 2 mm), o con embudidora, etc. Elige un modelo que no incluya ninguna pieza de aluminio en contacto con la biomasa. Para producciones ya grandes, sería ventajoso utilizar un “empuje” de acero inoxidable (dispositivo utilizado por los carniceros), accionado por una manivela con engranaje, equipado con una matriz de acero inoxidable o plexiglás. Colocando los espaguetis sobre el soporte (bandeja de secado) se evita que se formen grandes montones de biomasa, que no se secarían lo suficientemente rápido. Si la biomasa es muy firme, se puede extruir con un troquel con agujeros más grandes (que es menos doloroso) que si le falta firmeza. Si desea obtener espaguetis muy rectos, el grosor del taco en el que se perforan los orificios debe ser tres veces el diámetro de los orificios (utilice un taladro de columna). En el caso del uso de la pistola SIKA de 300 ml, hemos notado que es necesario tapar la ranura del pistón con un poco de plástico autoadhesivo para evitar un exceso de derivación de biomasa detrás del pistón.

Foto: Extrusión de biomasa prensada, con pistola de silicona Sika (profesional, manual tipo “bolsillo”), sobre bandeja secadora eléctrica Stoeckli, Mialet, 1998:



9.2) Secado

Se puede secar a la sombra simplemente en una corriente de aire a temperatura ambiente, bajo una mosquitera (basta con que el aire esté a una temperatura claramente superior a su punto de rocío); es el mismo principio que secar la ropa en el tendedero o los platos en la cómoda: pudimos secar muy bien en una campana de laboratorio equipada con un potente ventilador y un filtro de 0,2 μ (que detiene las bacterias), sin calefacción. Pero el contenido final de agua del producto que aparece seco puede ser decepcionante; depende esencialmente de la temperatura y la humedad del aire, la tasa de ventilación y el tiempo de secado.

Generalmente, la deshidratación debe realizarse en un secador de aire caliente o con un deshumidificador.

Secamos fácilmente la espirulina en una cabina metálica equipada con un deshumidificador y un ventilador que recirculaba el aire a través de las bandejas de secado. El deshumidificador debe poder bajar la humedad relativa del aire al 30%. Este dispositivo, que puede denominarse "secador termodinámico", permite eliminar por completo la humedad del aire ambiente y el polvo. Incluso permite, si se quiere, sustituir el aire por un gas neutro o desoxigenado para reducir la oxidación de la espirulina durante el secado (preservación del betacaroteno). El único problema es que el armario debe estar refrigerado para evitar superar los 42°C en el interior. En un clima cálido y húmedo, esto puede requerir el uso de un acondicionador de aire, a menos que esté seco durante la noche. Obtenemos 40-50 g de espirulina seca por hora con una potencia de 350 Watt (excluyendo el aire acondicionado).

El secado al aire libre a pleno sol es el más rápido y menos costoso, pero tiene inconvenientes: el producto está expuesto al polvo y a los animales (al menos debe protegerse con una mosquitera), y corre el riesgo de volverse azul en la superficie por la destrucción de la clorofila por rayos ultravioleta; después de la molienda, este azulado ya no es perceptible, pero se nota una alteración en el sabor. Este tipo de secado, que se practica desde hace mucho tiempo en Madurai (India), tiene éxito si las condiciones son buenas para un secado muy rápido: si es lo suficientemente rápido o si la luz del sol es suficientemente pobre en rayos ultravioleta, la alteración de el color y el sabor pueden ser imperceptibles.

Los planes para secadores solares más elaborados se dan en el [Apéndice 27](#). Un secador solar mejorado incluye una parte de calentamiento de aire separada del área donde se encuentra la espirulina, protegida de la luz, la lluvia y los insectos; el aire debe circular por allí con un buen caudal, preferentemente provocado por un ventilador. El termosifón (efecto chimenea) sólo es adecuado si hay pocos "espaguetis" en las bandejas. La influencia de la ventilación en el secado es fundamental. Con un fuerte flujo de aire, se pueden apilar hasta 3 cm de "espagueti" en las bandejas. Si se utiliza un ventilador de motor axial para soplar aire a través de bandejas cercanas, tenga en cuenta que el caudal suele ser muy bajo cerca del centro del ventilador: es aconsejable interponer una bandeja intermedia vacía que sirva como distribuidor de flujo de aire.

Si el aire se calienta para bajar su grado de humedad relativa, la temperatura debe limitarse a 80°C. De hecho, el secado a menudo se realiza a una temperatura más baja (generalmente 65 °C o incluso 40 °C) con buenos resultados, pero si hay dudas sobre la calidad bacteriológica del producto, es posible aumentar brevemente a 80 °C para "pasteurizarlo" sin que, al parecer, su contenido en componentes sensibles como la ficocianina, el ácido gamma-linolénico o el betacaroteno disminuya demasiado. La ficocianina es particularmente sensible al calor: para conservarla, no debe superar los 42°C.

El tiempo de secado varía según el espesor de biomasa fresca en cada plato, pero también según el número de platos superpuestos, el % de secado en la biomasa, la tensión (las espirales se secan un poco más rápido), la temperatura y la humedad del aire y, por supuesto, el flujo de aire: en la práctica suele rondar las 4 horas, pero es perfectamente posible secar en una hora si se desea. En caso de mal tiempo, si se utiliza un secador solar, se puede agregar un calentador eléctrico o de gas, o se puede terminar (o hacer todo) el secado en un secador eléctrico o de gas o incluso en un horno a baja temperatura y ventilado. .

Una secadora eléctrica para frutas y verduras, como la marca suiza Stoeckli, con una potencia de 450 Watt, con bandejas de 30 cm de diámetro, tiene una capacidad de secado promedio de 20 g (contados en materia seca) por hora. Su flujo de aireación tiende a ser un poco bajo y eso es una pena.

Si no tiene electricidad, puede usar una secadora a gas (butano o metano del digestor), cuyo esquema se muestra en el [Apéndice 27](#). Es muy importante dotar al quemador de un dispositivo de seguridad.

La temperatura de la biomasa que se seca en un secadero de bandejas superpuestas sin reciclaje de aire (caso de Stöckli) se mantiene teóricamente próxima a la temperatura de rocío del aire, cualquiera que sea la temperatura de secado de este, siempre que haya agua libre en el aire. superficie de la biomasa; prácticamente la temperatura superficial se establece a mitad de camino entre esta temperatura de rocío y la temperatura del aire, al inicio del secado, luego asciende gradualmente hasta alcanzar la temperatura seca del aire al final del secado. La temperatura en el núcleo del producto aumenta gradualmente desde su temperatura inicial hasta la temperatura del aire. Es deseable minimizar el tiempo en que el producto húmedo se encuentra en la proximidad de los 37°C, la temperatura más favorable para la fermentación. También es necesario evitar calentar el producto aún húmedo (en el corazón de los espaguetis) a más de 60°C, que podría "cocinarse" por descomposición (cambios de color). La primera placa recibe el aire a su temperatura máxima pero con una temperatura mínima de rocío (normalmente en torno a los 20°C), mientras que las placas superiores reciben aire aún caliente pero cargado de humedad, por tanto con una temperatura de rocío elevada y especialmente como el flujo de aire es bajo. Vemos la ventaja de limitar el número de bandejas superpuestas y no entorpecer el flujo de aire (mantener limpios y despejados los filtros o mosquiteras que protegen la entrada y salida de aire del aparato). En la práctica, con los secadores Stoeckli, que tienen un flujo de aire bajo, limitamos absolutamente el número de bandejas a 5 y su carga individual a 2 kg de biomasa fresca por m² de bandeja (es decir, 150 g/bandeja). Si se carga demasiada biomasa fresca en relación con el flujo de aire, o si el ventilador no funciona bien, o si la biomasa es demasiado blanda, o si el clima es demasiado húmedo, o si el termostato está demasiado bajo, el secado es Si no se hace lo suficientemente rápido, la espirulina comienza a deteriorarse antes de secarse, libera un olor anormal ("propiónico" o "butírico") y, a veces, los "espaguetis" se aplanan ("derriten"), quedan como plástico blando y no salen. de la bandeja: en estos casos, es mejor reservar el producto para la alimentación animal o simplemente tirarlo al compost. Una espirulina mal secada generalmente es demasiado blanda para ser triturada, lo cual es un indicio, pero cuidado: sucede que no notamos que se ha producido un deterioro porque el producto aún puede parecer seco y bien verde en la superficie mientras se seca. está blanda y negruzca por dentro, o puede que haya cambiado de color y se haya acabado secando igual; por ello es importante comprobar la calidad del producto seco según su olor y sabor y pincharlo con la punta de un cuchillo para comprobar si está duro y verde en el centro. La liberación de olor al inicio del secado no significa necesariamente que el producto seco sea de mala calidad o mal sabor.

Una biomasa de buena calidad, prensada muy firme, se seca sin que los cilindros de los espaguetis se deformen: quedan cilíndricos, pero obviamente de diámetro reducido (encogimiento). Si se deforman es porque la biomasa tiende a "derretirse". Si es demasiado suave, se "derrite" completamente y se esparce.

A menudo preferimos secar la espirulina en dos etapas, especialmente cuando el aire está húmedo: secado a baja temperatura (40-50°C) pero con un flujo de aire alto (velocidad del aire de 1 m/s)

permitiendo una carga alta (20 kg de biomasa fresca por m², en 5 bandejas), duración de 2,5 a 3 horas para un contenido de agua final de 15 – 20 %, y una humedad relativa del aire saliente de 10 a 20 %, seguido de secado a bajo flujo de aire (por ejemplo en un secador Stoeckli) pero a temperatura más alta (65-80°C), asegurando tanto una cierta pasteurización como la extracción de agua hasta un 4% de agua en una hora (o incluso mucho menos) .

La carga máxima que se ha indicado anteriormente es para una biomasa prensada de buena calidad (firme); si es blando, la carga debe reducirse a 10 o incluso 5 kg/m².

El secador de la primera etapa se hizo alrededor de un ventilador de 50 W con un diámetro de 30 cm correspondiente al de las bandejas Stoeckli que se colocan sobre él. Este ventilador aspira aire a través de un filtro de polvo (guata sintética que se vende para revestir campanas de cocina) que es calentado por un termoventilador eléctrico (potencia de 1 a 2 kW).

La primera etapa es suficiente cuando el aire ambiente está muy seco (secado a menos del 9% de contenido de agua en 4 horas). El segundo se puede hacer en un secador de tambor rotatorio, envolviendo los espaguetis presecados en una bolsa de lona: es un sistema simple que funciona a satisfacción de varios productores franceses.

Otro método de secado, que da hojuelas de una hermosa apariencia, es aquel en el que la extrusión se reemplaza extendiendo una capa [delgada](#) con una [espátula](#) sobre una película de plástico (practicado durante mucho tiempo en Madurai, India). Esto es poco práctico, pero es la única forma de secar una biomasa rica en líneas rectas que no son aptas para la extrusión.

Fin de la prueba de secado: ver siguiente § 9.3 [prueba](#).

Para establecer la curva del % de agua en el producto en función del tiempo de secado, basta medir el peso bruto de las bandejas a secar, la tara de las bandejas, el peso de biomasa a secar, el peso neto seco y saber el % de agua al principio o al final del secado.

Si el secado ha sido insuficiente, es posible completarlo bien pasándolo de nuevo por el secador a 65-80°C (colocando el producto en placas si ya ha sido molido), o preferiblemente encerrándolo en un recipiente hermético en compañía de un sobre desecante (gel de sílice o tamices moleculares). Estos desecantes se pueden regenerar pasándolos por el horno.

Hay que insistir en la ventaja de filtrar el aire fresco antes de que entre en el secador para eliminar el polvo y reducir mucho el riesgo de anomalías en la carga bacteriana del producto seco. Un filtro de apertura de 5 µ ya hace un buen trabajo, pero requiere un ventilador de alta presión.

Este riesgo de contaminación del aire se elimina si se utiliza un secador termodinámico (con deshumidificación por bomba de calor). Estos dispositivos de secado tienen un futuro brillante en el secado de espirulina en áreas con alta humedad (tal secador ya se ha utilizado desde 1999 en Adzopé en Côte d'Ivoire en SAP La Mé). También tienen la ventaja de permitir el secado en atmósfera inerte.

Tenga en cuenta también la posibilidad de secado al vacío. Este proceso ciertamente tiene futuro a condición de que la temperatura de calentamiento se limite a 40 °C para no destruir las vitaminas, las enzimas y la ficocianina. La ausencia de oxígeno evita la degradación de los componentes

oxidables como los carotenos. Se cree que la biomasa se desintegra por efecto de las burbujas de vapor de agua, lo que hace posible procesar bloques de biomasa, incluso congelados.

9.3) Prueba de molienda y secado

La espirulina correctamente secada es crujiente, se desprende del medio de secado y se puede triturar o moler fácilmente en un molinillo de café hasta obtener un polvo más o menos fino según el gusto individual. Una trituradora manual muy adecuada es la marca Sfinx o Corona, que se usa ampliamente en muchos países africanos y latinoamericanos. Un molinillo de café eléctrico también funciona bien.

La densidad aparente de la espirulina extruida, seca y molida es de 0,5 a 0,66 kg/litro dependiendo de la finura (la densidad de la espirulina seca en sí es cercana a 1). Hay quienes prefieren no moler la espirulina seca para mantener su "textura" en bastones que recuerda más a las "algas", pero entonces su densidad aparente es mucho menor y hay más riesgo de perforar el envase.

La espirulina debe contener menos del 9% de agua para mantenerse bien. Medir el contenido de agua es muy fácil con el siguiente dispositivo (ver [Apéndice 6.2.6](#)) : coloque el producto a probar (unos 200 g) en un recipiente tipo "Tupperware" de aproximadamente un litro, con una tapa transparente para permitir la lectura del higrómetro colocado (pegado) en el interior. Un producto suficientemente seco debe dar un % de humedad relativa en equilibrio por debajo de 45 (alrededor de 25°C). Para que la medición sea precisa, el conjunto de medición debe estar en equilibrio no solo con respecto a la humedad sino también a la temperatura, lo que puede requerir un tiempo bastante largo (1 a 2 horas). El método oficial es la cocción al vapor a 104°C en horno termostático ventilado, hasta peso constante.

Para hacer tabletas de espirulina sin aditivos, su humedad debe ajustarse en torno al 7%.

9.4) Embalaje

La espirulina seca se puede conservar durante mucho tiempo sin perder demasiado de sus cualidades siempre que se almacene en bolsas bien llenas y selladas, protegidas de la luz, el aire y el calor fuerte. Un tiempo de almacenamiento de más de 2 meses provoca la esterilización natural.

Las bolsas de plástico aluminizado termosellables multicapa son muy adecuadas, pero es preferible crear un vacío en la bolsa mientras se termosella (existen dispositivos comerciales para ello): en este caso el producto se puede conservar durante 5 años. Si no se puede sellar al vacío, la absorción del oxígeno que queda en la bolsa debidamente sellada a menudo (pero no siempre) hará que se "aspire" espontáneamente en unos pocos días si el recipiente está debidamente sellado; esta absorción de oxígeno va acompañada de la destrucción de al menos algunos de los componentes oxidables de la espirulina, como el betacaroteno. A veces sucede que el sobre se hincha en lugar de ser puesto al vacío: una explicación plausible sería la liberación de CO₂ por acidificación de los restos de bicarbonato (acidificación por migración del interior de las células que es muy ácido).

Incluso mejor que el vacío es el almacenamiento bajo una atmósfera inerte (nitrógeno).

Si el producto debe usarse rápidamente (menos de 3 meses), es posible envasarlo en bolsas de plástico no metálicas.

Advertencia: los roedores perforan voluntariamente estos sobres de espirulina. Deben guardarse en un lugar seguro, por ejemplo en una cantimplora metálica.

9.5) Control de calidad bacteriológico

El secado a baja temperatura (40 a 50°C) tiene la ventaja de conservar mejor la calidad nutricional del producto y ya da un producto generalmente correcto desde el punto de vista bacteriológico, especialmente después de un almacenamiento de dos meses. Ningún microorganismo peligroso puede sobrevivir mucho tiempo en un producto con menos del 9% de agua correspondiente a una actividad del agua inferior a 0,5 (< 50% de humedad relativa en el aire en equilibrio con el producto a 25°C). La espirulina normalmente no contiene esporas debido al pH del medio de cultivo. La calidad microbiológica mejora con el almacenamiento. El almacenamiento en bolsas selladas al vacío permite verificar a posteriori la calidad del secado: si se forma vacío, el producto era correcto; si la bolsa parece hinchada (esto puede tardar algunos meses), significa que hay fermentación o evolución enzimática o acidificación de trazas de bicarbonato residual, o simplemente que el polvo se ha vuelto más denso (envasado).

En caso de duda sobre la calidad bacteriológica o el grado de secado de la espirulina seca, es posible calentarla a 120°C en un horno o esterilizador solar. Pero el calor seco no esteriliza bien ni destruye las esporas de bacterias o cualquier toxina que pueda estar presente. Por eso sigue siendo necesario trabajar respetando al menos las reglas clásicas de higiene (no tocar el producto con las manos, trabajar lejos del suelo, con instrumentos y recipientes de acero inoxidable o plástico, etc.), y se es una buena idea hacer verificar la conformidad del producto de vez en cuando en relación con las normas bacteriológicas vigentes.

10) CONSUMO

10.1) Alimentación humana

La espirulina no sustituye a alimentos hipercalóricos como la yuca, el arroz, el trigo, la patata o el maíz, pero es un ingrediente ideal de la salsa proteica que acompaña a la "bola" africana, por ejemplo, aportando no sólo sus proteínas, sino muchas otras. elementos muy favorables a la buena salud de todos y en particular de los niños pequeños.

Se pueden inventar mil mezclas y recetas para consumir espirulina cruda o cocida, fresca o seca, de forma placentera. No es exagerado afirmar poder hacer muy buena gastronomía a base de espirulina de calidad, sobre todo fresca.

Los consumidores generalmente prefieren la espirulina secada en espagueti al producto industrial secado por aspersión, tanto por su consistencia física como por su olor. La presentación en forma de espagueti sin moler o ligeramente molido (solo quebrado) es generalmente muy popular, pero cuesta más en el empaque.

Si está tomando anticoagulantes, hay precauciones que debe tomar (consulte el Apéndice 5, página 172)

10.1.1) Biomasa fresca

La biomasa fresca de buena calidad se puede consumir directamente después del prensado o se puede enlatar (congelada, salada, endulzada). Fresco, puede conservarse en el estado de dos a unos pocos días en el frigorífico, dependiendo de la velocidad a la que se haya enfriado y de la temperatura de conservación en el frigorífico, y de la temporada, pero sólo puede conservarse si no es así, no se lavó después de la filtración. Antes de consumir una espirulina guardada en el frigorífico, comprobar que no tiene olor. Aunque el mejor momento para cosechar es por la mañana, es posible retrasar un poco la cosecha hasta un momento más conveniente para cocinar o comer si no tienes un refrigerador. Durante el almacenamiento en frigorífico, en un recipiente no cerrado, sucede que, debido a la evaporación superficial, las sales residuales migran a la superficie del producto, dándole un sabor amargo: en este caso, eliminar la "corteza". El mejor modo de conservación en frigorífico es en forma de salchichas (sin contacto con el aire) lo que evita cualquier riesgo de evaporación superficial y caída de gotas de agua condensada sobre la biomasa. En un clima templado, la espirulina fresca cosechada en invierno se puede conservar mucho tiempo en el frigorífico a 3°C: de 10 a 15 días por ejemplo.

En la opción de congelación, tenga cuidado de no congelar masas unitarias demasiado grandes que serían imposibles de dividir durante el uso: es mejor hacer "cubitos de hielo" muy prácticos (puede usar las clásicas cubiteras) o incluso mejores "pastillas" (como el chocolate). Para hacer estas tabletas, puede utilizar el método desarrollado por Marc Pilard en Quissac: coloque la espirulina fresca en una bolsa de polietileno para congelar y extiéndala con un rodillo en una capa delgada y uniforme de 2 a 3 mm de espesor. una cuadrícula de cuadrados o rectángulos del tamaño deseado. La congelación muy rápida que así se hace posible hace que durante la descongelación no salga la ficocianina (las células de espirulina no son perforadas por los cristales de hielo). Para facilitar su almacenamiento y uso, los cuadrados se pueden separar (simplemente rompiéndolos a lo largo de las tiras) y luego almacenarlos (preferiblemente empacados al vacío):



La biomasa de ciertas cepas (espirales en general) no requiere ninguna precaución: no aparece jugo azul durante la descongelación.

11) HIGIENE

La producción industrial de un producto alimenticio que cumpla con los estándares requiere el cumplimiento de reglas de higiene draconianas en términos de equipo, personal y empaque:

- equipos de plástico, vidrio o acero inoxidable aptos para uso alimentario - uso de guantes, máscaras, redecillas para el cabello - filtración de aire - esterilización de herramientas, productos y embalajes.

Tales precauciones parecerán fuera del alcance de las granjas familiares o de pequeña escala, pero al menos deben esforzarse por trabajar de la manera más limpia posible. El nivel de higiene a respetar es similar al habitual en la cocina y los platos familiares o comunitarios de la región. He aquí algunas recomendaciones de sentido común: - Lávese las manos antes de trabajar con espirulina - Verifique que no quede espirulina en los huecos del equipo después de la limpieza (por ejemplo, en los bordes de los marcos de filtración, o en la extrusora).

- Utilizar utensilios preferentemente blancos.
- Evitar el contacto de restos secos de espirulina con biomasa fresca.
- Evitar el contacto de los utensilios con el suelo o cemento que son caldo de cultivo de microbios.
- No tocar nunca la espirulina con los dedos desnudos, ni siquiera secos, para evitar el riesgo de contaminarla con estafilococos áureos.
- Mantener alejados a los roedores (existen aparatos ultrasónicos para ello) y moscas.
- Tapar los recipientes que contengan biomasa para evitar que se ensucien.

Una espirulina artesanal puede ser de muy buena calidad. Pero si se produce y sobre todo se seca y manipula en un ambiente rico en microbios "domésticos", sólo puede ser consumido por personas acostumbradas a este ambiente: no se trata de comercializarlo en la ciudad o en el mercado internacional, excepto para esterilizarlo y/o analizarlo para comprobar que cumple con las normas vigentes. Los chinos a menudo esterilizan su espirulina por irradiación, pero este método no se recomienda porque destruye las vitaminas y produce radicales libres; de todos modos, no está al alcance de los artesanos.

Tenga en cuenta: en algunos países, el agua utilizada para limpiar, enjuagar, etc. puede estar contaminado, esto puede ser una fuente de contaminación para el producto cosechado. En este caso se sugiere el uso sistemático de agua blanqueada para toda la limpieza, con aclarado final con agua clorada (min 1 ppm de cloro libre).

12) RECOMENDACIONES FINALES

Tras su largo aprendizaje en muy variadas condiciones de cultivo de la espirulina, el autor quiere subrayar aquellas que considera más fáciles para el artesano, y que se reducen a no intentar realizar proezas de productividad o de precio de coste.

Prácticamente esto significa:

- **proteja sus estanques con un invernadero sombreado, - utilice el aire como principal fuente de carbono, - resista la tentación de cosechar la capa flotante,**

- utiliza oligoelementos y hierro
- quelado, - si tienes que ausentarte, deja solo tus cultivos en buenas manos.

Además, especialmente para los principiantes que aún no han adquirido las yemas de los dedos:

- mantenga su concentración de espirulina lo suficientemente alta (Secchi entre 2 y 3 máx.) - cepille el fondo y los lados de su piscina diariamente - practique una tasa de purga bastante alta (> 1%/día) - cargue ligeramente su secador (< 5 kg de agua fresca biomasa/m² de sección)

¡No olvide verificar la calibración de sus termómetros y otros instrumentos!

RESUMEN DE APÉNDICES

[A1](#)) Influencia de diferentes factores en el crecimiento
[A2](#)) Medición de la concentración de espirulina [A3](#))
Medición de la salinidad [A4](#)) Medición del pH [A5](#))
Medición de la alcalinidad [A6](#)) Pruebas de calidad
fáciles de realizar [A7](#)) Absorción de CO₂ atmosférico
[A8](#)) Interacción fotosíntesis/absorción de CO₂ [A9](#))
Productividad en función del tono [A10](#)) Consumo de
agua en función del tono [A11](#)) Correspondencia entre
pH y relación CO₂/base [A12](#)) Mezclas de carbonato y
bicarbonato de sodio [A13](#)) Neutralización del agua de
cenizas [A14](#)) Composición de varios productos [A15](#))
Laboratorio útil equipo [A16](#)) Productos químicos [A17](#))
Estándares para la espirulina [A18](#)) Límites de concentración
en el medio de cultivo [A19](#)) Composición elemental de la
espirulina [A20](#)) Composición nutricional de la espirulina
[A21](#)) Elementos de precio de costo y proveedores [A22](#))
Comparar la espirulina con otras algas [A23](#)) Espirulina
vista bajo un microscopio [A24](#)) Para aquellos que tienen
electricidad [A25](#)) Invernada [A26](#)) Formulario Oligoelementos
[A27](#)) Modelos de secadores [A28](#)) Proyecto semiartesanal
de 5 kg/día [A29](#)) Check list para espirulina de partida [A30](#))
[Espirulina](#) humanitaria en países en vías de desarrollo
(por P. Ancel, mayo 2004)

—
—
—
—
—
—
—

[A31](#)) Ablandamiento de agua



A1) Influencia de la temperatura, la luz, la alcalinidad, la salinidad y el pH en la fotosíntesis de la espirulina

Podemos suponer que la tasa máxima de fotosíntesis, en un estanque bien agitado, y en las mejores condiciones de temperatura, luz, alcalinidad, salinidad y pH, es cercana a 1,8 g/hora/m² de estanque.

Esta velocidad también puede variar según la cepa de espirulina y la posible presencia de catalizadores.

En los programas de simulación dados en [CALCUL](#), se asume que la función de fotosíntesis es directamente proporcional a las funciones de temperatura, luz, salinidad, pH y grado de agitación:

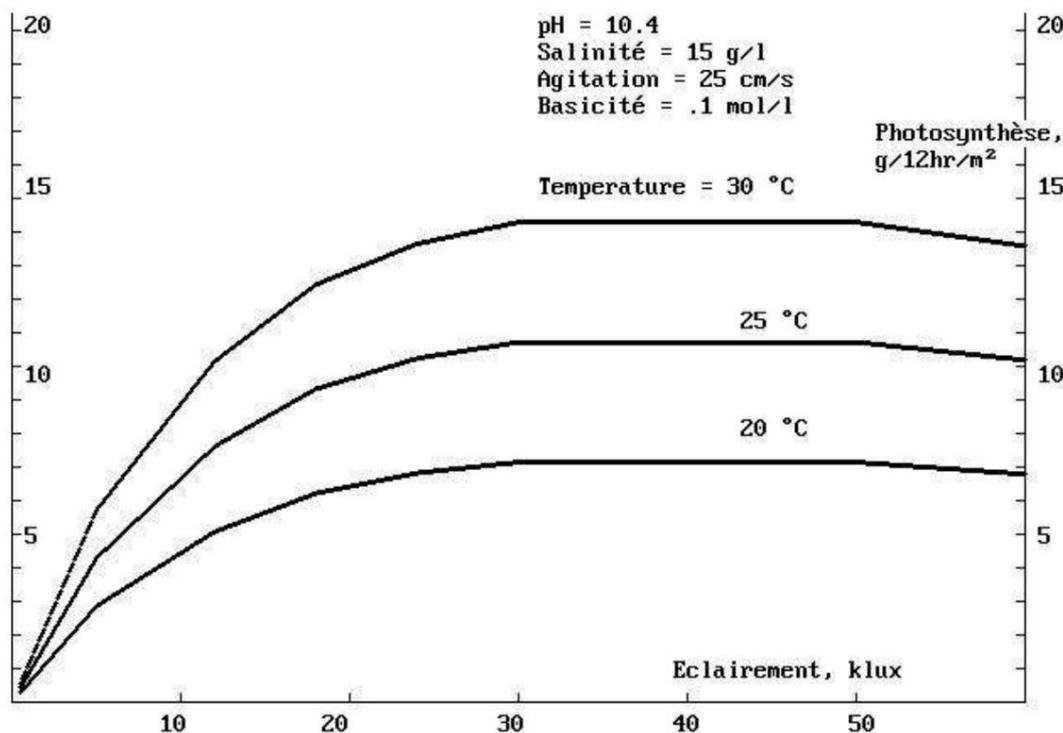
$$\text{Tasa de fotosíntesis} = k_x f(T) \cdot f(\text{klux}) \cdot f(\text{salinidad}) \cdot f(\text{pH}) \cdot f(\text{agitación})$$

Esta hipótesis no tiene una base científica real, pero facilita los cálculos y da resultados que a menudo se acercan a la realidad sobre el terreno.

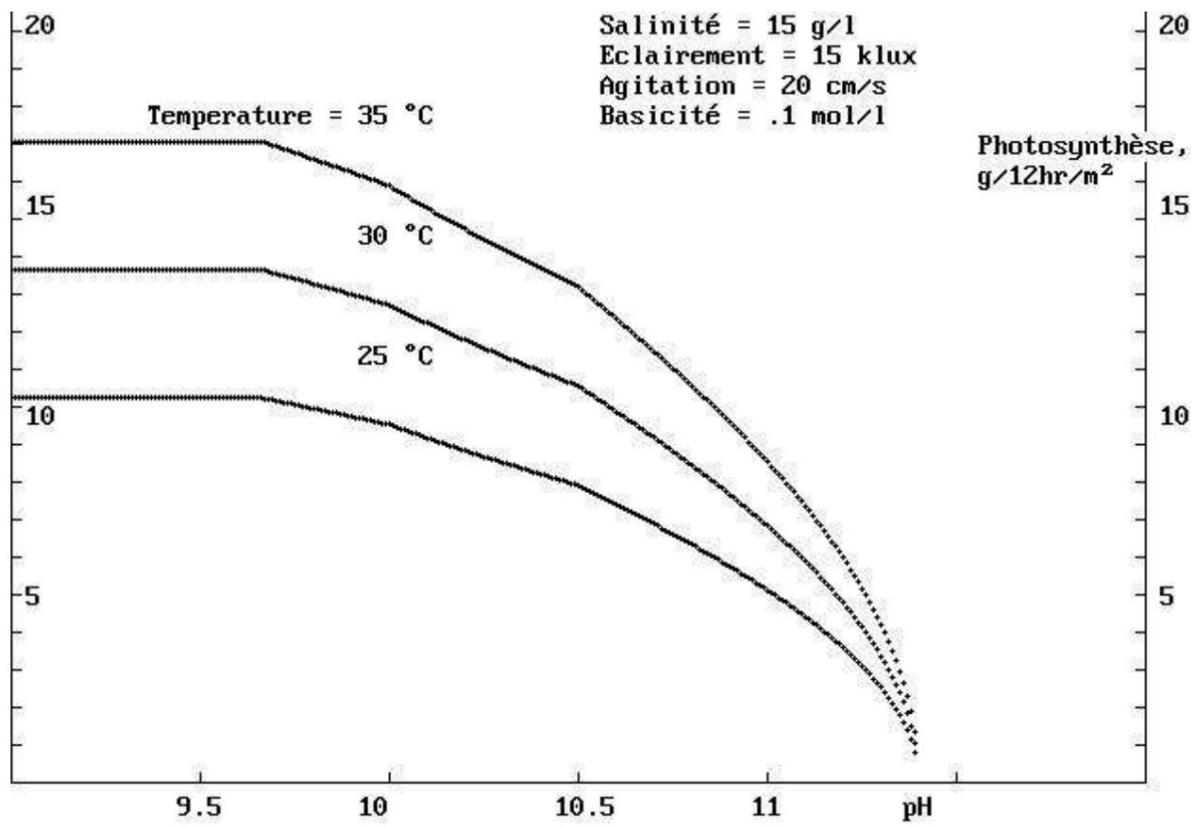
Aquí hay algunos ejemplos de estas funciones, que están en gran parte inspiradas en la tesis de Zarrouk (teniendo en cuenta también los resultados experimentales).

[Tenga en cuenta que los resultados de Zarrouk datan de la década de 1960. Treinta años después, Vonshak ([Vonshak1997](#)) pudo usar métodos mucho más sofisticados para estudiar la fotosíntesis de la espirulina y deducir que la espirulina a menudo estaba "fotoinhibida", más o menos dependiendo de la temperatura, la salinidad, concentración, agitación y tensión.

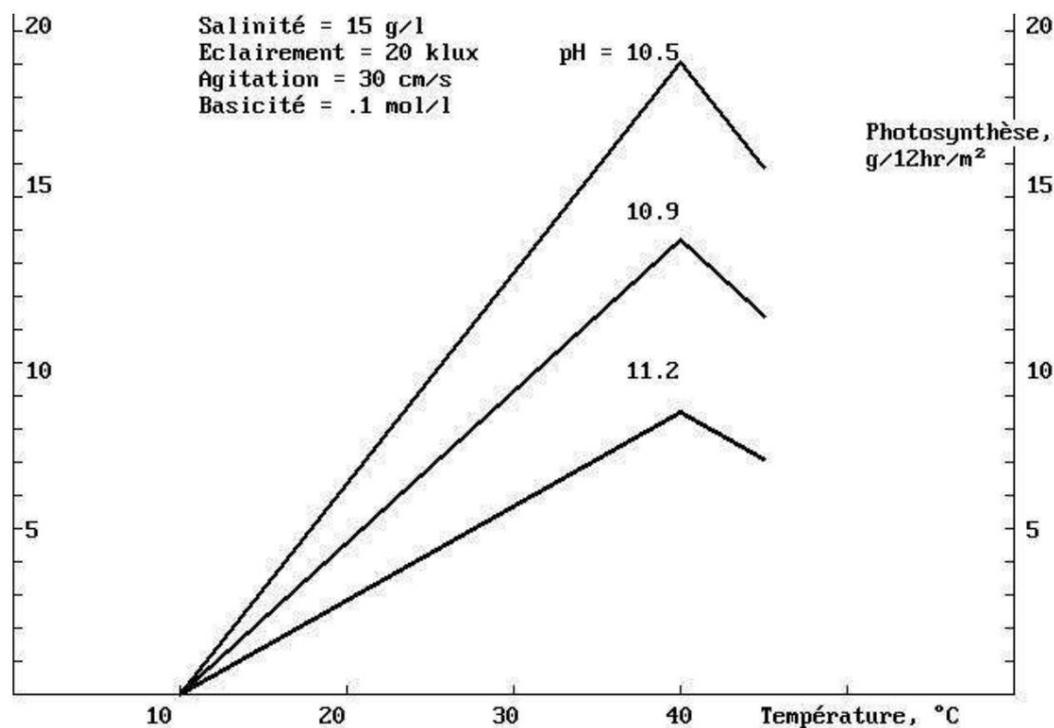
Nos quedamos aquí con el modelo de Zarrouk, imperfecto pero más sencillo]:



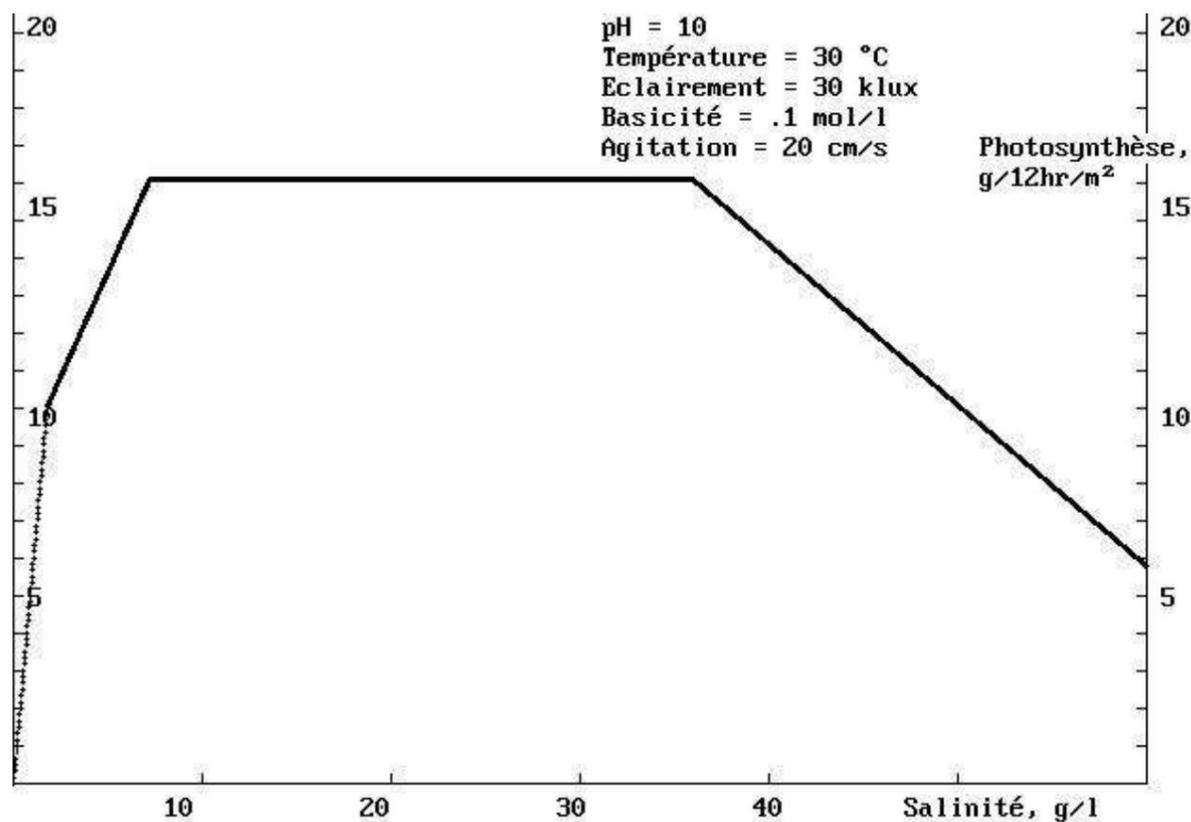
Tasa de fotosíntesis de la espirulina en función de la iluminación según la tesis de Zarrouk, Fig. 3 ([BIBLIOGRAFÍA Zarrouk](#))



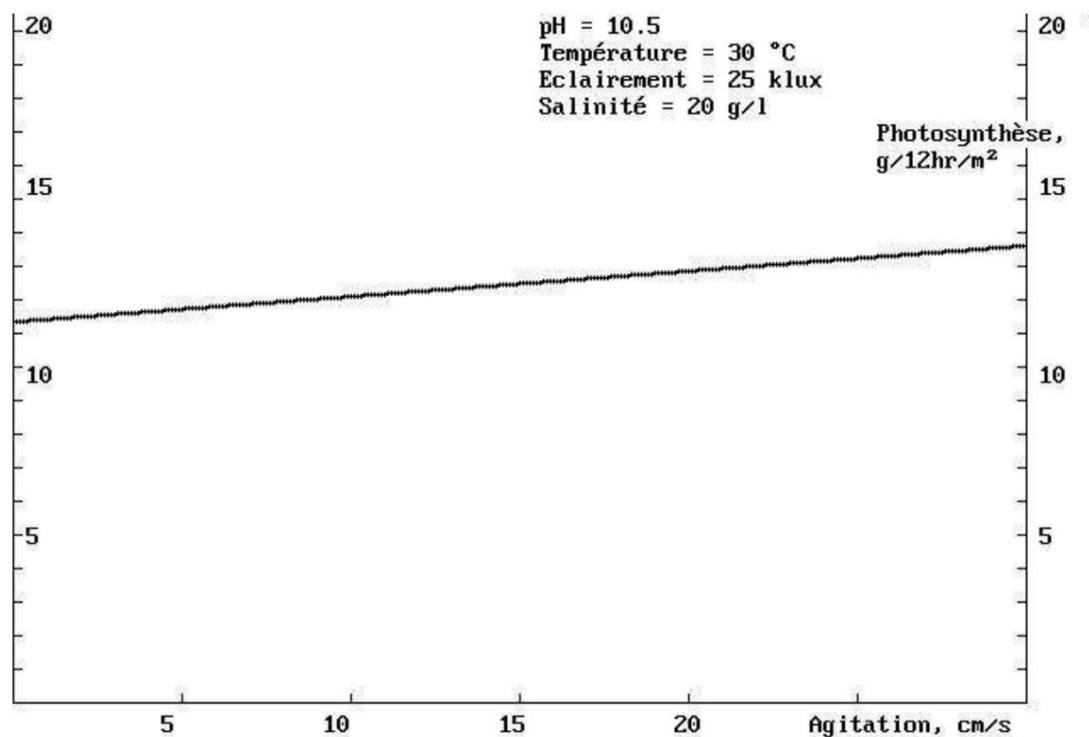
Tasa de fotosíntesis de la espirulina en función del pH según la tesis de Zarrouk, Fig. 20



Velocidad de fotosíntesis de la espirulina en función de la temperatura del cultivo según la tesis de Zarrouk, Fig 19.



Velocidad de fotosíntesis de la espirulina según la salinidad del medio según la tesis de Zarrouk, Tabla IV



Velocidad de la fotosíntesis en función de la agitación (función más o menos imaginaria, en la que también interviene el pH, válida para sistemas habituales de agitación hasta una velocidad de 30 cm/s; es posible que con sistemas mejorados podamos aumentar significativamente la velocidad de la fotosíntesis, pero aún no tenemos la experiencia: más allá de 30 cm/s se proporciona la función para tener en cuenta este efecto, pero sin ninguna base experimental cuantificada)

A2) Medición de la concentración de espirulina

El "disco de Secchi" (instrumento que consiste en una varilla de 30 cm de largo, graduada en centímetros, que lleva un disco blanco en su extremo inferior) permite una medición aproximada, bastante subjetiva, que depende del sujeto, la iluminación, el ángulo, el tamaño del disco y la turbidez del medio de cultivo ("turbidez" = desorden + coloración) y en gran medida la morfología de los filamentos de espirulina, que depende en parte de la salinidad del medio. Los datos a continuación se han establecido para salinidades cercanas a 12 g/litro.

Antes de medir, agite para homogeneizar, luego deje que el lodo se asiente durante unos minutos, ¡pero no permita que se forme una capa flotante! Anotamos la profundidad, en centímetros, donde apenas se hace imposible distinguir el disco.

Cada uno debe determinar su propia correlación profundidad-concentración-turbidez, en condiciones estándar: filtrar un volumen conocido a través de papel de filtro (previamente secado al horno y pesado), presionar suavemente y secar al horno, luego pesar. Las dos tablas siguientes fueron establecidas por el autor con un disco blanco de 3 cm de diámetro bajo una iluminación de 4000 lux (sombra no demasiado oscura).

La turbidez se mide en filtrado sin espirulina, con un disco negro (ver A6.1.2 [Turbiedad](#)).

SECCHI PARA DEFENSA ESPIRAL

Turbidez cero (>30 cm)

1,0 cm = 1,05 g/l 1,5
cm = 0,75 2,0 cm =
0,55 2,5 cm = 0,43
3,0 cm = 0,34 4,0 cm
= 0,24 5,0 cm = 0,19
8,0 cm = 0,10

Turbidez 12 cm

2,0 cm = 0,5 g/l
3,0 cm = 0,3 4,0
cm = 0,21 5,0
cm = 0,16

Turbidez = 6 cm

1,0 cm = 0,75 g/l
2,0 cm = 0,35 3,0
cm = 0,19 4,0 cm
= 0,10 5,0 cm =
0,05

SECCHI PARA LA TENSIÓN ONDULADA

Turbidez cero (>30 cm)

1,0 cm = 1,0 g/l 1,5
cm = 0,55 2,0 cm =
0,40 3,0 cm = 0,24
4,0 cm = 0,16 5,0 cm
= 0,11 8,0 cm = 0,06

Turbidez = 6 cm

1,0 cm = 0,85 g/l
1,5 cm = 0,50 2,0
cm = 0,35 3,0 cm
= 0,20 4,0 cm =
0,10 5,0 cm =
0,05

Turbidez = 4 cm

1,0 cm = 0,70 g/l
1,5 cm = 0,36 2,0
cm = 0,20 2,5 cm
= 0,11 3,0 cm =
0,06

NB 1) Jacques Falquet, de Antenna Technology, ha desarrollado un "Secchi electrónico" cuya respuesta es independiente de la luz y del operador, pero no de otros factores. Pero no tuvo éxito (¿demasiado complejo?)

2) El uso de un instrumento para medir la concentración de espirulina generalmente se vuelve innecesario cuando el operador ha adquirido suficiente experiencia. Sabe juzgar la concentración por la apariencia de la cultura.

3) La concentración de espirulina también se puede medir con un espectrofotómetro en el longitud de onda de 560 nm como hizo Zarrouk en su tesis: había encontrado que 1 unidad de densidad óptica corresponde a 0,7 g de espirulina por litro.

4) Si no se tiene en cuenta la corrección por turbidez, se puede sobrestimar

seriamente la concentración y la productividad (si se calcula a partir de las concentraciones medidas).

A3) Medición de la salinidad del medio de cultivo con un hidrómetro

Se acepta que la presencia de espirulina en un medio de cultivo no modifica su densidad.

Se utiliza un hidrómetro para densidades (pesos específicos) superiores a 1 (como los que venden en las tiendas de acuariofilia o para medir la densidad de la orina). La lectura se realiza en el nivel inferior del menisco. Espere hasta que se eliminen las microburbujas de aire antes de tomar la lectura.

La densidad DT a la temperatura T°C y la densidad D20 a 20°C están relacionadas por la fórmula:

$$D20 = DT + 0,325 \times (T - 20), \text{ g/l}$$

La salinidad SAL y D20 están relacionadas por las siguientes fórmulas aproximadas para medio de cultivo a base de sales de ceniza o bicarbonato de sodio:

si D20 es mayor que 1007.6:

$$SAL = 1.250 \times (D20 - 1007.6) + 10. \text{ g/litro o}$$

bien por:

$$SAL = 1,041 \times (D20 - 998), \text{ g/litro}$$

NB Existen otros instrumentos más modernos para medir la salinidad: el conductímetro y el refractómetro. Se anota la siguiente equivalencia aproximada: 1 g/l = 2000 μ S/cm.

A4) Medida del pH de un medio de cultivo

Sólo un pHmetro de buena calidad y bien calibrado permite seguir la evolución fina del pH de un cultivo y eventualmente ajustar el progreso del cultivo muy cerca del pH máximo autorizado de 11,2.

El pH varía con la temperatura. El pH medido a T°C debe incrementarse en $K \times (T - 25)$ para obtener el valor a la temperatura estándar de 25°C, dependiendo el coeficiente K del electrodo y del medio. En la práctica, K varía en el rango de 0,006 a 0,018.

Algunos medidores de pH están equipados con una escala de milivoltios más robusta que la escala de pH. Se utiliza para calcular el pH a partir de la indicación en mV utilizando la fórmula teórica:

$$\text{pH a T}^\circ\text{C} = (K1 - \text{mV}) \times K2 / (273 + T)$$

donde K1 y K2 son dos constantes dependientes de electrodos (electrodo de vidrio) determinadas por calibración a partir de soluciones estándar de pH. Esta fórmula se puede escribir, para T = 25°C:

$$\text{pH} = A - \text{mV}/B$$

donde A es el pH para 0 mV y B es la pendiente en unidades mV/pH. Los valores habituales son por ejemplo A = 7 y B = 50. El valor de los mV medidos prácticamente no depende de la temperatura, lo cual es una suerte porque se prescinde de hacer una corrección de temperatura: basta con aplicar la fórmula a la referencia la temperatura.

Para prolongar la vida útil de un medidor de pH, manténgalo alejado de la humedad. Para prolongar la vida de su electrodo, mantenga el extremo sensible del electrodo en

una solución saturada de cloruro de potasio en agua destilada, a una temperatura superior a 15°C, y enjuagar cuidadosamente antes y después de las mediciones, con agua limpia y si es posible desmineralizada. Si el moho se asienta en la solución de KCl, es mejor renovarla.

La fragilidad y la vida útil limitada de los electrodos, y su alto costo, dificultan el uso de un medidor de pH profesional en muchas situaciones. Un medidor de pH barato, "tipo bolígrafo", recalibrado con frecuencia, puede ayudar, pero su vida útil puede ser corta. Los papeles de pH no son lo suficientemente precisos.

Es muy importante no descuidar la calibración de su medidor de pH de vez en cuando.

Las soluciones patrón de pH que se venden en el mercado son caras, pero es posible ahorrarlas utilizando las siguientes soluciones patrón aproximadas (almacenar las de pH medio lejos de la luz para evitar el desarrollo espontáneo de algas) cuyos pH indicados correspondan a 25°C:

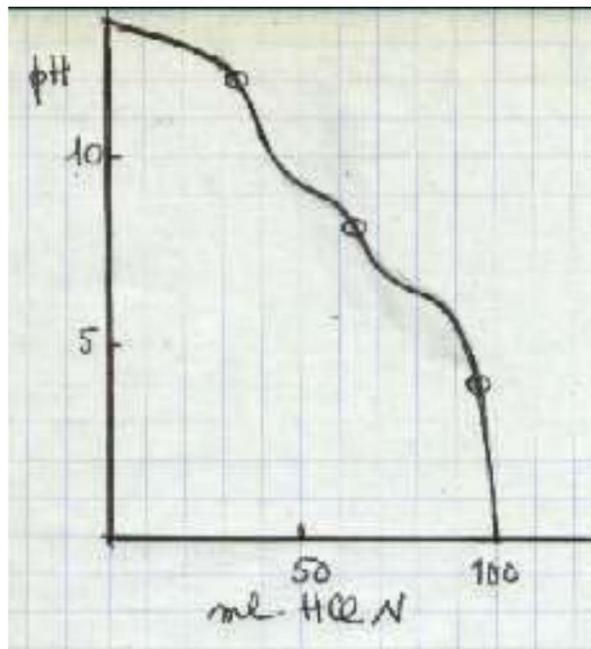
- ácido clorhídrico N (36,5 g/l): **pH 0** ; N/10: **pH 1** ; N/100: **pH 2** -
Zumo de limón: **pH 2,3** - Vinagre "6 grados" (6% ácido acético, densidad 1,01): **pH 2,8** - Solución acuosa a 5,8 g/l de fosfato monoamónico: **pH 4** - Zumo de tomate: **pH 4** - solución acuosa de 5,8 g/l de fosfato monoamónico + 11 g/l de bicarbonato de sodio: **pH 7** - bicarbonato de sodio N/10 (8,4 g/l): **pH 8,3** - solución acuosa de 5,3 g/l de carbonato de sodio + 4,2 g/l de bicarbonato de sodio (o 1,4 g/l de hidróxido de sodio + 5,46 g/l de bicarbonato de sodio) en equilibrio con la atmósfera (mantener en contacto con la atmósfera exterior, no obstruir el recipiente, agregar agua para compensar la evaporación): **pH 9,8** (varía ligeramente según el contenido de CO₂ del aire y la altitud) - carbonato de sodio N/10 (10,6 g/l): **pH 11,6** - hidróxido de sodio N/100: **pH 12** ; N/10: **pH 13** ; N (40 g/l): **pH 14**

NB Con experiencia, es posible prescindir de un medidor de pH para realizar un cultivo de espirulina, especialmente si se cultiva a la sombra o con la adición de bicarbonato de sodio o azúcar.

A5) Medida de la alcalinidad (alcalimetría)

Una muestra del medio de cultivo o agua de ceniza a estudiar se neutraliza gradualmente con un ácido fuerte de normalidad conocida (por ejemplo 159 g de ácido clorhídrico concentrado al 23% HCl + 857 g de agua desmineralizada = 1 litro = 1016 g de "N "ácido, es decir, Normal, a una molécula gramo/litro) hasta pH = 4. Sea V el volumen de muestra y V' el volumen de N ácido utilizado. La alcalinidad es igual a V'/V, moles/litro. NB: la caída del pH es muy brusca por debajo de 5. Si el título del ácido no es exactamente N, corregir V' proporcionalmente. NB: La concentración indicada en las botellas de ácido que se venden en los supermercados es a veces inferior a la realidad (un 9% por ejemplo).

Ejemplo: alcalimetría en 200 ml de agua de ceniza parcialmente carbonatada:



En este gráfico, a pH 4, leemos $V' = 96$, por lo tanto, alcalinidad total $96/200 = 0,48$ N (es decir, 0,48 mol de base/litro). A pH 12 leemos $V' = 33$ de donde potasa libre $33/200 = 0.165$ N.

A pH 8 leemos $V' = 62$ de donde carbonato de potasio = $(62 - 33)/200 = 0.145$ mol/l.

La inflexión a pH 8 corresponde a la transición carbonato/bicarbonato de sodio (aquí no había bicarbonato de sodio en la muestra, el que se mide proviene de la acidificación del carbonato). Lo que comúnmente se denomina "alcalinidad" o "basicidad" corresponde a la alcalinidad total medida a pH 4. En la práctica, se miden pesos en lugar de volúmenes y se desprecia la corrección de peso correspondiente al CO_2 liberado. Esto puede dar lugar a un error del 5% por exceso sobre la alcalinidad de un medio de cultivo medio.

NB Si no tiene un medidor de pH, puede usar un indicador de color que cambia alrededor de $\text{pH} = 4$, como el naranja de metilo (10 gotas de solución acuosa al 1% para 100 ml de muestra a estudiar) que cambia de naranja a rojo, o papel a "Congo rojo".

Advertencia: El ácido clorhídrico "concentrado" que se vende en algunos países es solo HCl al 20%.

A6) Pruebas de calidad fáciles de realizar

A6.1) Prueba de cultivo

A6.1.1) Prueba de filtrabilidad

Para caracterizar la tasa de filtración, se ha establecido una prueba estándar. Mida 400 g de cultivo a probar y viértalos rápidamente en un portafiltros de café forrado con papel de filtro blanco tipo "Grand Jury" o Carrefour N° 4 o equivalente. Tenga en cuenta el peso filtrado en un minuto. Un peso superior a 250 g corresponde a una correcta filtración. No descuide el efecto de la temperatura o la naturaleza del papel en esta prueba. Se recomienda establecer su propia escala de valores con el tipo de papel disponible. Es interesante repetir el ensayo sobre el filtrado obtenido, lo que da una indicación de la cuota de resistencia a la filtración debida a la biomasa y la debida a las impurezas del medio.

En el caso de medios muy poco sucios, se debe afinar la comparación, tomando como referencia el medio nuevo, y comparando con el peso del medio filtrado nuevo (quedan aproximadamente 10 g de líquido en el papel filtro, el soporte del filtro y los recipientes de medida). , por lo que el mejor resultado posible es 390 g).

A6.1.2) Medida de la turbidez del medio de cultivo

Se realiza a la sombra sobre el filtrado obtenido durante la prueba de filtración (A6.1.1), como una medida de concentración con disco de [Secchi](#). Es preferible un disco Secchi negro si la tinción es débil. Espere hasta que se eliminen la espuma y las microburbujas de aire antes de tomar la lectura. Advertencia: la espirulina que filtra mal tiende a pasar a través del papel de filtro, volviendo verde el filtrado; en este caso puede ser preferible volver a filtrar el filtrado en papel doble para eliminar la espirulina antes de medir la turbidez real del medio.

Puede verse que la degradación inicial de un medio se detecta mucho más finamente por la turbidez que por la prueba de filtración. Así, un filtrado con una turbidez de 25 cm muy bien puede ir de la mano con un peso filtrado prácticamente igual al 100% de la referencia. Mientras que la turbidez de un nuevo medio es muy superior a 35 cm, "como el agua".

A6.1.3) Medida de la lavabilidad de la biomasa

Después de la prueba de filtrabilidad (§ A6.1.1), vierta 400 ml de agua dulce en el filtro, diluya la biomasa y anote el volumen filtrado en un minuto. Si la biomasa es del tipo "lavable" (sus células no revientan al contacto con el agua dulce), este volumen se mantiene próximo al del ensayo de filtrabilidad. Confirmar mediante examen microscópico de la biomasa lavada.

A6.2) Pruebas con espirulina

A6.2.1) Prueba de pH

Es fácil hacerse una idea de la calidad del lavado o deshidratación de la biomasa, ya sea tomando el pH de la biomasa prensada (que debe estar entre 7 y 9), o midiendo el pH de una suspensión al 4% espirulina seca en agua. Cuando una espirulina se ha secado a una temperatura bastante alta (60 a 65°C) y se rehidrata, sus células revientan y el pH desciende, a veces hasta 5. El pH obtenido es tanto más bajo cuanto que la espirulina está bien drenada. Este pH bajo sería debido a la acidez interna de las células y/o al inicio de la fermentación.

A6.2.2) Estimación de pigmentos

En la prueba de pH del § anterior se liberan los pigmentos y es posible verlos y juzgar su concentración. El azul a veces tarda en salir (espere 24 horas por seguridad, sacudiendo ocasionalmente). A veces es necesario antes de la prueba calentar el polvo durante unos minutos a 65°C para reventar mejor las células. Por otro lado, es necesario centrifugar o al menos decantar los residuos sólidos porque aún pueden ser ricos en ficocianinas. Para evaluar la concentración de ficocianinas (pigmento azul), colocar una gota de solución decantada sobre un papel secante o papel filtro muy plano y horizontal: se obtiene un cromatograma muy claro; la coloración y el área de la mancha azul es una indicación de la concentración de ficocianina. Pero esta prueba no diferencia la alo-ficocianina de la C-ficocianina: para que dé una indicación más o menos válida, la tinción debe ser cercana a la obtenida con una espirulina de referencia cuyo contenido en C-ficocianina se conoce. Esta prueba no es cuantitativa, pero al menos trabajemos en condiciones comparables.

Para evaluar la concentración de carotenoides (por lo tanto betacaroteno que representa aproximadamente la mitad de los carotenoides), mezcle espirulina en polvo seco con 4 veces su peso de alcohol de 90° (alcohol metílico) o acetona, agite, cubra y espere 5 horas: los carotenoides disuelven, y su color amarillo-marrón más o menos fuerte es una medida aproximada de su concentración. Agitar, decantar los restos de polvo y utilizar el sistema de tinción con papel filtro para apreciarlo.

Atención: la coloración de las manchas es lábil (se desvanece poco a poco por oxidación o descomposición a la luz).

A6.2.3) Prueba de color

El color verde de la espirulina de buena calidad es fácil de detectar. Las muestras de referencia pueden estar en stock para comparar. El tono de verde depende de la cepa (la espiral es menos oscura que la ondulada) y del tratamiento (prensado, extrusión, centrifugado).

A6.2.4) Determinación colorimétrica simplificada de ficocianina

Un método más preciso para medir el contenido de pigmento es la colorimetría. Comience con la misma solución estándar de "prueba de pH" que en el Apéndice A6.2.1. Sea C% la concentración de espirulina seca remojada en agua alrededor del 4%. Dejar decantar y tomar la solución azul, centrifugarla si dispone de centrífuga de laboratorio. Tomar la solución centrifugada o decantada: alrededor de 0,5 a 1 ml. Diluya esta muestra por un factor de aproximadamente 100 con agua. Sea DIL este factor de dilución, en volumen. Mida la densidad óptica (OD) a una longitud de onda de 615 nanómetros (nm), OD615, y a 652 nm, OD652, utilizando un colorímetro o espectrofotómetro (célula de paso óptico de 11 mm). Calcule el % en peso de ficocianina mediante la fórmula:

$$1,873 \times (OD615 - 0,474 \times DO652) \times DIL / C \text{ Un}$$

valor correcto es: > 10% de espirulina seca.

También podemos calcular el % de aloficocianina mediante la fórmula:

$$1,1965 \times (DO652 - 0,208 \times DO615) \times DIL / C$$

NB1/ La DO es igual al logaritmo (base 10) de la relación luz incidente/luz transmitida o de la relación 100 / (% transmisión) o 100/ (100 - % absorción).

NB2/ Si la cubeta utilizada tiene un camino óptico de 10 mm, las fórmulas anteriores se convierten respectivamente en: $2,0603 \times (DO615 - 0,474 \times DO652) \times DIL / C$

$$1,3162 \times (DO652 - 0,208 \times DO615) \times DIL / VS$$

A6.2.5) Determinación colorimétrica simplificada de carotenoides

Añadir acetona al 25% o, en su defecto, alcohol de 90°, a una suspensión del tipo "pH test" anterior, y conservar en refrigeración durante 24 horas. Sea C la concentración de espirulina en esta suspensión. Decantar, y si es posible centrifugar, y tomar P ml de la solución (aproximadamente 0,5 ml). Diluir con acetona o alcohol. Sea DIL el factor de dilución por volumen. Mida la densidad óptica a 450 nm. Sea DO450 esta densidad. La concentración de carotenoides en la espirulina se obtiene mediante la fórmula:

Dónde

$$0,357 \times OD450 \times DIL / C, \text{ mg/g con un paso óptico de } 11 \text{ mm } 0,3929 \times OD450 \times DIL / C \text{ con un paso óptico de } 10 \text{ mm}$$

Un valor correcto es 2,5 mg/g. El betacaroteno representa aproximadamente la mitad de los carotenoides.

NB La DO es igual al logaritmo (base 10) de la relación luz incidente/luz transmitida o de la relación 100/ (% transmisión) o 100/(100 - % absorción).

A6.2.6) Dosificación de humedad en espirulina seca (% agua)

Ponga la espirulina a probar (unos 200 g, no es necesario pesarla) en un recipiente como "Tupperware" (dos litros máximo), bien cerrado y suficientemente transparente

para poder leer el higrómetro digital colocado (pegado) debajo de la tapa. Seguir la evolución del % de humedad relativa (%HR) del aire en el recipiente hasta el equilibrio (alrededor de 2 horas): si este % es inferior a 45, la espirulina cumple la norma (< 9% agua). Para que la medición sea precisa, el conjunto de medición debe estar en equilibrio no solo con respecto a la humedad sino también con una temperatura alrededor de 25°C.

En la zona que nos interesa (%HR entre 10 y 60), el % de agua en la espirulina es igual a $1 + (\%HR)/6$ según nuestras medidas y según Lembi (BIBLIOGRAFÍA).

A7-1) Absorción de dióxido de carbono atmosférico por el medio de cultivo

Medimos la tasa de absorción de CO₂ del aire siguiendo la disminución del pH del medio de cultivo sin espirulina, con agitación débil e intermitente. Conociendo la superficie expuesta al aire, la concentración de álcali, el volumen por m² y la correspondencia entre pH y C (C = CO₂/relación molar base: (ver Anexo 11), es fácil deducir la velocidad de absorción del CO₂ como función del pH. Encontramos valores crecientes de 0 para el pH correspondiente al equilibrio con el aire (alrededor de pH 9,8), en el equivalente de aproximadamente 4,5 g de espirulina/día/m² hacia pH 11.

La teoría dice que la tasa de absorción es proporcional al coeficiente de absorción y la diferencia en las presiones de vapor de CO₂ en el aire y en el líquido. La presión de vapor de CO₂ sobre una solución de carbonato/bicarbonato de sodio se da en la literatura. Kohl y Riesenfeld (1960) dan en "Gas Purification" de Kohl (BIBLIOGRAFÍA) en la página 117, una fórmula que tiene como variables la temperatura, la alcalinidad y la relación c (moles de CO₂/mol de base), en mmHg:

$$pCO_2 = 68,5 \times b_{1,29} (2c - 1)^2 / [(1 - c) \times (333 - 1,8 \text{ xt}) \times (0,0487 - 0,0006 \text{ xt})]$$

dónde :

b = alcalinidad del medio absorbente, gmoles de base fuerte/litro
 c = relación molar CO₂/base correspondiente al pH del medio
 t = temperatura del medio, °C

La absorción de CO₂, expresada en g de espirulina/día/m² (suponiendo 1,8 kg de CO₂ por kg de espirulina) se calcula mediante la fórmula:

$$0,772 \times k_a \times [0,00076 \times \text{vpm} \times (1 - \text{alt}/10000) - pCO_2]$$

dónde :

k_a = coeficiente de absorción,
 gmoles de CO₂ absorbidos/hora/m²/atmósfera
 vpm = contenido de CO₂ en el aire, volumen ppm
 alt = altitud, metros
 $0,772 = (44 \times 24)/(1,8 \times 760)$

El valor promedio de k_a resultante de las mediciones de absorción directa e indirecta (productividad de las cuencas de espirulina alimentadas con carbono solo del aire) es de alrededor de 23. Nuestras mediciones directas realizadas en 1991 en cuencas dieron k_a = 25.

En agosto de 1999 se llenó un recipiente de 6 m² con 1000 litros de medio de cultivo a base de hidróxido de sodio N/10 y se agitó como un cultivo normal. Su pH cayó de 12,44 a 10,68 en 16 días, lo que corresponde a k_a = 24. Entonces k_a = 20 da un gran margen de seguridad.

El valor de vpm es 400 en 2014 en el hemisferio norte, un poco más bajo en el sur.

A7-2) Análisis de CO₂ en el aire

La fórmula anterior (§ A7-1) que da $p\text{CO}_2$ permite medir el contenido de CO_2 del aire con un equipo muy simple, mientras que un analizador de infrarrojos cuesta 4000 €. Simplemente burbujee un pequeño flujo de aire (mini compresor de acuario) a través de un difusor en el fondo de un tubo de ensayo que contenga una solución de bicarbonato de sodio a 8,4 g/l (alcalinidad 0,1 N) y mida el pH en equilibrio. El resultado depende de la temperatura de la solución.

Este método obviamente no es adecuado para cambios repentinos en el contenido de CO_2 del aire, debido a la inercia de la solución. Para reducir esta inercia, es ventajoso reducir el volumen de solución y dividir finamente el gas burbujeante.

Para mediciones a largo plazo, mantenga el tubo de ensayo protegido de la luz para evitar que se ponga verde y agregue agua destilada para mantener el nivel si hay evaporación (si la temperatura de la solución es inferior a la temperatura de rocío del aire analizado, la solución se diluirá gradualmente: en este caso, se debe agregar bicarbonato de sodio para mantener su alcalinidad a 0,1 N).

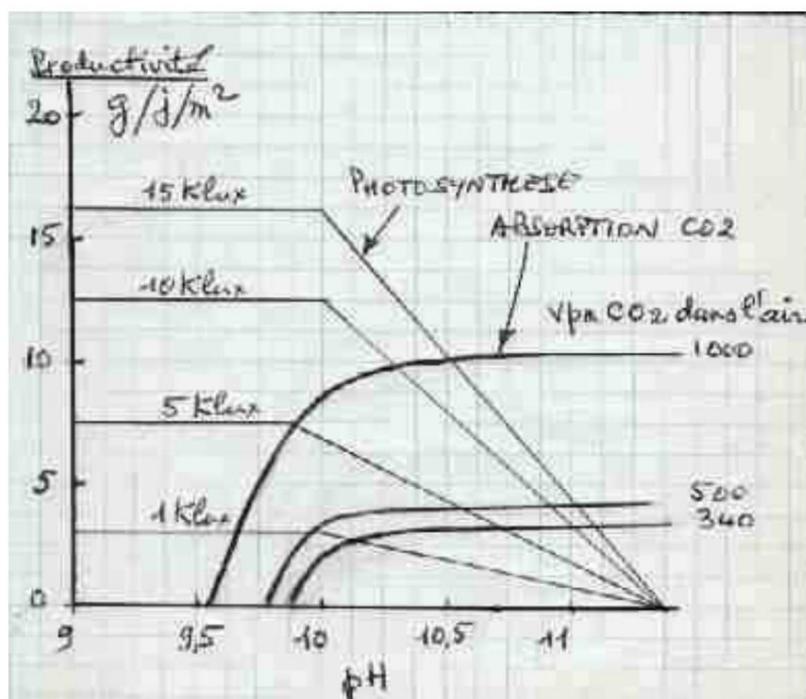
Un pequeño programa (ver [CÁLCULO](#)) hace que sea muy fácil calcular el contenido de CO_2 del aire (en vpm = volúmenes por millón) según la temperatura y el pH de la solución en equilibrio. El programa proporciona una tabla de pH/vpm para cada temperatura deseada.

NB En 2011 Conrad vende un "medidor de CO_2 " por sólo 189 € IVA incluido, cuyas características son más que suficientes: precisión 25 vpm, rango 0 – 3000 vpm de CO_2 en el aire; este aparato se llama Air Control 3000, marca TFA, referencia fabricante 5020-1016, referencia Conrad 101365-62. Esto invalida el dispositivo de construcción propia descrito anteriormente, que, sin embargo, sigue siendo válido y gratuito.

A7-3) pH de un medio de cultivo en equilibrio con la atmósfera

Es fácil calcular este pH combinando las dos ecuaciones dadas en § A7-1 ([absorción](#)). Para facilitar [este cálculo](#) se escribió un pequeño programa (ver [CÁLCULO](#)).

A8) Interacción fotosíntesis/absorción de CO_2



El gráfico anterior muestra ejemplos de variaciones en la tasa de absorción de CO₂ del aire en función del contenido de CO₂ del aire y el pH del medio de cultivo, calculado utilizando la fórmula dada en el Apéndice A7 (fórmula CO₂), y expresado en equivalente de espirulina a razón de 1,8 g/g de espirulina, para las siguientes condiciones: altitud = 0, temperatura = 30°C, $k_a = 18$ y alcalinidad = 0,1 N. Vemos que poco se gana trabajando a pH > 10,3. En este mismo gráfico se han reportado ejemplos de variación en la tasa de fotosíntesis, expresada en la misma unidad que la absorción de CO₂ (en productividad de espirulina), en función del pH, para una luminosidad dada, en ausencia de otros limitantes factores. Estos ejemplos se dan solo con fines ilustrativos sin un valor preciso de los parámetros distintos del pH, simplemente para mostrar el mecanismo de la interacción.

Fotosíntesis/absorción de CO₂. Si seguimos una de estas curvas de velocidad fotosintética partiendo del pH mínimo, vemos que esta velocidad decrece más allá del pH 10. Simultáneamente aumenta la velocidad de absorción de CO₂ y llega un momento en que las dos velocidades se igualan (las dos curvas se cruzan): de allí, el pH ya no puede seguir aumentando; este punto de equilibrio corresponde a la tasa de fotosíntesis en una atmósfera con el contenido de CO₂ indicado. El pH de equilibrio correspondiente es tanto mayor cuanto mejores son las condiciones de fotosíntesis (luz, agitación) y menor el contenido de CO₂ del aire.

A9) Productividad según sombreado, ejemplo calculado por modelo de Simulación, con tasa de purga 1% y con adición de 18 g CO₂/día/m²:

0 % de sombra = 50 % de	14,3 g/día/m ²
sombra = 75 % de sombra	13,3 g/día/m ²
= 80 % de sombra =	9,9 g/día/m ²
	8,4 g/día/m ²

Vemos la débil influencia de la tasa de sombreado hasta alrededor del 50%.

A10) Consumo de agua según sombreado, ejemplo calculado por modelo de Simulación, con tasa de purga 1% y con adición de 18 g CO₂/día/m²:

0 % de sombra = 65 % de	732 litros de agua/kg de espirulina
sombra = 75 % de sombra	556 litros de agua/kg de espirulina
= 80 % de sombra =	623 litros de agua/kg de espirulina
	698 litros de agua/kg de espirulina

Hay un consumo mínimo de agua en torno al 65% de sombra.

A11) Correspondencia entre pH y relación molar C = CO₂/base (sosa o potasa)

Esta relación es de gran importancia para muchos cálculos relacionados con el cultivo de la espirulina. Se ha establecido experimentalmente en el rango habitual de alcalinidad (alrededor de 0,1). También depende ligeramente del valor de la alcalinidad.

Un pequeño programa de cálculo reproduce esta relación (ver [CÁLCULO](#)).

A12) Mezclas de carbonato y bicarbonato de sodio

- Para obtener una solución acuosa que tenga las siguientes características: relación molar CO₂/base fuerte = C y alcalinidad b moles/litro, en un litro de agua se pueden disolver los siguientes productos:

$$\text{Carbonato de sodio} = 106 \times b (1 - C), \text{ gramos}$$

$$+ \quad \text{Bicarbonato de sodio} = 84 \times b \times (2C - 1), \text{ gramos}$$

Combinando esta relación con la del Apéndice A11, es posible calcular las mezclas de carbonato + bicarbonato de sodio dando un pH deseado para una alcalinidad dada.

- Para pasar de una solución caracterizada por C_i y b a una solución caracterizada por V y b , podemos sumar a un litro de la primera $(V - C_i) / (1 - V) = E$, litro de agua y: $84 \times E \times b$, gramos de bicarbonato de sodio.

Advertencia : el carbonato de sodio comprado puede ser una mezcla de carbonato de sodio y bicarbonato (ya sea por bicarbonato natural de carbonato almacenado bajo ciertas condiciones, o porque es natrón o trona); antes de usar carbonato comprobar su contenido en bicarbonato tomando el pH de una solución de 5 g/l (que debe estar próximo a 8 - 8,5).

A13) Neutralización del agua de cenizas con bicarbonato de sodio

El extracto acuoso de cenizas de buena calidad generalmente tiene un pH muy alto cuando se acaba de hacer, hasta 13. Antes de usarlo como base de medio de cultivo es necesario esperar mucho tiempo (por ejemplo 15 días) para que su El pH cae lo suficiente por la absorción de CO₂ del aire.

Un artificio para hacer utilizables estos extractos al instante es disolver en ellos CO₂ puro o bicarbonato de sodio. La cantidad de bicarbonato de sodio ("bicarbonato") que se debe agregar para bajar el pH a 10,5 se puede calcular mediante cualquiera de las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} \text{bicarbonato} &= 187 \times (0,55 - C) \times b, \\ \text{g/l bicarbonato} &= 1,83 \times S - 234 \times C \times S / (56 + 26 \times C), \text{ g/l} \end{aligned}$$

fórmulas donde:

$$\begin{aligned} C &= \text{relación molar CO}_2/\text{base, determinada a partir del pH (ver Anexo 11)} \quad b = \underline{\hspace{2cm}} \\ &= \text{normalidad alcalina del agua de ceniza, moles/l} \\ S &= \text{salinidad alcalina (potasa + carbonato de potasa) del agua de ceniza, g/l} \\ &= b \times (56 + 26 \times C) \end{aligned}$$

NB La salinité alcaline S peut se calculer approximativement à partir de la salinité totale déterminée par la densité (en général la salinité alcaline représente les 2/3 de la salinité totale), mais il est plus précis de la déterminer par alcalimétrie à partir de C y B .

Ejemplo: El agua de ceniza tiene una densidad de 1,013 y un pH de 12,45 a 25°C, es decir, una salinidad total de 18 g/l y $C = 0,4$; la alcalimetría da $b = 0,2$ o una salinidad alcalina $S = 13,3$; bicarbonato de sodio a añadir = 5,6 g/l.

Aplicación a soluciones de sosa cáustica:

La obtención de medios de cultivo a base de sosa cáustica puede considerarse como un caso particular de neutralización del agua de cenizas (que es una solución de potasa cáustica). Este caso puede ser útil cuando el carbonato es más escaso que la sosa, para obtener medios con un pH medio. Ejemplos de mezclas de sosa y bicarbonato de sodio para $b = 0,1$ moles/litro:

6,1 g de bicarbonato de sodio + 1,2 g de soda por litro de agua = pH 10,0
 5,6 g de bicarbonato de sodio + 1,4 g de soda por litro de agua = pH 10,2
 5 g de bicarbonato de sodio + 1,7 g de soda por litro de agua = pH 10,5

NB El uso de soda cáustica requiere las precauciones habituales de uso de productos cáusticos (guantes, gafas).

A14) Composición de varios productos

(Nota: ppm = mg/litro o mg/kg)

Sal marina cruda (sin refinar) Análisis de la sal de La Salorge de Guérande:

Fósforo: prácticamente 0; potasio: 1 a 2 g/kg; azufre: 3 a 7 g/kg; magnesio: 4 a 8 g/kg; calcio: 1 a 2 g/kg; cobre: 2,5 ppm; cinc 0,5 a 2 ppm; manganeso: 4 a 8 ppm; hierro 30 a 100 ppm.

ceniza de madera

Dumon da la siguiente composición de la ceniza en g/kg: Fósforo: 43; azufre: 8; potasio-219; magnesio: 90; calcio 236; manganeso: 50; hierro: 14. Contenido soluble muy variable (del 1 al 25%).

Análisis medio de las sales solubles extraídas de las cenizas, vendidas en los mercados burkineses: mezcla de carbonato potásico y bicarbonato potásico (15 % en peso de bicarbonato potásico) con 10 % de sulfato dipotásico, 0,1 % de fosfato y calcio y trazas de magnesio.

La solubilidad del magnesio y del calcio contenidos en la ceniza depende mucho del pH: casi nula a pH 13, es notable a pH 10 (alrededor de 100 ppm de magnesio en el agua de la ceniza, que también es muy rica en azufre: 1500 ppm).

De <http://www.woodash.net/chart.html> :

Rango en la composición elemental de muestras de cenizas volantes industriales y cenizas de fondo Elemento		
	Cenizas volantes 16,9 (8,6-22,4)	Cenizas de fondo
Boro		1,0 (0,7-1,3)
Potasio	19236-29526	12572-19634
Arsénico	1,0 (1,0-1,0)	1,0 (1-1,0)
Cobre	53,5 (39,5-81,5)	31,3 (24,8-28,0)
Níquel	17,3 (14-24)	14,0 (13-15)
Cadmio	9,6 (3,0-21,1)	5,0 (2,0-13,1)
Plomo	11,0 (4-20)	7,7 (5-10)
Selenio	1,0 (1,0-1,0)	1,0 (1,0-1,0)
Cobalto	6,4 (5,3-8,7)	4,6 (4,2-4,9)
Mercurio	0,01 (0,01-0,01)	0,01 (0,01-0,02)
Zinc	886 (522-1529)	497 (348-896)
Cromo	26,0 (17,0-40,7)	20,3 (16,0-25,4)
Molibdeno	11.3 (7-18)	3,0 (1,0-6,0)

* Media y (Rango) tomados del análisis de 7 muestras de cenizas
* Todos los resultados expresados como mg/kg a menos que se indique lo contrario

La ceniza de madera tiene una composición muy variable dependiendo de la especie pero también de la temperatura de combustión, siendo el potasio y el boro volátiles por encima de los 1000 °C, según "Composición de ceniza de madera en función de la temperatura del horno", Mahendra K. Misra et al. En Biomass and Bioenergy Vol.4, No.2, pp 103-116 (1993), Pergamon Press (<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1993/misra93a.pdf>). Este artículo da (página 111) las siguientes composiciones elementales para la ceniza obtenida a 600°C, en g/kg de ceniza:

- Pino** : Ca = 290,5, K = 162,4; Mg=70,3; S=10,7; p=8,4; Mn = 40,4; Zn=3,6; Fe = 5,8; Al = 4,7; Na=0,6; B=0,6; Cu = 0,4
- Álamo** : Ca = 256,7; K=79,3; ;Mg=90,9; S=10,2; P=9,5; Mn = 4,5; Zn = 0,4 ; Fe=3,2; Al=3,5; Na=2,3; Si = 0,11; B=0,5; Cu = 0,3
- Roble blanco** : Ca = 313,5; K=102,5; Mg=75,7; S=12,1; p=5,6; Mn = 1,4; zinc = 0,8; Fe=0,9; Al=<0,6; Na=<0,3; Si = 1,3; B=0,4; Cu = 0,2

Aguas

Las aguas de los ríos tienen en promedio los siguientes contenidos típicos (en ppm): hierro = 0,1; calcio = 40; magnesio = 14; azufre = 6. Agregar agua a la piscina generalmente proporciona suficiente magnesio y azufre.

El agua del pozo de la Provincia del Pan de Vida en Arequipa, Perú tiene los siguientes contenidos (en ppm): calcio = 72; magnesio = 16; azufre = 50; potasio y fósforo = insignificante. Si la evaporación es de 2,4 mm/día, el agua adicional aporta azufre y magnesio, y por supuesto calcio, para 20 g de espirulina/día/m².

El agua del pozo del Foyer de Charité de Bangui (RCA) no contiene prácticamente calcio, magnesio ni hierro. Lo mismo ocurre con el agua de la ciudad de Linares, Chile.

El agua del pozo de la Escuela de Agricultura de Catemu, Chile, contiene 96 ppm de calcio, 34 de magnesio y 130 de azufre.

Análisis de agua de un lago de espirulina cerca de Tulear (Madagascar): sal = 35 g/l; bicarbonato + carbonatos de sodio (pH 10) = 16 g/l; azufre (de sulfatos) = 0,5 g/l; hierro = 0,44 ppm; calcio = 6,5 ppm; magnesio = 80 ppm; fósforo = 3,6 ppm; nitrógeno = 0,3 ppm (incluyendo 0,2 amoniacal).

Agua Gardon de Mialet: 22 ppm de calcio y 2,4 ppm de magnesio

Agua de mar (ppm): hierro: 0,002 a 0,02; Calcio: 400; magnesio: 1272; fósforo: 0,001 a 0,01; azufre: 900; bicarbonato < 150.

orina humana

Contiene: Nitrógeno = 7 a 12 g/l; fósforo = 0,5 a 0,7 g/l; potasio = 2 a 3 g/l; azufre = 0,8 a 1,2 g/l; sal (cloruro de sodio) = 12 g/l; calcio = 0,13 g/l; magnesio = 0,1 g/l; hierro = 0,3 mg/l; azúcares = 0,15 g/l. Su "producción" es de un litro diario por persona.

Nitrato chileno (Salitre potásico)

Este producto natural corresponde a $2 \text{ NaNO}_3 \cdot \text{KNO}_3$; contiene un 15 % de nitrógeno, un 18,4 % de sodio, un 11,6 % de potasio, un 1 % de azufre (en forma de sulfatos), así como: un 0,12 % de calcio, un 0,14 % de magnesio y muchos oligoelementos (todos los micronutrientes necesarios para la espirulina). Es de color rosa. No confundir con KNO_3 puro (blanco), extraído del salitre, por lo tanto también "natural".

Sangre: Nitrógeno: 350 mg/l; fósforo: 30 a 70 mg/l; hierro: 9 g/l

A15) Equipo útil de laboratorio: ver [Anexo 29](#) _____

A16.1) Productos químicos

Químicos útiles para la espirulina

(Los % indicados son el % en peso de producto puro a menos que se indique lo contrario; pm = peso molar)

- Ácido clorhídrico HCl , pm = 36,5 - Ácido cítrico $\text{COOH-CH}_2\text{-C(OH)(COOH)-CH}_2\text{-COOH}$, pm = 192 - Ácido ortobórico H_3BO_3 , pm = 61,8 (17,14% boro)
- Ácido fosfórico H_3PO_4 , pm = 98 (31,6% fósforo)
- Ácido sulfúrico H_2SO_4 , pm = 98 (32,7% azufre)
- Alumbre de cromo cristalizado, $\text{CrK(SO}_4)_2 \cdot 12 \text{ H}_2\text{O}$, pm = 499,4 (10,3 % de cromo)
- Amoníaco NH_3 , pm = 17 (82% nitrógeno)
- Bicarbonato de amonio NH_4HCO_3 , ww = 79 (17,7% nitrógeno)
- Bicarbonato de sodio NaHCO_3 , pm = 84 - Bicarbonato de potasio KHCO_3 , pm = 100 - Butano C_4H_{10} , pm = 58 (82,8% carbono)
- Carbonato de potasio K_2CO_3 , pm = 138 - Carbonato de sodio Na_2CO_3 , pm = 106 - Carbonato de sodio decahidratado $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$ (= "cristales de soda"), pm = 286 - Cal Ca(OH)_2 , pm = 74 (54% Calcio)
- Cloruro de calcio CaCl_2 , pm = 111 (36% calcio)
- Cloruro de manganeso cristalizado a 4 H_2O , $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, pm = 198 (27% manganeso)
- Cloruro de potasio KCl , mw = 74,5 (52% potasio)
- Cloruro de sodio (sal de cocina) NaCl , mw = 58,5 (60,7% cloro)
- Cloruro de zinc ZnCl_2 , mw = 136,3 (46,5% zinc) [¡higroscópico!]
- EDTA (ácido etilendiaminotetraacético), peso húmedo = 292 - EDTA, sal disódica cristalizada a 2 H_2O , peso húmedo = 372 (78% EDTA)
- Dióxido de carbono CO_2 , pm = 44 (27,3% carbono)
- Molibdato de sodio $\text{MoNa}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ww = 242 (39,7% molibdeno)
- Nitrato de amonio o amonitrato (explosivo seco) NH_4NO_3 , pm = 80 (35% nitrógeno, la mitad del cual es amoniacal)
- Nitrato de calcio $\text{Ca(NO}_3)_2$, pm = 164 (24% calcio y 17% nitrógeno)
- Nitrato de sodio NaNO_3 , pm = 85 (16,5 % nitrógeno; 72,9 % NO_3 ; 27 % sodio)
- Nitrato de potasio KNO_3 , pm = 101 (13,9 % nitrógeno, es decir, 61,4 % NO_3 ; 38,6 % potasio; grado técnico al 91 % de pureza)
- Óxido de molibdeno, MoO_3 , mw = 143,9 (66% molibdeno)
- Óxido de selenio, SeO_2 , pm = 111 (70,4% selenio)

- Óxido de zinc, ZnO, pm = 81,4 (80,3% zinc)
- Fósforo, pm = 31 -
- Fosfato monoamónico NH₄H₂PO₄, pm = 115 (27% fósforo y 12% nitrógeno o 15% NH₄)
- Fosfato diamónico (NH₄)₂HPO₄, pm 132 = (23,4% fósforo y 21% nitrógeno)
- Fosfato dipotásico K₂HPO₄, mw=174 (17,8 % fósforo y 44,8 % potasio, pureza 97 %) [¡higroscópico!]
- Fosfato disódico, Na₂HPO₄, 12H₂O, mw = 358 (8,7% fósforo)
- Fosfato monopotásico KH₂PO₄, mw = 136 (22,7% fósforo, 28,7% potasio)
- Fosfato disódico Na₂HPO₄, 12 H₂O, ww = 358 (8,7% fósforo)
- Fosfato tricálcico Ca₃(PO₄)₂, mw = 310 (20 % fósforo, 39 % calcio), insoluble - Fosfato trisódico, Na₃PO₄.12H₂O, mw = 380 (8,1 % fósforo)
- Potasa KOH, pm = 56 (70% potasio)
- Propano C₃H₈, pm=44 (81,8% carbono)
- Salitre de potasio: 15 % nitrógeno (es decir, 66 % NO₃), 18,4 % sodio, 11,6 % potasio, 1,2 g calcio/kg, 1,4 g magnesio/kg, 10 g de azufre (es decir, 30 g SO₄)/kg - Selenito de sodio (Na₂SeO₃), pm = 173 (45,3 % de selenio) [tóxico]
- Sosa cáustica (o "soda" o hidróxido de sodio), NaOH, pm = 40 - Azúcar (= sacarosa = sacarosa = C₁₂H₂₂O₁₁), pm = 342 (42% carbono)
- Sulfato de calcio CaSO₄, pm = 136 (29% calcio, 23,5% azufre), muy poco soluble - Sulfato de cobalto a 7 H₂O, CoSO₄.7H₂O, pm = 281,1 (20,3% cobalto)
- Sulfato de cobre cristalizado a 5 H₂O, SO₄Cu.5H₂O, pm = 249,7 (24,9% cobre)
- Sulfato de magnesio cristalizado a 7 H₂O (sal de Epsom) MgSO₄.7H₂O, mw = 246,5 (9,6% magnesio y 12,7% azufre, pureza 98%)
- Sulfato dipotásico K₂SO₄, pm = 174 (44,8% potasio y 18,4% azufre)
- Sulfato de hierro cristalizado con 7 H₂O, FeSO₄.7 H₂O, pm=278 (20% hierro)
- Sulfato de zinc cristalizado a 7 H₂O, ZnSO₄.7H₂O, pm = 287,4 (22,7% zinc)
- Urea CO(NH₂)₂, pm = 60 (46% nitrógeno, calidad fertilizante agrícola)

ÓXIDOS (en fertilizantes) (pm

= peso molar)

- Anhídrido fosfórico P₂O₅: pm = 142 (43,7% fósforo)
- Anhídrido sulfúrico SO₃: pm = 80 (40% azufre)
- Óxido de potasio K₂O: pm = 94 (83% potasio)
- Óxido de magnesio MgO: pm = 40 (60% magnesio)

Principales IONES útiles para la espirulina (= peso de un

ion-g)

- Amonio NH₄⁺ = 18
- Calcio Ca⁺⁺ = 40
- Cloruro Cl⁻ = 35,5
- Bicarbonato HCO₃⁻ = 61
- Carbonato CO₃⁻⁻ = 60
- Hierro ferroso Fe⁺⁺, férrico Fe⁺⁺⁺ = 56
- Hidrógeno (protón) H⁺ = 1
- Fosfato PO₄⁻⁻⁻ = 95 (32,6% de P)
- Potasio K⁺ = 39
- Magnesio Mg⁺⁺ = 24
- Nitrato NO₃⁻ = 62 (22,6% N)

- Sodio Na⁺ = 23
- Sulfato SO₄ -- = 96 (33,3% S)
- Cinc Zn⁺⁺ = 65

Principales cristales escasamente solubles que pueden precipitar en el lodo de espirulina

- Carbonato de calcio CaCO₃
- Hidróxido de magnesio Mg(OH)₂
- Hidróxido de zinc Zn (OH)₂ Fosfato de calcio Ca₃(PO₄)₂ Fosfato de hierro FePO₄ Fosfato de magnesio y amonio MgNH₄PO₄·6H₂O

A16.3) Masas atómicas de los elementos de interés para la

espirulina Lista de nombres, símbolos y masas atómicas (redondeadas) de los elementos:

Nitrógeno = N = 14
Boro = B = 11
Calcio = Ca = 40
Carbono = C = 12
Cloro = Cl = 35.5
Cromo = Cr = 52
Cobalto = Co = 59
Cobre = Cu = 63,5
Hierro = Fe = 56
Hidrógeno = H = 1
Magnesio = Mg = 24
Manganeso = Mn = 55
Molibdeno = Mo = 96
Oxígeno = O = 16
Fósforo = P = 31
Potasio = K = 39
Selenio = Se = 28
Sodio = Na = 23
Azufre = S = 32
Cinc = Zn = 65,4

A16.4) Masas moleculares de los principales óxidos e iones de interés para el espíritu

CO₃ = 60 (73,3% CO₂)
HCO₃ = 61 (72,1% CO₂)
K₂O = 94 (83% de K)
NH₄ = 18 (77,8 % N)
NO₃ = 62 (22,6% de N)
MgO = 40 (60% Mg)
P₂O₅ = 142 (43,7% de P)
PO₄ = 95 (32,6% de P)
SO₃ = 80 (40% de S)
SO₄ = 96 (33,3% de S)

A17) Normas para la espirulina en Francia

(Según Orden de 21/12/1979 + actualizaciones)

Relativo al peso seco, en ppm (mg/kg):

Arsénico ≤ 3

Plomo ≤ 5

Estaño ≤ 5

Cadmio ≤ 0.5

Mercurio ≤ 0.1

Yodo ≤ 5000

Tanto para producto fresco como seco:

Gérmenes aerobios (30°C) ≤ 100.000 / gramo

Coliformes fecales (44,5°C) < 10 / gramo Anaerobios

reductores de sulfito (48°C) < 100 / gramo Clostridium

perfringens ≤ 5 / gramo Staphylococcus aureus ≤ 100 /

gramo Salmonella: ausencia en 25 g.

Además, la espirulina debe valorar menos de 1 µg de microcistina por gramo.

NB Ejemplos de límites superiores de pH para el crecimiento de microorganismos en alimentos no deshidratados (en presencia de espirulina viva se podrían obtener diferentes valores; por otro lado, podría haber adicciones a pH > con el tiempo):

Staphylococcus = 9,8

Streptococcus = 9,3

Bacillus = 9,3 B. subtilis

= 10 Clostridium

botulinum = 8,5 Clostridium

perfringens = 8,5 Clostridium

sporogenes = 9 Lactobacillus = 8

E. coli = 10 Salmonella (incluyendo

salmonella typhi) = 9 Vibrio

parahaemolyticus (causa de gastroenteritis) = 11

Vibrio cholerae = 9,6 Pseudomonas = 8 Candida = 9,8

Saccharomyces = 8,6 Penicillium = 11 Aspergillus = 9,3 Listeria

monocytogenes = 9,6

A18) Límites de concentración en el medio de cultivo

Todas las cifras expresan mg/litro (o ppm). Los que figuran entre paréntesis son los del medio de cultivo básico de Zarrouk en su tesis ([Zarrouk](#), página 4). Los máximos generalmente incluyen un margen de seguridad:

Nitrato* = 440 a 6600 (1800)

Amonio* = 0,3 a 30 Urea* <

50 Fosfato** = 0,1 a 300

(270)

Potasio > 10 (665) y relación ponderal K/Na < 5 Magnesio***

= 1 a 30 (19)

Sulfato** > 30 (675)

Hierro > 0,4 (2)

Calcio**** > 0,6 (14)

Boro = (0.5)

Manganeso = (0.5)

Cinc < 1 (0,05)

Cobre < 0.001? (0.02)

Molibdeno = (0.01)

Cromo = (0.01) Níquel = (0.01)

Cobalto = (0.01)

Notas:

* La medición de la concentración de "amonio" por colorimetría con el reactivo de Nessler da la suma de ion amonio NH₄ + amoníaco libre NH₃. Se acepta que aquí el amonio expresa la suma de los dos.

Las dosis mínimas solo se aplican si no hay otra fuente de nitrógeno. Los máximos de amonio y urea no son independientes ya que la urea se hidroliza a amonio; lo que cuenta es el amonio total potencial, o más precisamente el amoníaco libre. Existe un equilibrio entre el amoníaco (NH₄OH) y el amoníaco (NH₃) en el agua, disociándose el amoníaco en iones de amonio (NH₄) e hidroxilo (OH): este equilibrio depende del pH y de la temperatura. El olor a amoníaco es perceptible a partir de 20 ppm de NH₄ + NH₃ a pH 10 y 20°C. Cuanto más alto es el pH, más amoníaco libre hay en equilibrio según la siguiente tabla (a 25°C) que da el % en peso: pH 6 = 0% NH₃ (100% NH₄) pH 8 = 4% pH 9 = 25% pH 10 = 78% pH 10,2 = 92% Es el amoníaco libre NH₃ el que es tóxico y no el ión amonio NH₄, lo que explicaría que dosis de amonio + amoníaco muy superiores a 30 ppm puedan no ser tóxicas a pH bajo. La cepa ondulada (Paracas) es resistente a 75 ppm de NH₃ a pH 10,5 a 20°C, al menos durante uno o dos días.

La tasa de hidrólisis de la urea en sí depende del pH y la temperatura. Nos ha pasado, en plena temporada de producción, añadir por error 350 ppm de urea sin que muera el cultivo (¿hidrólisis lenta?, ¿pH bajo?, ¿evaporación rápida de NH₃?, ¿cepa muy resistente?).

Según el informe Melissa 2004 (pág. 195), una concentración de amonio superior a 80 ppm bajo iluminación > 3 Klux provoca una alta producción de EPS.

Existe una posible reducción de nitrato a amoníaco dependiendo de la reacción general: NO₃K + 2CH₂O (carbohidrato) = NH₃ + 2CO₂ + KOH

Obsérvese de paso que la reducción de nitrato da lugar a un aumento de la alcalinidad, independientemente del agente reductor. Esta ecuación significa que es probable que un kilo de azúcar sea equivalente a 500 g de urea como producción potencial de amoníaco. **Por lo tanto, es la suma de urea más azúcar lo que debe considerarse para calcular el límite de toxicidad, es decir, la regla práctica: "dosis diaria de urea + (dosis diaria de azúcar) / 2 < 50 – 1,7 x (concentración medio de cultivo en amonio) , donde las dosis y la concentración se expresan en mg/l** (en ausencia de azúcar o nitratos, no es necesario tener en cuenta el azúcar

en esta fórmula).

Se han observado casos de reducción brusca de nitratos en ausencia de sacarosa: el agente reductor en este caso sería el exopolisacárido. Esto lleva a desconfiar de niveles de nitrato superiores a 200 ppm, que sin embargo son muy frecuentes.

** Según la tesis de [JFCornet](#) : 0,7 ppm de fósforo y 3 ppm de azufre son suficientes. Es probable que todavía sean suficientes 0,05 ppm de fósforo (caso del agua de mar). Pero no se recomienda trabajar a menos de 5 mg de PO₄/litro y, para permitir una buena productividad, es necesario asegurar más de 20 mg/litro.

*** El fosfato amónico magnésico mixto y el fosfato magnésico, muy poco solubles, forman fácilmente cristales en el medio de cultivo si se supera su producto de solubilidad. Existe una relación entre el fosfato, el magnesio y el amonio,

**** A pH alto (> 10,5) la solubilidad del calcio disminuye por la precipitación de la caliza.

Los límites son a menudo desconocidos o están mal definidos. Por ejemplo, el cobre en la dosis utilizada por Zarrouk debería ser tóxico. Los límites pueden depender de las condiciones de crecimiento.

A.19) Composición elemental de la espirulina:

Carbono = 468 g/kg
Oxígeno = 279 g/kg
Nitrógeno = **124** g/kg
Hidrógeno = 95 g/kg
Potasio = 6,4 – **16** g/kg
Fósforo = 6,7 – **10*** g/kg
Azufre = 6 – **11** g/kg Cloro =
4,2 g/kg Magnesio = 2 – **3,5**
g/kg Sodio = 2 – **6** g/kg
Calcio = 1 – **7**** g/kg Hierro
= 600 – 1800 mg/kg (= ppm)

Boro = 80 mg/kg (= ppm)
Manganeso = 25 – 37 mg/kg (= ppm)
Cinc = 40 *** mg/kg (= ppm)
Cobre = 8 -10 mg/kg (= ppm)
Molibdeno = 7 mg/kg (= ppm)
Níquel = 3 mg/kg (= ppm)
Cromo = 2,8 mg/kg (= ppm)
Vanadio = 2 mg/kg (= ppm)
Cobalto = 1,5 mg/kg (= ppm)
Selenio = 0,3 mg/kg (= ppm)

(los valores en negrita se han conservado para establecer los cálculos alimentarios de MEDFEED) o 12 cuando la espirulina

* se produce en condiciones en las que se forma poco EPS (según tesis de [JFCornet](#) , página 166).

** muy variable: un trabajo reciente da un contenido de calcio de 7 g/kg ([Vonshak \(1997\)](#), página 149) y es posible llegar a 14 g/kg.

se puede aumentar hasta 1 g/kg si se desea.

La composición de los productos nutricionales se da en el [Apéndice 20](#). Se observarán algunas diferencias importantes con la tabla anterior, en particular con respecto al calcio, sodio y hierro; la composición de la espirulina está sujeta a variaciones según las condiciones de cultivo. Así [Cornet](#), (página 125) indica para la espirulina producida a bajo flujo luminoso (5 a 20 W/m²), en g/kg:

Carbono = 505 g/kg
Oxígeno = 310 g/kg
Nitrógeno = 100 g/kg
Hidrógeno = 67 g/kg

A20) COMPOSICIÓN APROXIMADA DE LA ESPIRULINA EN ELEMENTOS NUTRICIONAL

Proteína = 65 % en peso (estándar: >50)
Carbohidratos = 15% por peso
Minerales = 7% por peso (cenizas totales: <10)
Lípidos = 6% en peso
Fibra = 2% por peso
Agua = 5% por peso (estándar: <10)

Contenido energético = 3800 gcalorías o 16 kJ/gramo seco.

Según los avisos de Flamant Vert:

VITAMINAS

Betacaroteno = 1400 mg/kg = 2330 Unidades Internacionales (UI)
E (tocoferol) = 100 mg/kg B1
(tiamina) = 35 mg/kg B2
(riboflavina) = 40 mg/kg B3 o PP
(niacina) = 140 mg/kg B5 (ácido
pantoténico) = 1 mg/kg B8 o H (Biotina) =
0,05 mg/kg B12 (Cobalamina) = 3,2 mg/kg
(esta B12 no sería completamente asimilada por el cuerpo: ver nota debajo de [B12](#))

Inositol = 640 mg/kg K
(Filoquinona) = 20 mg/kg

AMINOÁCIDOS

Alanina = 47 g/kg
Arginina = 43g/kg
Ácido aspártico = 61 g/kg
Cistina = 6 g/kg
Ácido glutámico = 91 g/kg
Glicina = 32g/kg
Histidina = 10 g/kg
Isoleucina = 35 g/kg
Leucina = 54 g/kg
Lisina = 29g/kg

Metionina = 14 g/kg
Fenilalanina = 28 g/kg
Prolina = 27 g/kg
Serina = 32 g/kg
Treonina = 32 g/kg
Triptófano = 9 g/kg
Tirosina = 30g/kg
Valina = 40g/kg

PIGMENTOS

C-Ficocianina = 150 g/kg
Clorofila a = 11 g/kg
Carotenoides = 3,7 g/kg
(incluyendo betacaroteno = 1,4 g/kg)

ACIDOS GRASOS ESENCIALES

Ácido linoleico = 8 g/kg Ácido
gamma-linolénico (GLA o GLA) = 10 g/kg No debe haber
ácido alfa-linolénico (ALA): si lo hay, la espirulina está contaminada con otra cianobacteria.

ENZIMA

Superóxido-dismutasa = 1,5 millones de unidades/kg

MINERALES

Cromo = 3 mg/kg
Calcio = 10000mg/kg
Cobre = 12 mg/kg
Hierro = 1500 mg/kg
Magnesio = 3000 mg/kg
Manganeso = 30 mg/kg
Fósforo = 8000 mg/kg
Potasio = 14000 mg/kg
Sodio = 4000mg/kg
Cinc = 30 mg/kg

NB sobre la vitamina B12

En 2006 circuló en ciertos círculos vegetarianos/veganos una virulenta aversión a la espirulina, acusada de impedir la asimilación de la verdadera vitamina B12. Por ejemplo, aquí hay un texto que se encuentra en Internet sobre este tema: *“Los productos de soya fermentada, como el miso, el tempeh, el shiitake (hongos secos), las algas como la **espirulina**, el nori prácticamente no contienen vitamina B12. Aunque estos alimentos a menudo se venden en tiendas naturistas como "excelentes fuentes de vitamina B12" y son consumidos por la comunidad macrobiótica, en realidad contienen muy poca vitamina B activa (cobalamina), en caso de que la tengan. En su lugar, un elemento similar a la vitamina B12 que no está activo y en realidad bloquea la absorción de la verdadera vitamina B12. »*

Jacques Falquet resume muy bien el estado actual del conocimiento sobre este importante tema de la siguiente manera:

Una proporción variable (pero elevada) de la vitamina B12 presente en la espirulina es en realidad uno (o varios) análogos desprovistos de actividad de la B12 en humanos. Esta proporción varía según la espirulina analizada; la de Hawái contendría el 36 % de B12 activa. Los análogos de B12 existen en muchos productos alimenticios y son detectables naturalmente en el plasma humano. La vitamina B12 presente en las tabletas multivitamínicas puede convertirse espontáneamente en análogos no asimilables. El peligro real de los diferentes análogos de B12 es actualmente desconocido (sin estudios clínicos serios).

La literatura científica no reporta ningún caso de trastornos relacionados con los análogos B12 de la espirulina (más de 30 años de consumo de espirulina en países industrializados).

La población de Kanem (donde se consume tradicionalmente la espirulina) no parece verse afectada por ningún trastorno en particular (pero la anemia perniciosa es mortal y sus síntomas son "espectaculares").

A21) ELEMENTOS DEL PRECIO DE COSTO

(Precio en Francia IVA 20,6% incluido y al por menor a menos que se indique lo contrario)

(Estos precios están expresados en US\$ sobre la base de 1 €/US\$ en 1999, pero siguen siendo válidos aproximadamente en 2014 en €)

(Las indicaciones de los proveedores no tienen carácter de exclusividad ni publicidad)

RESUMEN

[Películas](#) [Geotextiles](#) [cubierta de piscina](#)
[Tornillos para chapa](#) [Pinturas para alimentos de madera](#) [Apuestas](#) [tubería](#)
[Bloques de arena](#) [sombras](#) [aisladores](#)
[Filtros Bombas](#) [prensas](#)
[Grifos de medidor](#) [Compresores](#)
[programadores](#) [fotovoltaica](#)
[Motorreductores](#) [Extrusoras](#) [Secadoras](#)
[Trituradoras de embalaje](#)
[productos](#) [Laboratorio de Análisis](#)
[Invernaderos](#) [Sets Spirulina](#) [Flete](#)

Arcilla pura (densidad 2,2 kg/l) = 0,5 \$/kg

Películas

- Polietileno negro, espesor 0.15 mm, ancho 3 m = 0.35 \$/m² (Arequipa)
- Polietileno negro, 0,15 mm de espesor, 8 m de ancho = 0,3 \$/m² por lote de 300 m² o \$1,17/m² al por menor
- Polietileno negro, 0,3 mm de espesor, 6,5 m de ancho = 0,98 \$/m² por lote de 400 m² - Piscicultura negra EVA, 0,5 mm de espesor, 4, 6 o 10 m de ancho, garantizado 15 años = \$5,08/m² minorista
- PVC verde alimentario, espesor 0,5 mm, ancho 4 o 6 m, garantizado 10 años = \$6,77/m² minorista
- PVC negro, espesor 0,5 mm, no alimentario, ancho 2,05 m = 1,8 \$/m² por lote grande
- PVC negro, 1,2 mm de grosor, apto para uso alimentario y fácilmente soldable = 6,67 \$/m² en lote grande
- PVC gris, grueso. 1,2 mm, 1150 g/m², colocado por empresa = 4,5 \$/m² (España)

- Geomembrana en PP flexible (calidad de agua potable), de espesor. 1,5 mm, instalado por la empresa = \$20/m²
- EPDM negro, grueso. 1,14 mm, 1161 g/m², en rollo de 6,1-12,2 m de ancho = \$6/m²
- Polietileno de efecto invernadero (en Cd), grosor de 0,2 mm, ancho de 6,5 m = 2 \$/m² al por menor o \$0,8/m² por rollo de 390 m² (78 kg)

- Polietileno de invernadero (en Cd), espesor 0,25 mm, ancho 4 m = menudeo \$0,6/m² (Perú)

- Polietileno de invernadero (incolore), 200 µ, ancho 8 m, en rollos de 3500 m² (713 kg) o en rollos de 400 m², ancho 6,5 m =) = \$0,75/m²
- Hule (calidad gruesa) = \$8/m² menudeo
- Proveedores de películas y lonas: Celloplast, Route du Préaux, F53340-Ballée, Tel 43984602 o revendedores (Sr. Bricolage, Cooperativas agrícolas)*

Proveedor de planchas de EPDM: Giscosa, Diagonal, 611-10A planta, 08028 Barcelona (en Francia Véronique Bellity, 06.68.54.15.55)

Geotextiles

- Bidim, 200 g/m², 4 m de ancho = precio minorista \$1,68/m²

Proveedores: Materiales de construcción

Cobertor de **alberca** - Fibra de

vidrio-poliéster, corrugado, 0,9 m de ancho, 2 m de largo = \$15,7/m² o \$11,3/m² (Arequipa) - Vidrio de ventana de 3 mm = \$20/m² - Lámina corrugada galvanizada, ancho 0,9 m, largo 2,5 m = \$9,3 /m² - Techo tradicional africano de paja sobre estacas y marco de madera tratada = \$8/m² cubierto (Koudougou, Burkina Faso)

- Invernaderos "capilla" uno al lado del otro, cubiertos con película de polietileno anti-UV (todos instalados, computadora y sombra incluidos) = \$16 a \$23/m² útil cubierto
- Proveedores (invernaderos): Richel-Serres de France, Quartier de la Gare , F13810 -Eygalières, www.richel.fr*

hojas

- Fibra de vidrio-poliéster translúcida plana, ancho 1 m = 12,3 \$/m²
- Chapa plana galvanizada, espesor 0,5 mm, 1x2 m = 3,3 \$/m²

Madera (abeto crudo sin tratar)

- Tablones de madera en bruto, espesor 27 mm, longitud 2,5 m = 5,8 \$/m²
- Tablones cepillados, espesor. 14 mm, ancho 80 mm, largo 2 m (en madera de ayou) = 50 \$/m² (Mr Bricolage)

- Listones de madera en bruto, 27 x 27 mm, de largo. 2 m = 0,3 \$/

- m - Listones de madera en bruto, 3 x 4 cm, de largo. 2 m = 0,5 \$/

- m - Listones de madera en bruto, 8 mm x 27 mm, largo 2,5 m = 0,27 \$/m (Mr Bricolage)

- Vigas de madera sin tratar, 6 x 8 cm, longitud 5 m = \$1,4/m

- Solla cepillada, 14 mm x 14 mm, 2 m de largo = 0,83 \$/m (Mr Bricolage)
- Pinturas comestibles: ver en Internet

Estacas

- acero (tee) pintadas, largas. 1 metro = \$2.5/pieza

Tubos:

acero galvanizado de 50 mm, en longitudes de 6 m = \$3,5/m

Tornillos

galvanizados - 4x40 mm = \$10/200
piezas - 4 x 30 mm (dientes) = \$0,05 cada
uno - 5 x 30 mm = \$5/100 piezas - 8x60 mm
(dientes) = \$0,17 cada uno - 8x100 mm
(dientes) = \$0,23 cada uno - 8x120 mm
(tornillo dentado) = \$0,30 cada uno -
8x140mm (tornillo dentado) = \$0,55 cada uno

Bloques de **hormigón** ("bloques de cemento" en Bélgica) de 50 x 20 x 20 cm (entregados en el sitio) = \$1/pieza

Arena (entregada en el sitio) = \$43/metro cúbico

Redes de sombra

- Canisse, ancho 2 m = \$3,5/m²; 1 \$/m² (Bangui, República Centroafricana); 1,2 \$/m² (Cotonú)
 - Sombra ("Malla Rashel" = plástico tejido), negra, 80%, ancho 4 m = 1,1 \$/m² (Chile)
 - Sombra (plástico tejido), negra, 66 %, 50 mx 2,8 m = 1,45 \$/m²
- Proveedores: Celloplast, Route du Préaux, F53340-Ballée, Tel 43984602 o revendedores
(Sr. Bricolage, cooperativas agrarias)*

Lámparas hortícolas (sistema completo con balasto y reflector, bombilla Philips Son-T Agro garantizada para 10.000 horas, 13 W/klux/m²)
400 vatios = \$300

Aislamiento - multicapa flexible de 20 mm de espesor (equivalente a 200 mm de lana de roca), en rollos de 1,58 mx 10 m = 15 \$/m² - poliestireno extruido rígido en lámina de 4 cm de espesor = 9 \$/m²

Soportes de tela filtrante

- Malla de Polietileno "Grid" 5 mm NORTENE, ancho 1 m = 4,7 \$/m² menudeo
- Mosquitero de fibra de vidrio, ancho 0.6 o 1 m = \$6/m² menudeo
- Mosquitero de nylon, ancho 1 m = \$1,35/m² (Arequipa, Perú)
- Red de nylon de malla de 10 mm = \$3/m²

Filtros

- Tela filtrante de monofilamento de poliéster, 30 micras, ancho 1,42 m. = \$51,3/m² - Tela de tamizado de monofilamento de poliéster, 315 micras, ancho 1,58 m = \$14,3/m² - Tela de filtración de poliéster (Tergal), tela ordinaria para revestimiento = 1,7 a 3,3 \$/m² - Marco de serigrafía, tela de poliéster monofilamento de 25 micras = \$165/m² *Proveedor de telas de filtración (30 µ):*

*Nombre del proveedor: SEFAR FYLTIS
Dirección: BP 3175 Lyon Cedex 03, Francia*

tel 33 4 72 13 14 15

fax 33 4 04 72 13 14 00

Cuenta de cheque postal: N° 7878 45 Y, Centre

Lille Referencia del lienzo de 30 µ: Referencia del

artículo: 72556AC Denominación: Ancho 1420 mm,

largo 4 metros, 07- 30 /21 / Precio PETEX (21/01/2000): 362 FF por metro, más 20,6% IVA (excepto exportación) + alrededor de 4% (seguro + transporte + embalaje).

aspiradoras

- Aspirador profesional, 300 m. cubo/h, 20 kPa, 1200 W = \$1000 - Aspiradora doméstica = \$300

Zapatillas

□ Bomba de acuario, 1000 l/h, 14 W, 220 V = \$31

(El precio puede bajar a \$24 por grandes cantidades)

(Se pueden encontrar valiosas bombas en Turquía a un precio mucho más bajo)

- Bomba de acuario, 1200 l/h, 32 W, 220 V = \$37

- Bomba de vacío para bodega, vortex, 16000 l/h, 1 kW, 220 V = \$182

- Bomba de vacío de bodega, vortex, 5000 a 12000 l/h, 300 a 400 W, 220 V = \$100

- Bomba de sótano ordinaria, 5000 l/h, 200 a 300 W, 220 V = \$60

- Transformador de seguridad para bombas de acuario (con pantalla aislante conectada a tierra), 500W = \$100

Proveedores (bombas para acuarios Maxi-Jet): Aquarium Systems 43 rue Gambetta, F57400-Sarrebourg, Tel 0387031098 o tiendas de acuariofilia

Prensas -

Acero inoxidable con tornillo superior, para jugo de frutas, 4

litros = \$190 Proveedor: Etablissements J. Perraud, 7 route Nationale, F42470- Saint-Symphorien-de Lay, Tel 0477647879

Grifos :

todo de plástico, 25 mm de diámetro = \$ 30

Contadores de agua

- todo plástico, diámetro 38 mm = \$350

Compresores de aire

- Tipo de acuario: 300 l/h, 6 Watt = \$27

- Tipo de acuario: 150 l/h = \$12

- Sin aceite: 8 bares, 12000 l/h, 1100 Watt, tanque de 6 litros = \$215

- Manguera de aire comprimido de 8 bar en carrete, 20 m = \$48

- Manguera para aire comprimido 8 bares en resorte, 5 m = 20 \$

- Tubo de PVC de 4 mm para acuario = 0,53 \$/m

- Dispensador de 3 Grifos para Acuario = \$4.7

programadores

- En 220 V alterna = 20 a 28 \$ (Francia y Chile)

- En 12 V CC = \$120

fotovoltaica

- Panel de Si monocristalino, 12 V, 22 W = \$270

(+ Regulador/cargador de batería = \$100)

- 12 V, 15 AH, a prueba de agua = \$50
- Convertidores de corriente eléctrica de 12 V DC a 220 V potencia 40 W = \$120 potencia 100 W = \$230

Motorreductores

- 180 W, 220 V = \$251 - 30 rpm, 100 W, 220 V = \$240 - 20 rpm, 80 W, 220 V = \$208 - 20,8 rpm, 10 W restaurado, 220 V, motor asíncrono (Crouzet ref 80667-009- INV) = \$230

- Extrusoras** (Pistolas extrusoras para silicona en cucharones) - manual, capacidad 300ml, modelo SIKA = \$37 (\$47 en Chile) - manual, capacidad 300ml, importada de China (*buena calidad*) = \$3 - manual, capacidad 600ml, modelo SIKA MK5C = 49 \$ - aire comprimido, 600 ml, modelo SIKA DKR600 = 267 \$ - empujador (para hacer salchichas), acero inoxidable, 10 litros, manual = 500 \$
- funda de PE de grado alimentario de 60 µ, diámetro 50 mm = 24 \$/km

Proveedores (pistolas pulverizadoras Sika): Sika, 101 rue de Tolbiac, F75654-Paris cedex13, Tel 0153797900 o revendedores (productos para la construcción)

Secadoras

- Secadora eléctrica, potencia 600 Watt, modelo Stöckli con 3 bandejas = \$67 (Suiza); la bandeja adicional = \$1.7 Proveedores: A. & J. Stoeckli, CH-8754- Netstal GL o revendedores (en Suiza)

Muelas

- molinillo manual (Corona) = \$20 (Chile)

embalaje

- Bolsas de plástico metalizadas termosellables, verticales o no, capacidad 800 g de espirulina molida = \$0,41 cada una por 5.000 unidades o \$0,34 cada una por 10.000 unidades; capacidad 100g = \$0.078 pieza por 10,000 unidades (sin imprimir) o \$0.113 impreso. - sellador eléctrico de bolsas de plástico aluminizado = \$333 Proveedor: Bernhardt, BP 69, F62201-Boulogne/Mer, Tel 0321315091

Productos Químicos

- Ácido clorhídrico 33% = \$1,17/litro - Ácido cítrico en sacos de 25 kg = \$1,9/kg (Costa Rica)
- Ácido fosfórico 78% en bidón (24% P) = 0,6 \$/kg (España)
- Ácido fosfórico 85% en bidón de 25 kg (27% P) = 1 \$/kg (Costa Rica)
- Bicarbonato de sodio zootécnico en bolsa de 25 kg = \$ 0,35/kg - Bicarbonato de sodio natural de EE. UU. con una pureza del 99,8%, en sacos de 25 kg = \$0.4/kg (Costa Rica)
- Bicarbonato de sodio dietético por 500 g = \$2.7/kg
- Butano líquido = \$1,3/kg en botellas retornables de 13 kg; \$0,69/kg (Chile); \$0.713/kg (Cotonú) + depósito
- Carbonato de sodio técnico ligero = \$1/kg
- Cloruro de sodio crudo molido en un saco de 50 kg = \$0,22/kg; \$0,083/kg (Arequipa), 0,117 (España)

- Cloruro de sodio comestible (sal fina) en saco de 50 kg = \$0,27/kg
- Cloruro de sodio grado alimenticio (sal fina) en bolsa de 10 kg = \$0.38/kg
- Sal disódica de EDTA, 2H₂O, por 1 kg = \$50/kg
- Ferfol (Hierro quelado con EDTA al 13% de hierro), por 1 kg = 25 \$/kg
- Dióxido de carbono líquido en botella de 30 kg = \$0,863/
kg (Iquique, Chile) botella incluida, o \$0,63/kg (Arequipa,
Perú) + botella (\$2/mes + depósito de \$233)
- Dióxido de carbono líquido en botella de 22 kg =
\$3/kg (Alès, Francia) + botella (\$8.8/mes + depósito de \$200)
- Dióxido de carbono líquido en botella de 25 kg (Chile) =
\$1,25/kg + botella (\$5,8/mes) [Regulador = \$12]
- Dióxido de carbono líquido a granel, alquiler de almacenamiento incluido, excluyendo vaporizador (costo \$4.500),
para 6 toneladas/año
= \$0.5/kg
- Nitrato de potasio cristalizado, fertilizante, en sacos de 50 kg = \$0,68/kg
- Nitrato de soda chileno, fertilizante nitrogenado al 16%, en sacos de 50 kg = \$0,53/
kg
- Oligoelementos en solución concentrada (fórmula J. Falquet) = 0,033 \$/kg de espirulina - Propano
líquido granel = 0,5 \$/kg - Fosfato monoamónico cristalizado, fertilizante, en sacos de 25 kg = 1,05 \$/kg
- Fosfato dipotásico técnico en saco de 25 kg = \$3,58/kg - Sequestrene 100 SG (hierro quelado con
EDDHA al 6 % de hierro), por 1 kg = \$42,5/kg

- Soda anhidra en caja de 1.3 kg = \$3.33/kg, en bolsa de 25 kg = \$1.63/kg
- Azúcar blanca en bolsa de 1 kg = \$1/kg (1,17 en Bangui)
- Azúcar morena cristalizada en saco de 50 kg = \$0.35/kg (Arequipa)
- Sulfato dipotásico cristalizado en saco de 25 kg = \$0,48/kg o en saco de
5 kg = \$2,3/kg
- Sulfato de magnesio cristalizado, fertilizante, en sacos de 25 kg = \$0,32/kg
- Sulfato de hierro para análisis (FeSO₄, 7H₂O), botella de 1 kg = \$35/kg
- Sulfato de zinc (ZnSO₄, 7H₂O) para análisis, botella de 1kg = \$25/kg
- Urea = urea en perlas, agrícola, en sacos de 50 kg = \$0,25/kg; \$0,28/kg
(España), \$0,27/kg (Arequipa)

Equipo de laboratorio

- Anemómetro (medición de la velocidad del viento) de 0,2 a 30 m/s (en Conrad en enero de 2006) = 30 euros
- Balde PE blanco para alimentos, 35 litros = \$28
- Balanza electrónica 5 kg = 50 \$
- Báscula electrónica 100g (a 0,1g) = \$167
 - Balanza electrónica 250 g (a 0,05 g) Voltcraft (en Conrad enero 2006) = 60 euros
 - Peso de calibración 100 g = 13 euros
- detector de CO (en Conrad en enero de 2006) = 40 euros
- Microscopio monocular = \$142 a \$333
- Microscopio portátil (x 100) = \$50
- Hidrómetro = \$17 a \$29
- Termómetro de alcohol = \$3 a \$17
- Termómetro infrarrojo (medición sin contacto) = \$50
- Termómetro-humidímetro electrónico = \$25 a \$98 - pHmetro
profesional = \$400 a \$580 (incluyendo electrodo \$60 a \$100) - pHmetro-
termómetro = \$277 - pHmetro "Piccolo" = \$154 - pHmetro simplificado (tipo
"bolígrafo") = \$58

- Estándares de pH 4 -7-10 (60 ampollas) = \$100 -
- Estándares de pH 4 - 7 - 10 (15 cápsulas o "almohadillas") = \$22 -
- Aquamerck amonio 0.5 - 10 ppm (150 dosis) = \$64 - Tiras de nitrato Merckoquant (100 dosis) = 50\$ (80€ en 2018)
- Tiras de sulfato Merckoquant (100 ensayos) = \$37 - Tiras de calcio + magnesio Merckoquant (100 ensayos) = \$37 - Tiras de calcio Merckoquant 10 – 100 ppm (60 ensayos) = \$69 - Analizador de CO2 en el aire, IR = \$400 - Luxómetro digital 50 Klux = \$50 - Oxímetro digital (Conrad 2007) = \$216

Análisis, \$/unidad

- % proteína = 15 - %
- humedad = 7,8 - %
- ceniza bruta = 6,7
- % SBA = 97
- Fósforo total = 18,3
- Nitratos = 24,7
- Hierro = 26,2
- Otros metales = 20 (promedio)
- Betacaroteno = 100
- Microbiología = 64
- Perfil de ácidos grasos = 150
- Cianotoxinas = 250 (para una docena de muestras simultáneas)

Conjuntos, Invernaderos

- Estanque de cultivo bajo invernadero túnel con rueda de paletas (1000 m²) = 25 \$/m²
- Invernadero en film PE sobre estructura de acero (1000 m²) tipo túnel = \$7/m² ventilado y sombreado tipo multispan = \$19/m² (en 2000)
- Invernadero moderno para cultivo hidropónico (tomates por ejemplo) totalmente equipado con computadora, iluminación auxiliar, modulación de sombra y ventilación: \$125 sin IVA/m² por diez hectáreas (en 2012, en Europa)
- Granja completa de espirulina con estanques de invernadero, secadores de estantes, terrenos, etc... pero excluyendo la purificación = \$250/m² (en 2002)

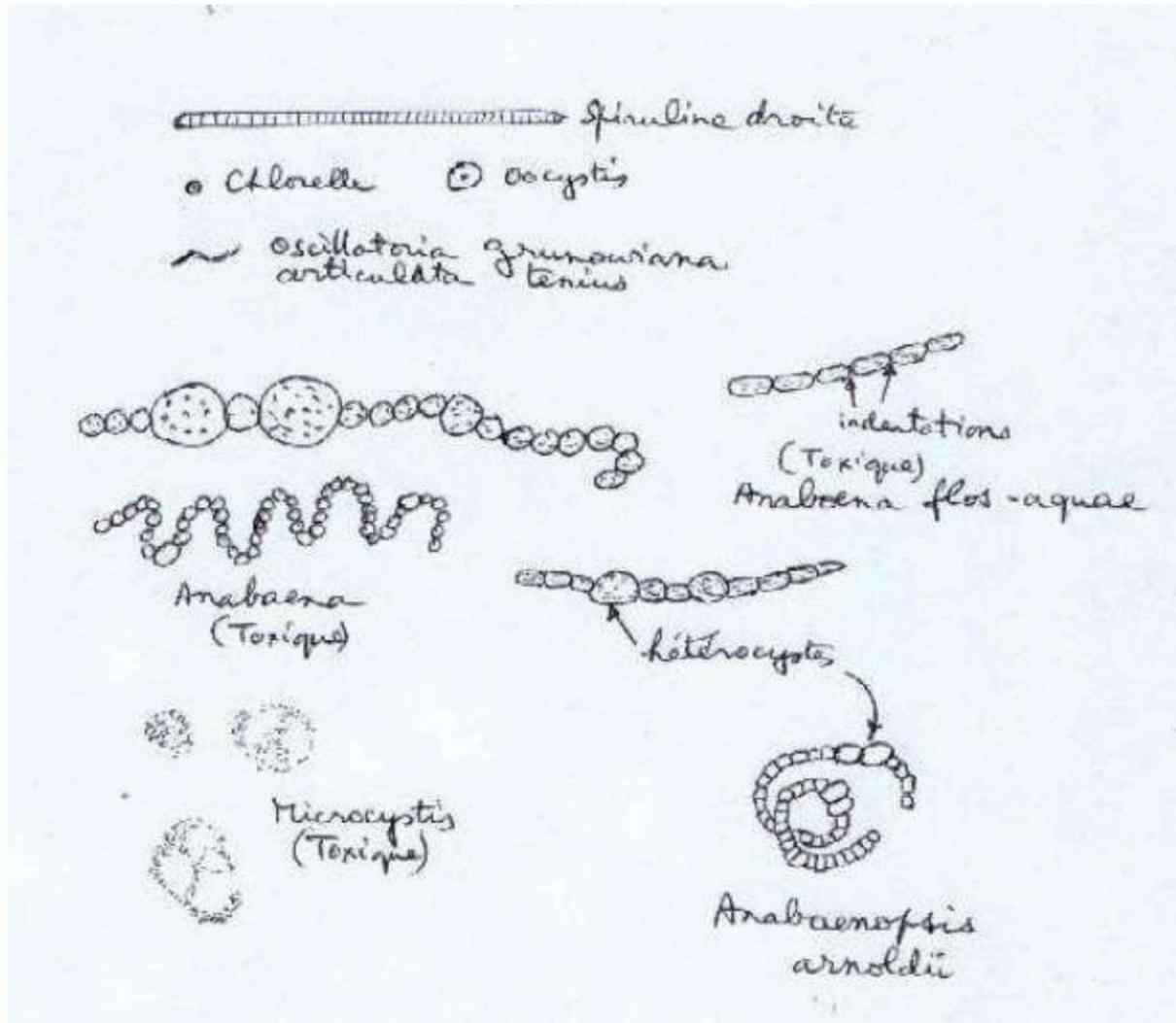
Espirulina seca (Precio de venta sin impuestos)

El precio de venta de la espirulina seca es extremadamente variable dependiendo de la ubicación, las cantidades, la calidad, el empaque, la situación, etc. En 2012 el precio internacional por tonelada procedente de China o India cayó alrededor de \$5/kg. A nivel minorista, la espirulina en polvo se puede encontrar a alrededor de \$ 150/kg en 2014 en Francia, mientras que en cápsulas se vende en farmacias a alrededor de \$ 300/kg.

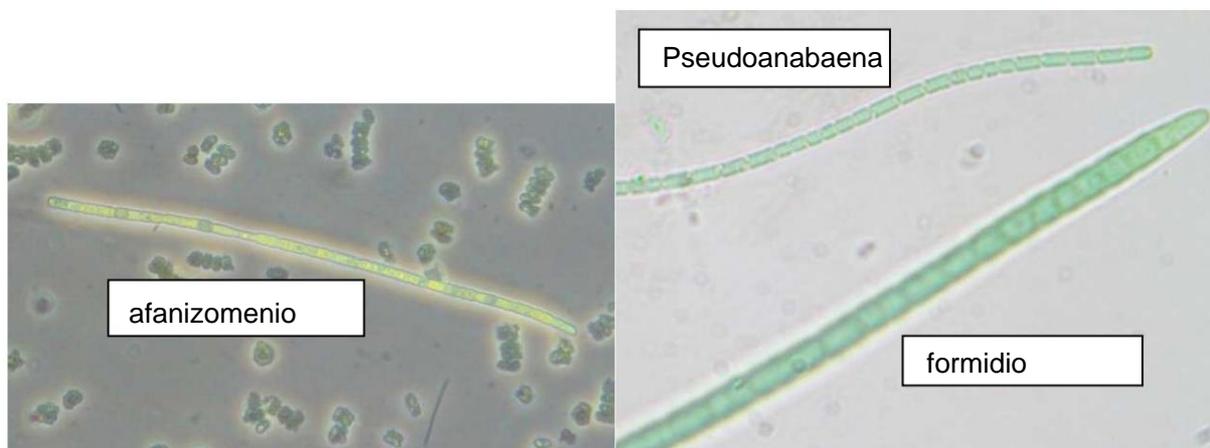
Transporte

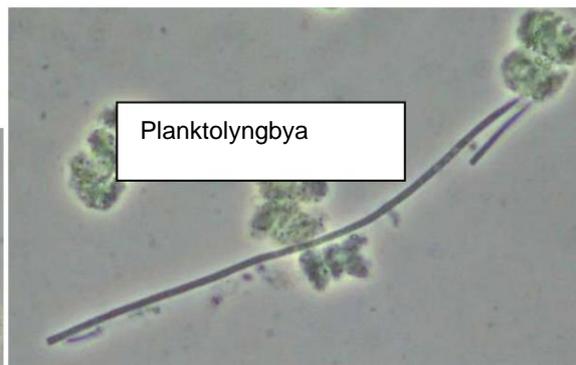
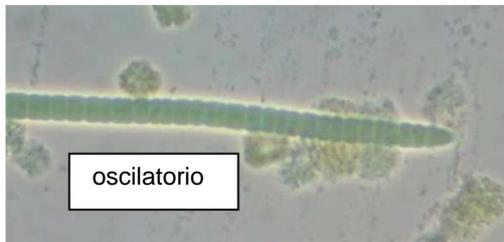
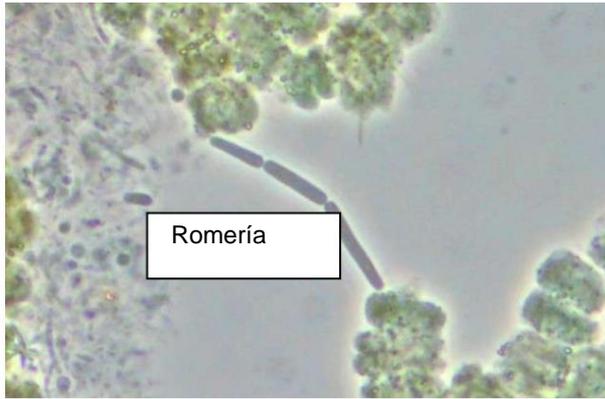
Por aire, de Madagascar a Francia = \$3,33/kg

A22) TABLERO PARA COMPARAR SPIRULINA CON OTROS CIANOBACTERIAS:



Fotos de cianobacterias vistas en cultivos de espirulina (Sarl Limnologie, Rennes):





A23) SPIRULINA VISTA BAJO EL MICROSCOPIO

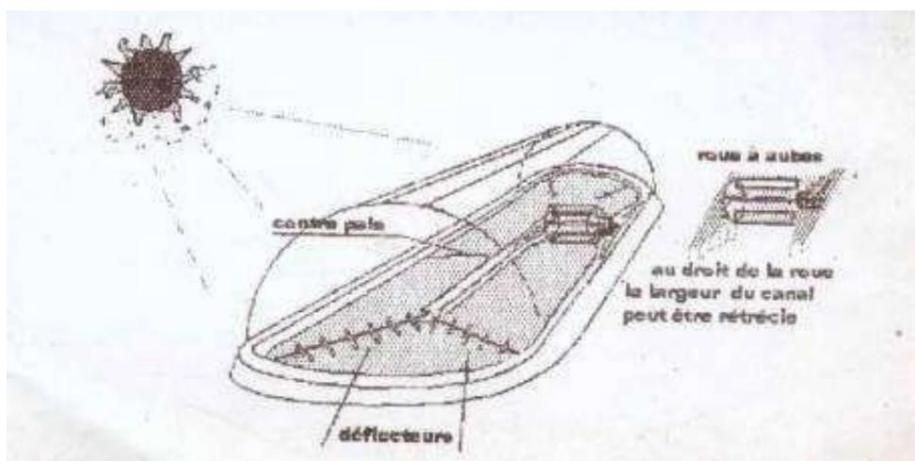


El peso seco de un filamento promedio de espirulina es de aproximadamente 3 μg .

La dirección sinuosa de las vueltas de la espiral de espirulina suele ser en sentido contrario a las agujas del reloj si miras por encima de la espiral mientras descendes, pero no siempre. Depende de las cepas pero no del hemisferio norte o sur. Y dentro de una misma variedad (Lonar por ejemplo) podemos encontrar tricomas en espiral en ambas direcciones codeándose.

A24) PARA LOS QUE TIENEN ELECTRICIDAD:

A24.1) AGITACIÓN POR RUEDA DE ALMOHADILLAS



Los tanques agitados con ruedas de paletas son más largos que anchos, con extremos redondeados y una partición central y preferiblemente deflectores en los cambios de dirección de las esquinas. La rueda de paletas se instala en uno de los lados o en un extremo, entre el borde y el tabique central. El eje de rotación se apoya sobre dos rodamientos de bolas fijados sobre sólidos soportes, generalmente de hormigón. A la derecha de la rueda se puede estrechar el ancho del canal sin inconvenientes; por el contrario, permite reforzar los soportes y acortar la rueda, haciéndola así más sólida.

La rueda comprende, por ejemplo, 4 ó 6 álabes o paletas firmemente sujetos sobre discos fijados al eje y con un diámetro cercano a los 80 cm. La altura de las aspas es

del orden de 20 cm. Para minimizar el daño causado a la espirulina, es bueno redondear el borde de ataque de las hojas y si este borde es curvo debe atacar "con el dorso de la cuchara" y no al revés como intuitivamente hacemos. La construcción de la rueda de paletas debe ser preferiblemente de plástico (PVC rígido de 4 mm de espesor o más) o acero inoxidable 304 o acero galvanizado. Un motorreductor eléctrico acciona el eje a una velocidad de aproximadamente 20 revoluciones por minuto. Su potencia útil debe ser del orden de 1 Watt/m² de piscina o más; en un invernadero, proporcione una entrada de aire exterior en el ventilador del motor. Una transmisión de velocidad variable es conveniente pero costosa. Se recomienda transmisión por correa o cadena. Para piscinas pequeñas, la rueda de paletas se puede montar directamente en el eje del motorreductor. Puede tener solo dos palas, lo que tiene el efecto de provocar un oleaje artificial que se propaga hasta el final de la cuenca y contribuye a la agitación. Es útil proteger el fondo de la piscina, si es de película plástica, en la línea de las palas: por ejemplo, con placas de acero inoxidable o cemento (el cemento se puede verter en el sitio). La distancia entre el fondo de las palas y el fondo de la palangana o de estas placas debe ser pequeña, pero suficiente para no correr el riesgo de tocar el fondo o dañar la espirulina (5 cm parece correcto).

Se acepta que la velocidad de circulación del cultivo debe ser de 20 a 30 cm/segundo para obtener una buena agitación. Para reducir las irregularidades de caudal y la acumulación de lodos en determinados lugares, se pueden instalar deflectores o contracuchillas creando torbellino.

Existe un debate sobre la mejor dirección de rotación del líquido en la cubeta: para algunos, la mejor sería la dirección contraria a las agujas del reloj. ¡Para otros, la dirección en el sentido de las agujas del reloj sería tabú! En lo que a nosotros respecta, no tenemos recomendaciones especiales.

A24.2) FILTRACIÓN AL VACÍO

El uso de un vacío moderado (una aspiradora que dé un vacío de 15 kPa, es decir, 1,5 m de columna de agua, es suficiente) permite acelerar la velocidad de filtración. Para ello, utilizamos una lona apoyada sobre un soporte rígido (rejilla maciza), colocada sobre un depósito estanco resistente al vacío.

Este tanque está conectado a la aspiradora. El cultivo a filtrar se bombea a la cubeta a través de un colador que sirve de tamiz o se envía a la tela filtrante a través de un tamiz. Se recomienda una bomba de vacío tipo "vórtice" para no romper demasiada espirulina. Una bomba tipo bodega de vacío, controlada automáticamente por un flotador y equipada en su descarga con una válvula de retención herméticamente sellada, asegura el mantenimiento automático del nivel de filtrado en el tanque de vacío.

En lugar del par aspirador+bomba de vacío, se puede utilizar una bomba de vacío de anillo líquido (por ejemplo, bomba Sihl) capaz de aspirar aire y agua.

Durante la filtración, si es necesario, desatascar el paño con una escobilla de goma. Se detiene la entrada de líquido y se espera que la biomasa esté lo suficientemente baja en agua, luego se recupera la biomasa con una escobilla de goma.

La tasa de filtración depende por supuesto de la calidad del cultivo y de la frecuencia de desatasco, pero puede rondar los 8 kg de espirulina seca/hora/m² de filtro.

A24.3) FILTRACIÓN A PRESIÓN

El cultivo bombeado a través de un tamiz se puede enviar en una bolsa en forma de manga cerrada por un clip, flotando en el recipiente. Si la bolsa es vertical y fuera del cultivo, de pequeño diámetro (< 6 cm) y de gran longitud (> un metro), la filtración se puede realizar por gravedad con buena eficacia. Pero las bolsas son difíciles de vaciar.

A24.4) FILTRACIÓN CONTINUA

Existen varios dispositivos (tamices vibratorios, tambores giratorios), pero son más adecuados para condiciones industriales que artesanales. Pero aparecen modelos adaptados a unidades pequeñas y parecen prometedores.

A24.5) CENTRIFUGADO AL VACÍO (en sustitución del prensado)

Esta es una variante de § A24.2. Si se deja la biomasa en el filtro de vacío el tiempo suficiente (por ejemplo 10 minutos para un espesor de 5 mm), el agua intersticial se elimina como en el caso del prensado. En comparación con el prensado, este sistema permite el posible lavado de la biomasa (operación que generalmente consideramos inútil, incluso dañina según los casos, ver § 8.2), pero a veces imprescindible cuando el medio de cultivo está demasiado sucio.

También es posible usar el filtro de vacío solo para deshidratar; en este caso el volumen de líquido es lo suficientemente bajo como para prescindir de la bomba de vaciado en el depósito.

Un buen centrifugado puede requerir un vacío más fuerte que una simple filtración.

A24.6) ESCURRIDOR GIRO (en sustitución del prensado)

El centrifugado de la biomasa que sale del filtro también se puede realizar en un centrifugador de cesta equipado con una tela filtrante y girando a una velocidad suficientemente moderada para no romper la espirulina. Este sistema también permite el lavado de la biomasa. No lo consideramos al alcance de un artesano, salvo utilizar una lavadora escurridora.

A25.7) EXTRACCIÓN POR GAS COMPRIMIDO (en sustitución del prensado)

Es una variante del § A25.5 donde se sustituye el vacío por una presión de gas de hasta 5 bares sin riesgo de romper la espirulina si la biomasa es de la calidad correcta.

A25) INVIERNO

En zonas con inviernos fríos, la recolección puede continuar siempre que la temperatura máxima no descienda por debajo de los 15°C. Luego, cuando la temperatura de las piscinas está por debajo de los 10°C, sucede que la espirulina se deposita en el fondo y se vuelve amarilla. Hay que evitar acercarse al invierno a pH < 10 y agitar demasiado con la bomba durante el invierno para evitar el riesgo de "blanqueo" del medio y muerte de la espirulina.

Si el invierno es lo suficientemente suave (> - 8°C) y si el ambiente no es deficiente, la espirulina puede sobrevivir muy bien en el invernadero y reiniciar los días soleados, pero es prudente a la sombra mientras la temperatura de la piscina se mantenga por debajo de 20°C. Durante el invierno es conveniente agitar de vez en cuando con una escoba para resuspender y airear los lodos del fondo. Al final del invierno, si todo va bien, se renueva el medio de cultivo (muy baja turbidez, poco o nada de lodos, pH = 10, excelente cosechabilidad). Sin embargo, existe el peligro teórico de que durante el invierno se produzca una contaminación (posiblemente cianobacterias extrañas tóxicas): sería bueno realizar una prueba de toxicidad antes de comenzar la cosecha.✓

En áreas con fuerte estación lluviosa, las cuencas deben ser cubiertas. Si esto no es posible, podemos seguir cosechando purgando el medio de cultivo, y agregando las sales correspondientes, pero esto es costoso en sales ya que la cosecha puede no ser capaz de

secarse. Por lo tanto, podemos preferir detener la producción, luego vaciar y limpiar a fondo los estanques y reiniciar el cultivo cuando vuelva el clima.

Siempre es necesario mantener una o varias reservas de semen de buena calidad, pero a fortiori en caso de parada anual. La reserva debe mantenerse en un lugar resguardado de la intemperie, a la sombra (no a oscuras durante el día), a una temperatura moderada (20 a 30°C) y agitada de vez en cuando. No debe estar demasiado concentrado ni demasiado diluido en espirulina (Secchi = 2 a 4 está bien). Es necesario "trasplantar" la cosecha de reserva, es decir iniciar otra reserva, sembrando desde la primera cada dos o tres meses para mantener su calidad. Nota: un cultivo, aunque sea de reserva, nunca debe cerrarse herméticamente: necesita aire, y una buena forma de proporcionárselo es agitar con aire burbujeante.

En caso de paralización prolongada de la cosecha en un estanque en producción, éste debe ser permanentemente sombreado y agitado al menos de vez en cuando.

A26) FÓRMULAS DE OLIGOELEMENTOS

A26-1) Fórmula de Jacques Falquet, 1997 (Antenna Technology, Ginebra):

(Solución concentrada para facilitar el transporte)

(Disolver los productos en orden, uno tras otro, esperando que se disuelva el anterior)

Ácido cítrico = 100 g/litro *Borax
= Na₂B₄O₇·10H₂O = 75 g/litro

MnNO₃·4 H₂O = 45.6 g/litro

ZnSO₄·7H₂O = 35 g/litro

CuNO₃·3H₂O = 9.2 g/litro

*KCr(SO₄)₂·12 H₂O (alumbre de

cromo) = 5,4 g / litro *MoNa₂O₄·2H₂O (Molibdato de sodio) =

3,5 g / litro *Co(NO₃)₂·6H₂O = 0,2 g / litro * Ni(NO₃)₂·6H₂O = 2,9

g / litro *NH₄VO₃ (amonio monovanadato) = 0,94 g / litro

*Na₂Se₂O₃·H₂O (selenito de sodio) = 0,2 g / litro Agua

desmineralizada = qsp 1 litro

[Tenga en cuenta que, a medida que envejece, esta solución a menudo libera un olor desagradable a gas sulfuroso (compuesto de selenio volátil y tóxico)].

*Estos elementos se pueden omitir si es necesario.

Dosis a utilizar: 5 ml contienen los oligoelementos de un kg de espirulina cosechada.

A26-2) Fórmula simplificada de JP Jourdan (sin selenio ni cobalto, pero con zinc reforzado)

ZnSO₄·7H₂O = 20 g/litro

Sal disódica de EDTA·2H₂O = 7 g/litro (se puede sustituir por 10 g de ácido cítrico/l)

MnCl₂·4H₂O = 2 g/litro

CuSO₄·5H₂O = 0,5 g/litro

MoNa₂O₄·2H₂O (Molibdato de sodio) = 0,35 g/litro

Agua desmineralizada = qsp 1 litro

Dosis promedio a utilizar = 25 a 100 ml/kg seco cosechado, dependiendo de los oligoelementos aportados por el agua en el medio de cultivo y los insumos; si no conoces estas otras contribuciones, prueba 50

ml/kg y encuentre la mejor dosis por ensayo y error. La dosis de 100 ml/kg aporta 500 mg de zinc/kg, lo que muchos nutricionistas consideran nutricionalmente deseable, pero es posible que interfiera con la espirulina.

A una dosis de 50 ml/kg el coste de esta fórmula es insignificante: < 0,04 \$/kg de espirulina.

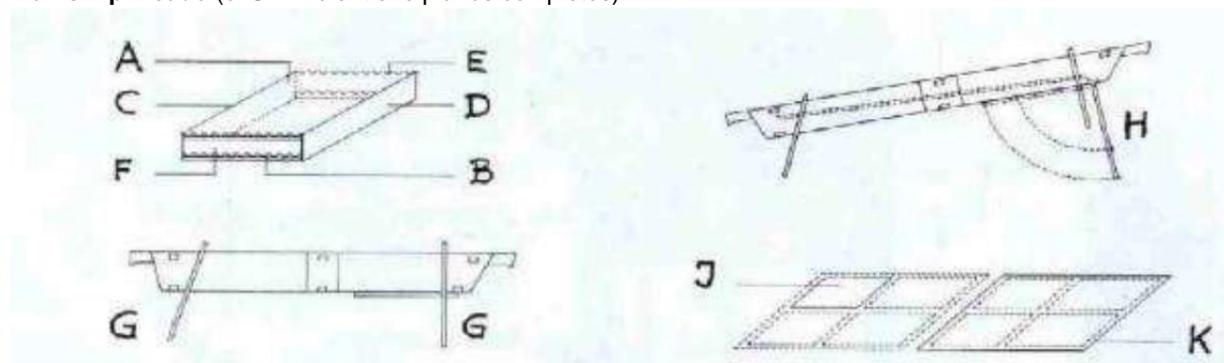
Observaciones

La composición de la espirulina puede modificarse en grandes proporciones en cuanto a hierro y oligoelementos según recomienden los nutricionistas. Algunos dicen, por ejemplo, que hay demasiada vitamina B12 en la espirulina: por lo tanto, se ha eliminado el aporte de cobalto de la fórmula de Jourdan.

A27) PLANES DE SECADORA

A27.1) Secador solar modelo "Bangui" (versión SS4-I.1996) de Michel-André THELER, CH-1958 Uvrier/Sion (Suiza), tel. (41) 27 203 28 43

Plan simplificado (el Sr. Theler tiene planos completos):



Breve descripción del elemento y principio de funcionamiento:

Caja (dimensiones 200 x 90 x 25 cm) compuesta por:

Una lámina ondulada A en poliéster translúcido (arriba)

A lámina de aluminio corrugado B (abajo)

Dos lados C y D (madera contrachapada)

Una puerta de carga frontal E (mosquitera)

Una ventana F (mosquitera) en el extremo opuesto. Esta caja

se apoya sobre 4 pies fijos G (en estado de reposo y en carga) o se inclina para optimizar la exposición al sol y el efecto termosifón (elevación de la parte trasera por un doble pie retráctil H).

Secado por circulación de aire caliente a través de 8 marcos J de mosquiteras de plástico (superficie útil total = 1,2 m²) sobre los que se coloca la biomasa extrusionada a secar.

Carga mediante marcos de 2 K (cada uno soporta 4 marcos) introducidos cuando la puerta está abierta y se deslizan dentro de la caja apoyada en dos rieles laterales inclinados.

Productividad con buen sol: unos 300 g de espirulina seca/día.

A27.2) Secador solar a gas (modelo "Daveugon", versión 1996) de Pierre ANCEL, F-95120 Ermont, tel. 01 30 72 03 57

Este dispositivo está construido a partir de un bidón limpio de chapa metálica de 200 litros (diámetro de unos 50 cm, altura de unos 80 cm) al que se han soldado o atornillado tres patas de apoyo. A 10 cm por encima del fondo, se disponen aberturas tapables, protegidas por piezas de mosquitero encolado, para permitir la entrada de aire fresco y la regulación de la temperatura.

A 20 cm por encima del fondo de los ángulos metálicos se sueldan o atornillan para servir soporte a las bandejas de secado. Una cubierta removible de madera o metal protege contra la lluvia y los insectos mientras permite que escape el aire húmedo.

Las bandejas son marcos de madera provistos de una mosquitera de nailon. Son apilables (número máximo = 5)

Se utiliza una estufa de gas butano (o un quemador recuperado de una estufa de gas, montado sobre un soporte de metal soldado) para calentar el fondo de la secadora.

El secado también se puede realizar directamente con los gases de combustión, convenientemente diluidos para regular su temperatura (regulando la altura de las bandejas con respecto al quemador), pero con dos condiciones:

- Quemador de buena calidad (que no se carbonice y dé una llama azul) - Gas de buena calidad (el gas butano común en Francia es adecuado)

A27.3) Secador solar con calentamiento indirecto, diseñado por Claude VILLARD

La secadora se compone de una caja de chapa negra mate que contiene 5 bandejas extraíbles (estructura de madera + mosquitera de nylon), provista en un lado de puertas que permiten la carga de las bandejas. La caja se eleva (a pies o desniveles del suelo) para poder ser alimentada con aire caliente por termosifón procedente de un colector solar con absorbedor de aire en ladrillos cocidos, inclinado y orientado convenientemente según la latitud del lugar. La entrada de aire al sensor es el punto bajo del sistema y está protegida por una mosquitera; esta entrada debe colocarse en un lugar lo más resguardado posible del polvo y otros contaminantes, y por supuesto fuera del agua.

La caja está rematada por una gran chimenea, también de chapa negra mate, coronada por un sombrero protector contra la lluvia y que lleva una mosquitera para protegerse de insectos y hojas muertas. Esta chimenea asegura un tiro suficiente: para ello su altura debe ser próxima a la del revestimiento.

A28) PROYECTO SEMIARTESANAL DE 5 KG/DÍA

Nos parece interesante resumir aquí un proyecto de 5 kg de espirulina/día que tuvimos la oportunidad de preparar a petición de una empresa interesada en Costa de Marfil; está dirigido a colectivos con electricidad, agua corriente y CO₂, y dispuestos a invertir lo suficiente para vender su producción en el mercado internacional. En un clima cálido, el taller puede funcionar todo el año y producir 1,5 toneladas/año; en un clima templado, la mitad. Todavía es un proceso poco mecanizado, que requiere mucha mano de obra. Se hizo en Adzopé (Costa de Marfil), en la finca La Mé (ver el video).

A28.1) Cuencas

4 estanques de 3 mx 50 m = 150 m², bajo 2 invernaderos de 8 m de ancho, con 2 estanques por invernadero, con un callejón en el centro del invernadero entre los dos estanques. Agitación mediante rueda de paletas con 4 o 6 palas de madera accionadas por motorreductor de 250 W (uno por cubeta). Drene el sumidero en un extremo, drene por gravedad o mediante una bomba de vacío de vórtice para bodega. Invernaderos ventilados y parcialmente sombreados, equipados con mosquiteras en ambos extremos.

Como variante, el invernadero se puede sustituir por un revestimiento de film tensado sobre cada cubeta, apoyado sobre un tubo galvanizado apoyado en el murete central. Los bordes de la película están enterrados. En esta variante, el acceso a la piscina es limitado.

A28.2) Edificio

Todas las manipulaciones de la espirulina se realizan en un edificio de 70 m² (que se puede utilizar como alojamiento del personal) cuyo sótano se convierte en sala de cosecha. En la planta baja se encuentra el secado-molienda-acondicionamiento del producto seco, así como un pequeño laboratorio y el almacén de materias primas.

El edificio está climatizado, con ventilación de aire filtrado. Esto facilita el uso de la ropa de protección vigente en las industrias alimentarias.

La mitad de la cubierta está construida para poder servir de colector solar sin acristalamiento (chapa pintada color teja) para abastecer al posible secador solar.

Un dosel alberga ventiladores, secador, aspirador, compresor, tanque de carbonatación y tanque de purificación.

A28.3) Cosecha

El dispositivo de recogida consiste en un tanque de filtración de cemento, de 60 cm de profundidad, 80 cm de ancho y 8 m de largo, con bordes horizontales revestidos con una junta de goma, sobre los que descansan 4 marcos de filtración móviles. Estos marcos tienen bordes de 10 cm de altura y una red tensada en la parte inferior. Las telas filtrantes simplemente se colocan en estos marcos.

El cultivo a filtrar proviene de las cubetas por gravedad a través de un tamiz. Cada piscina tiene su propia tubería de suministro, equipada con un medidor de agua para saber exactamente el

volumen extraído por cuenca. La filtración se puede acelerar conectando una aspiradora al tanque.

El filtrado es bombeado por una bomba de bodega vacía controlada por un flotador, ubicado en una boca de hombre en el punto bajo del tanque. La tubería de descarga, incluida una válvula de retención, pasa por el costado del tanque para no interferir con el sello de vacío. El filtrado se envía al tanque de carbonatación.

La biomasa escurrida se deshidrata en una prensa ubicada cerca de la filtración. El prensado se realiza sobre bandejas de 2 cm de canto, con el fondo perforado (formando una rejilla). Estas bandejas son móviles. La biomasa se envuelve en una resistente lona de algodón forrada interiormente con una fina lona de nailon, formando un "paquete" plano de 5 cm de espesor máximo colocado sobre una de las bandejas, a la espera de ser puesto en la prensa. Se pueden apilar varias bandejas para prensado simultáneo. La prensa puede ser de tornillo o de peso con brazo de palanca.

La biomasa prensada se carga en una máquina para hacer salchichas (un "empujador" de acero inoxidable, con manivela o motorizado) y se coloca en una envoltura de plástico para alimentos de 50 mm de diámetro. Unos nudos de hilo delimitan la longitud de las salchichas que corresponde a la de la pistola extrusora (unos 35 cm). Las tiras de salchicha se meten en la nevera a medida que se van haciendo. Parte de la producción puede adoptar la forma de salchichas más cortas para la venta en fresco. Como variante, el empujador, fijado verticalmente, sirve como una gran extrusora, con las bandejas de secado desplazándose por debajo.

El equipo y el suelo se lavan con agua después de su uso, recogiendo el agua en un sumidero en la parte baja del sótano y enviándola al alcantarillado mediante una bodega-vacío controlada por un flotador.

A28.5) Alimentos con espirulina

Al final de la cosecha, el tanque de filtración se utiliza para transferir las sales (pesadas en el almacén ubicado justo arriba y transferidas al tanque a través de un conducto de PVC) al tanque de carbonatación, utilizando un chorro de agua y la bomba.

Este tanque de cemento, de 4 m² de sección y 3 m de profundidad, se eleva 1 m. por encima del suelo, está conectado a un tubo translúcido que permite conocer el nivel de líquido. También está equipado con burbujeadores que permiten la inyección de CO₂ en el fondo. La inyección de CO₂ (7 kg/día) se realiza de forma que no salgan burbujas en la superficie (una báscula permite controlar esta superficie). El tiempo de inyección puede ser de varias horas. El hecho de que el CO₂ se disuelva en ausencia de luz favorece la eficiencia de absorción, cercana al 100%, debido a la ausencia de liberación de oxígeno. El burbujeo también permite completar la disolución de las sales y homogeneizar la solución.

La carbonatación se detiene cuando se alcanza el pH deseado (generalmente 9,5), y luego la solución se distribuye en los tanques en proporción al medio retirado para la filtración. La transferencia se realiza por gravedad.

Un segundo depósito de 12 m³, idéntico, se utiliza como depósito de depuración del filtrado por decantación (ver [Depuración](#)). Se puede operar de forma discontinua o en lotes diarios.

A28.6) Secado

Para la extrusión se utiliza una pistola de pegamento en bolsas tipo Sika ("salchicha" en el idioma de Sika Canadá) de 600 ml de capacidad, operada por aire comprimido. La carga de la pistola es instantánea gracias al envasado de la biomasa en salchichas idénticas a las bolsitas de cola. Alternativamente, como se dijo en A28.3, el empujador puede servir como una extrusora de

gran capacidad

El método más simple, y probablemente el más económico en inversión, es usar secadores eléctricos Stoeckli; se necesita una docena para secar los 5 kg/día, con una tanda nocturna. El secado en horno eléctrico requiere un poco menos de trabajo porque las bandejas son más grandes. El horno se puede acoplar a un colector solar (en el techo) o a un deshumidificador para ahorrar energía eléctrica. En este último caso, que es especialmente adecuado para climas cálidos y húmedos, el equipo no debe estar aislado térmicamente y el aire circulante debe enfriarse por debajo de los 35°C.

Los espaguetis secos se vierten en un recipiente intermedio de 100 litros a través de un embudo de un tamaño adaptado al de las bandejas. Se trituran con un mazo, luego se muelen y se embolsan. Los envases se sellan al vacío con una máquina del tipo que se utiliza para envasar queso en Suiza.

A28.7) Personal

Este tipo de producción semiartesanal es particularmente adecuado para una pareja que reside en el lugar; entonces normalmente no hay necesidad de mano de obra externa si se considera aceptable reducir la producción en caso de enfermedad o vacaciones.

Con personal externo asalariado, y para asegurar la producción nominal todos los días, se necesita un mínimo de 3 personas y preferiblemente 4.

A28.8) Precio de costo

El programa de cálculo (ver Anexo A31) no aplica para este tipo de proyecto semi-artesanal.

Sin embargo, se puede utilizar como un primer enfoque, siempre que la inversión se agregue alrededor de \$ 8,000, lo que llevaría el precio de costo en condiciones "africanas" a alrededor de \$ 15 / kg.

A28.9) Condiciones humanas para el éxito del proyecto

¿Qué condiciones humanas deben cumplirse para que un pequeño proyecto de espirulina tenga éxito?

Se debe expresar una demanda solvente de espirulina antes del inicio del proyecto, y el proyecto debe tener perspectivas de desarrollo posterior, luego de pruebas nutricionales publicadas y reconocidas, y posiblemente una campaña publicitaria.

El socio local debe tener un fuerte deseo por el proyecto y comportarse como un verdadero "jefe", disponiendo de los poderes y medios necesarios así como del tiempo material para hacerse cargo del proyecto. Sería bueno que visitara un proyecto de espirulina vecino para poder ver de qué se trata. Es muy deseable que exprese por escrito sus objetivos tanto de cara a sus colaboradores como a la ONG que apoya el proyecto.

Este "jefe" no debe ser transferido a otra parte durante el proyecto.

El gestor técnico a formar debe ser capaz de comprender el interés del proyecto y estar fuertemente implicado en él. Para ello debe ser asalariado y asegurado.

correctamente (no "debajo de la mesa") y trabajar a tiempo completo en el proyecto. No debería ser perezoso. Tiene que ensuciarse las manos, hacer sus herramientas de cosecha, entrenar a su propio equipo y asegurarse de que haya un buen espíritu de equipo. Debe estar convencido del interés a largo plazo de su nuevo trabajo como cultivador de algas. Debe gustarle comer espirulina él mismo y acceder a probar su producción para comprobar su calidad organoléptica. Debe estar convencido de la necesidad de trabajar higiénicamente. Él debe saber los precios.

Es importante que el líder haga algunos descubrimientos por sí mismo, o tenga la impresión de hacer algunos. Por lo tanto, es necesario darle rápidamente una cierta autonomía y medios (pequeño laboratorio), evitando que se salga de los límites previstos para el proyecto (permanecer realista).

Se necesitan buenos medios de comunicación con la ONG que apoya el proyecto (al menos fax), y la voluntad de utilizarlos, y esto en ambas direcciones (equipo ONG local y equipo ONG-local).

El proyecto debe estar razonablemente protegido contra robos e insurrecciones.

Es necesario prohibir el acceso al proyecto a cualquier persona no autorizada, porque el experimento muestra que las cuencas a menudo se confunden con cubos de basura (ejemplos de Nanoro en Burkina y Dapaong en Togo).

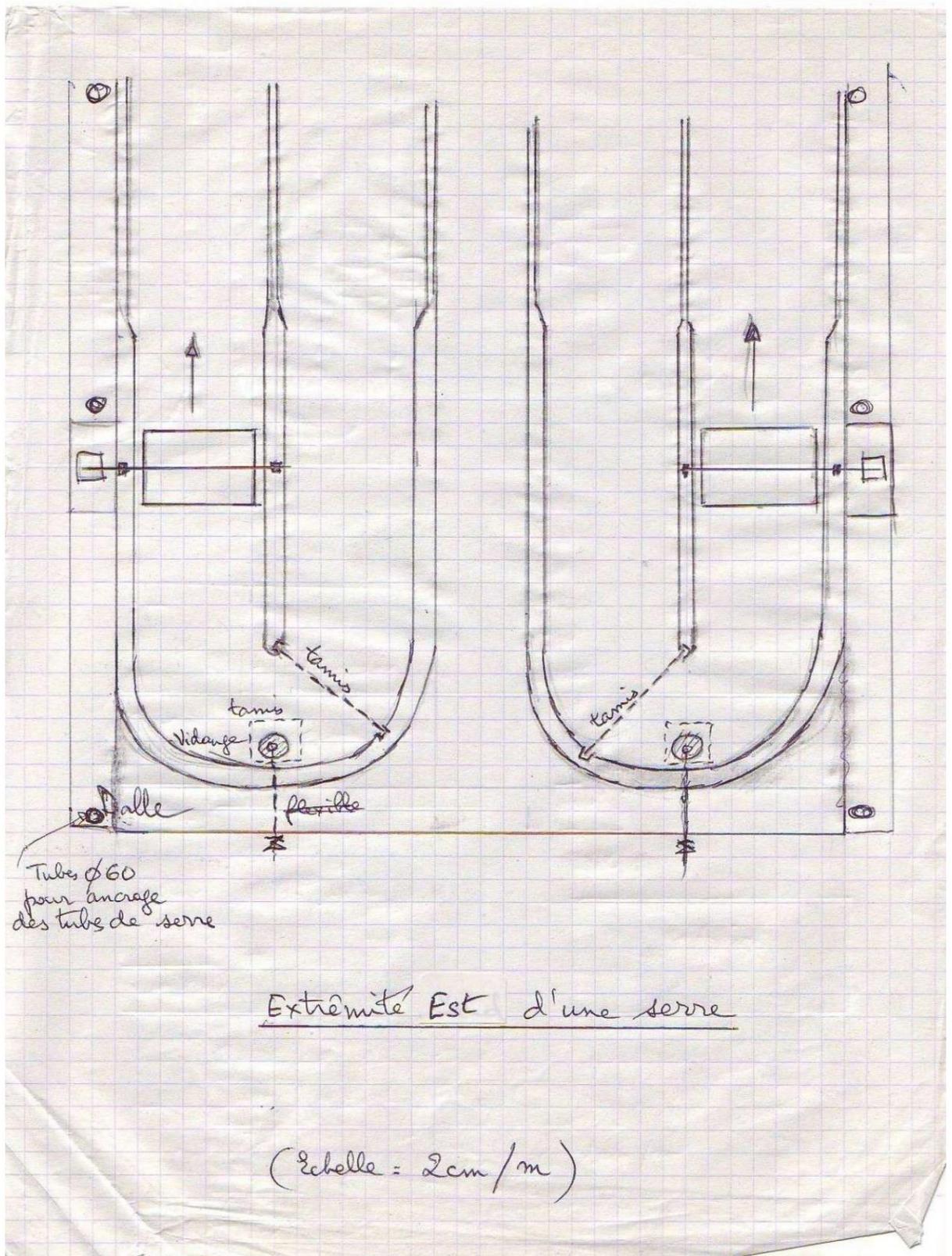
El personal debe estar de acuerdo
en - venir muy temprano en la mañana para cosechar,
- estar de guardia al mediodía si la agitación no es automática.
Es deseable que un miembro del equipo viva en el sitio.

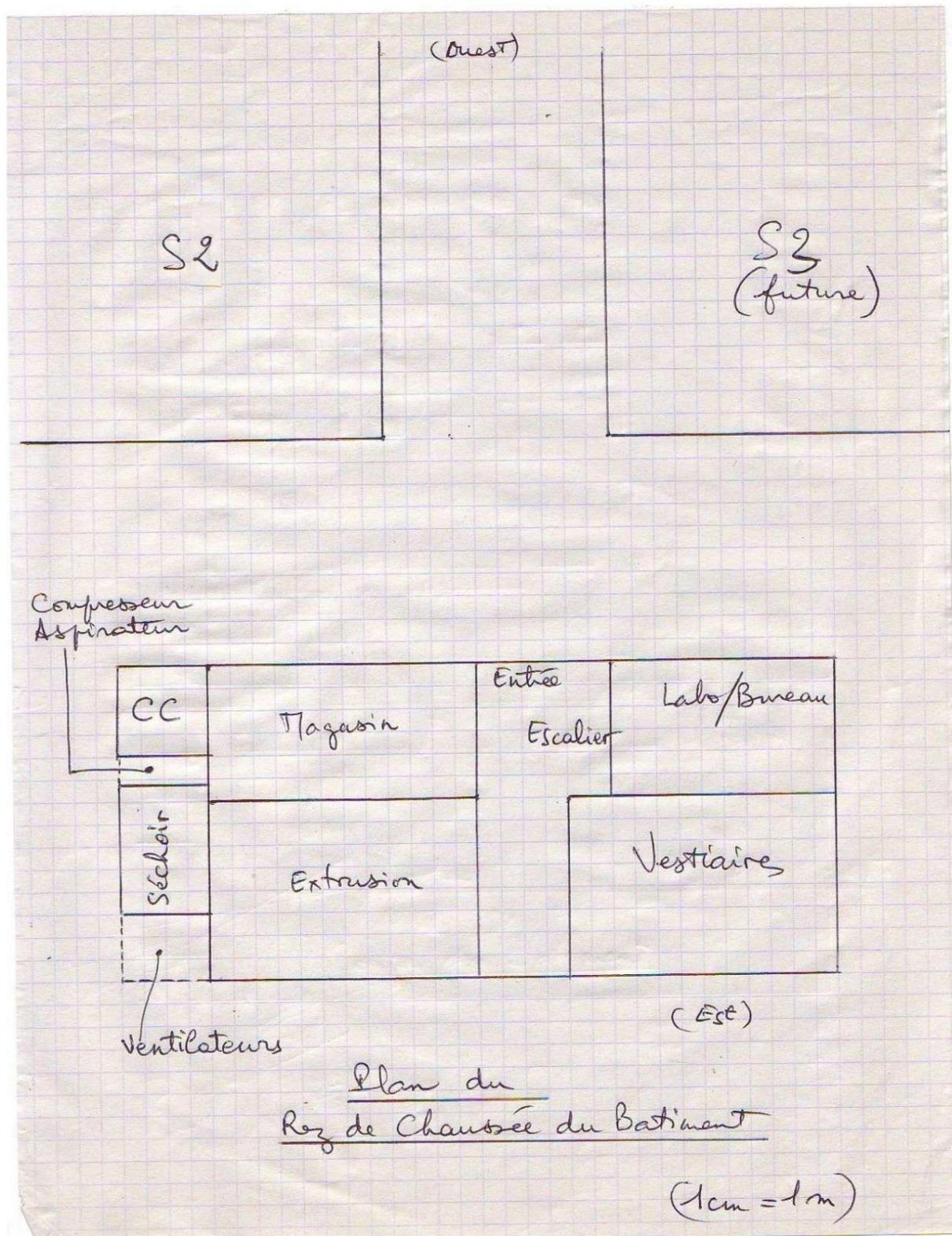
Los visitantes importantes deben venir a ver el proyecto, pero no con demasiada frecuencia.

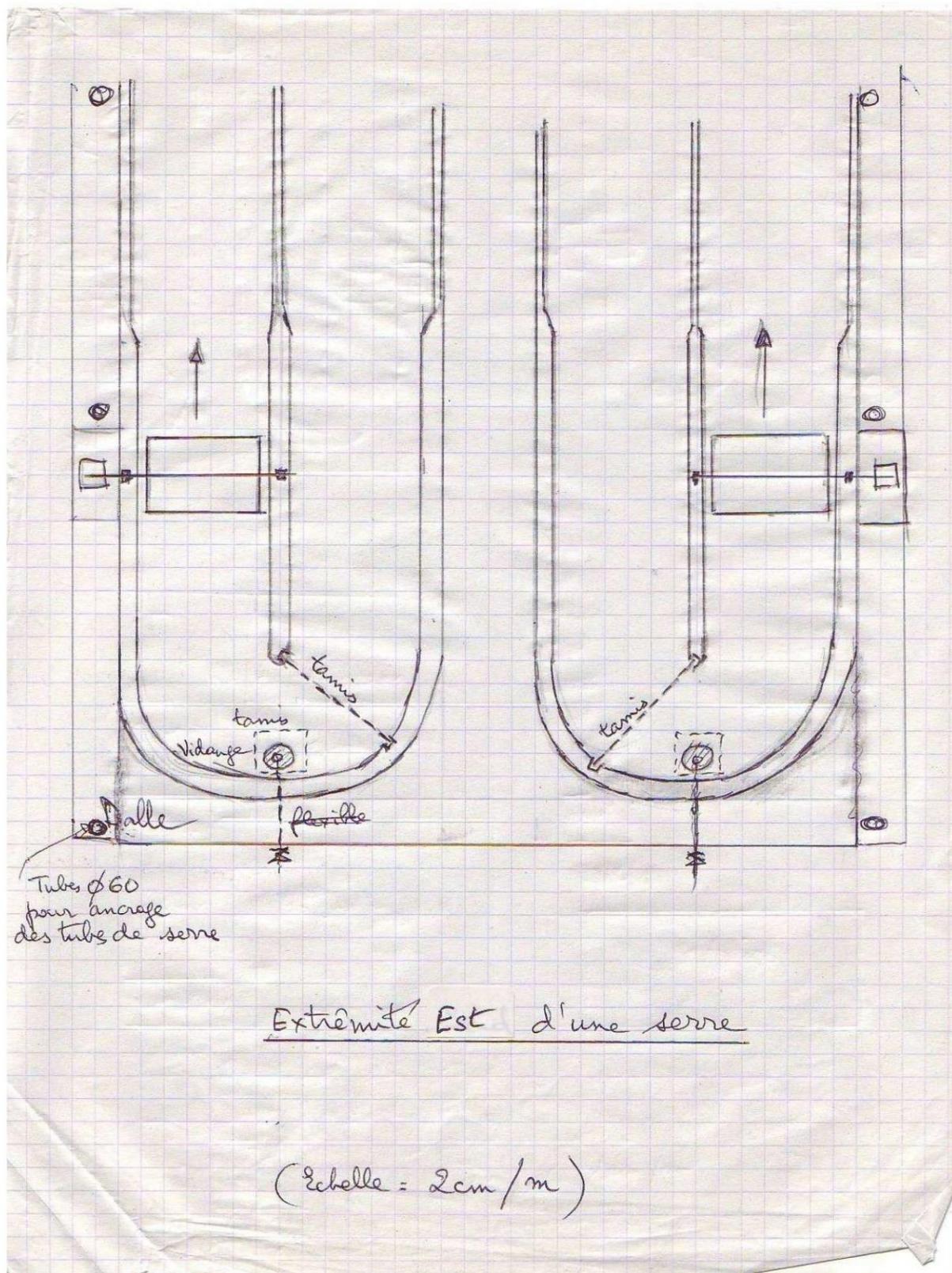
A28.10)

Los siguientes diagramas ilustran las descripciones anteriores.

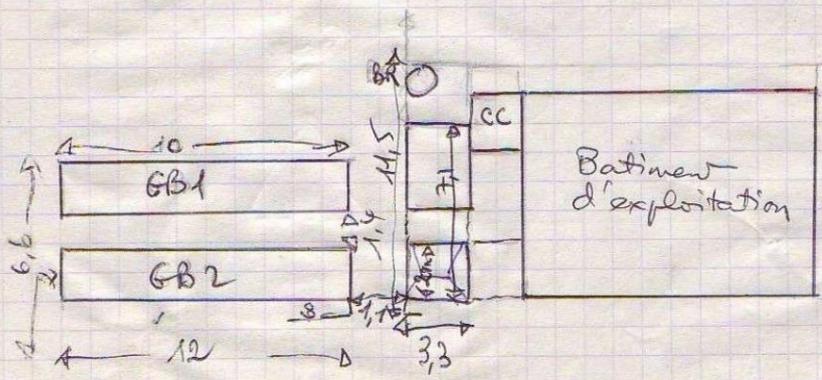
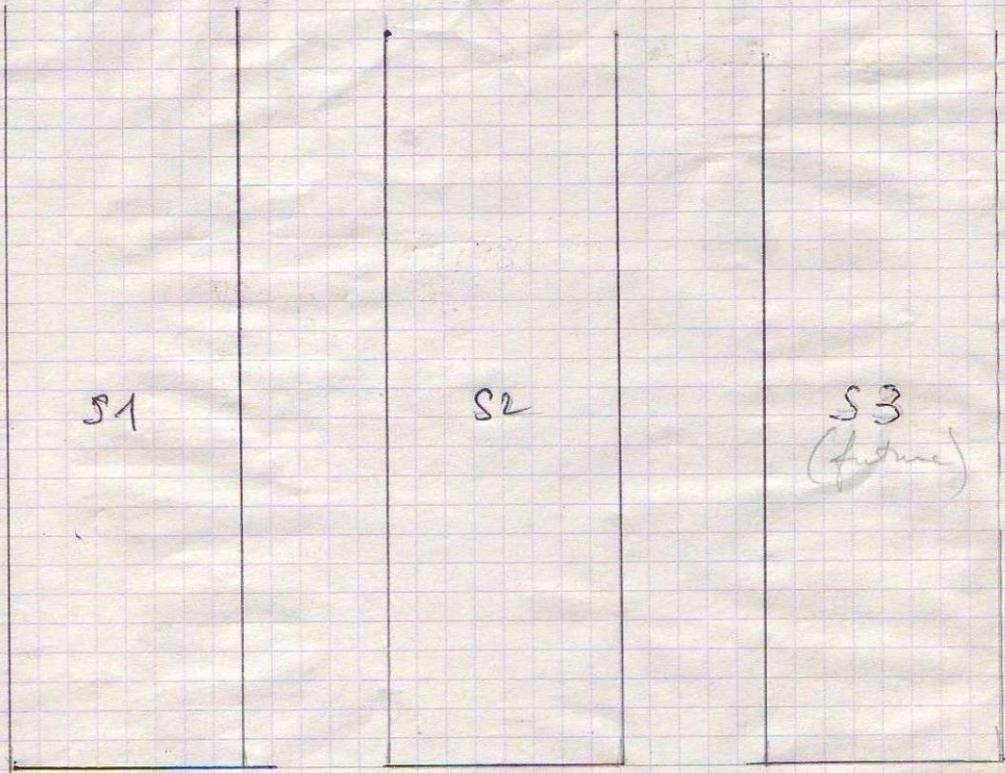
Sirvieron de modelo para la construcción de la planta de espirulina en la finca **SAP La Mé** cerca de Adzopé, con una capacidad de producción de 5 kg/día inicialmente y luego suplementada a 10 kg/día después (1200 m²). Pero no se utilizó el CO₂, lo que cambió un poco de lo planeado.







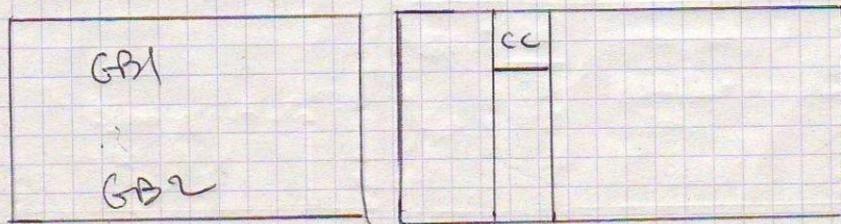
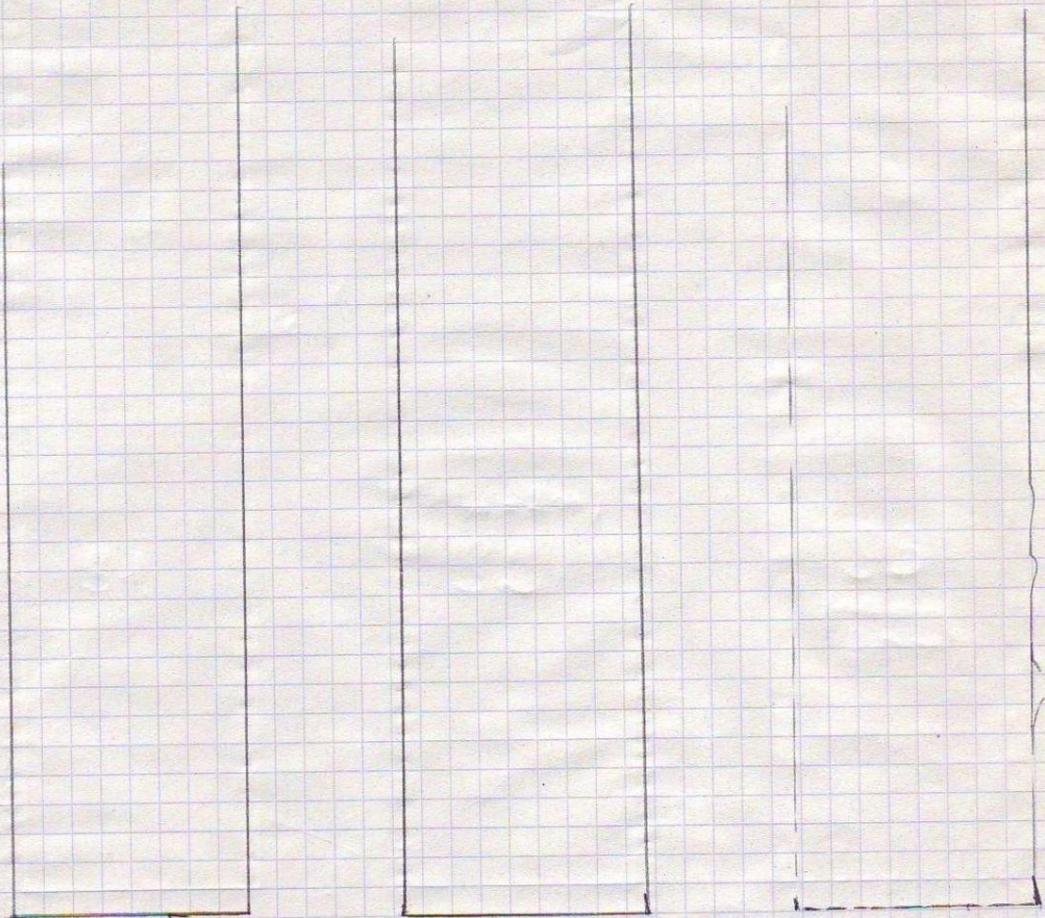
Schema d'implantation

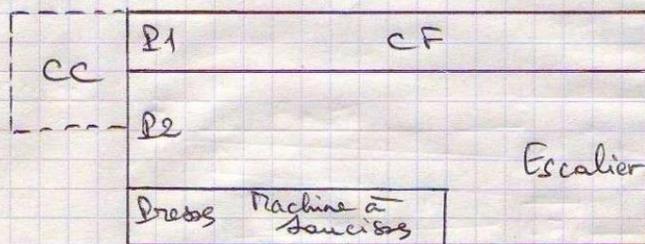


(Est)

(1cm = 2m)
1/500

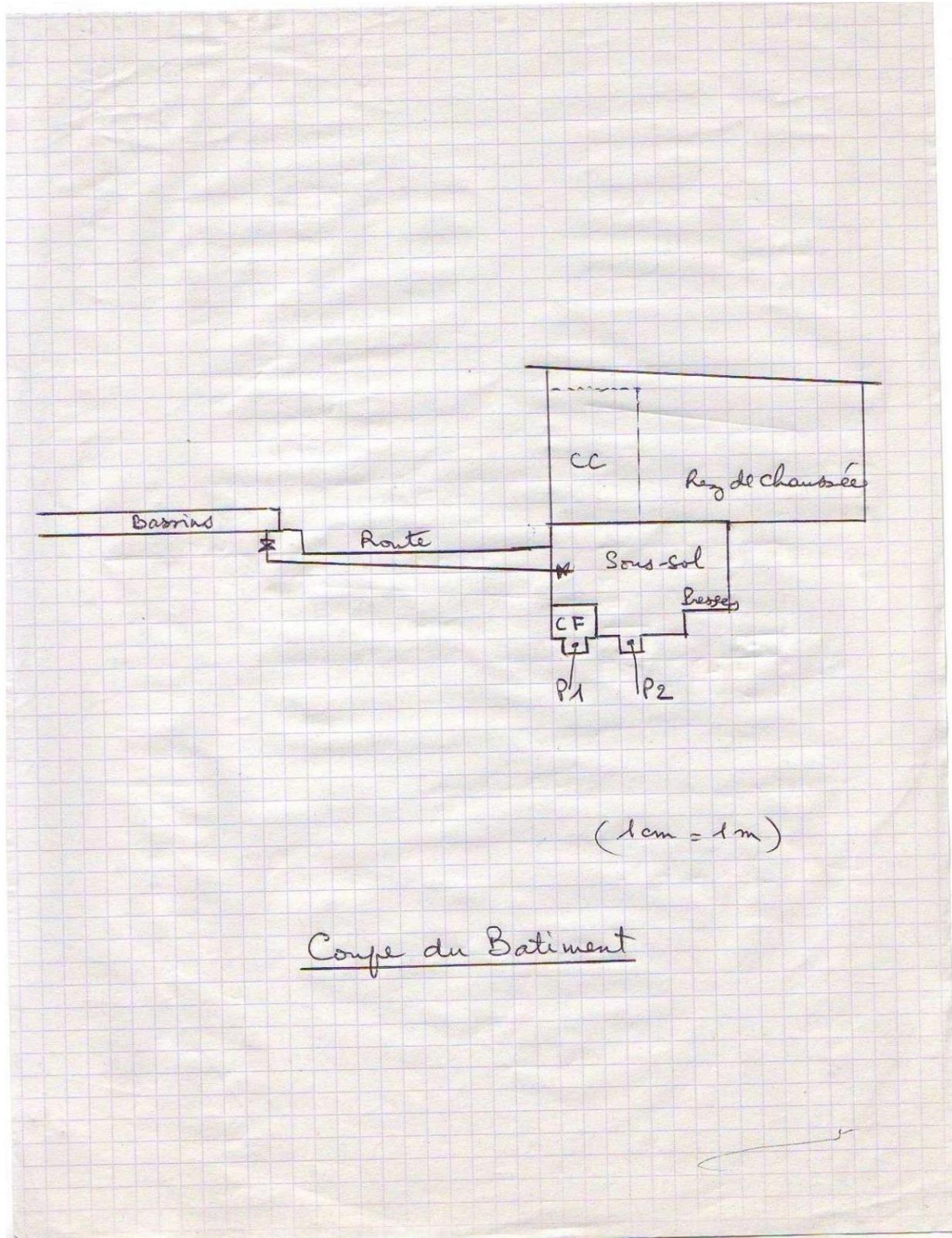
Schema d'implantation

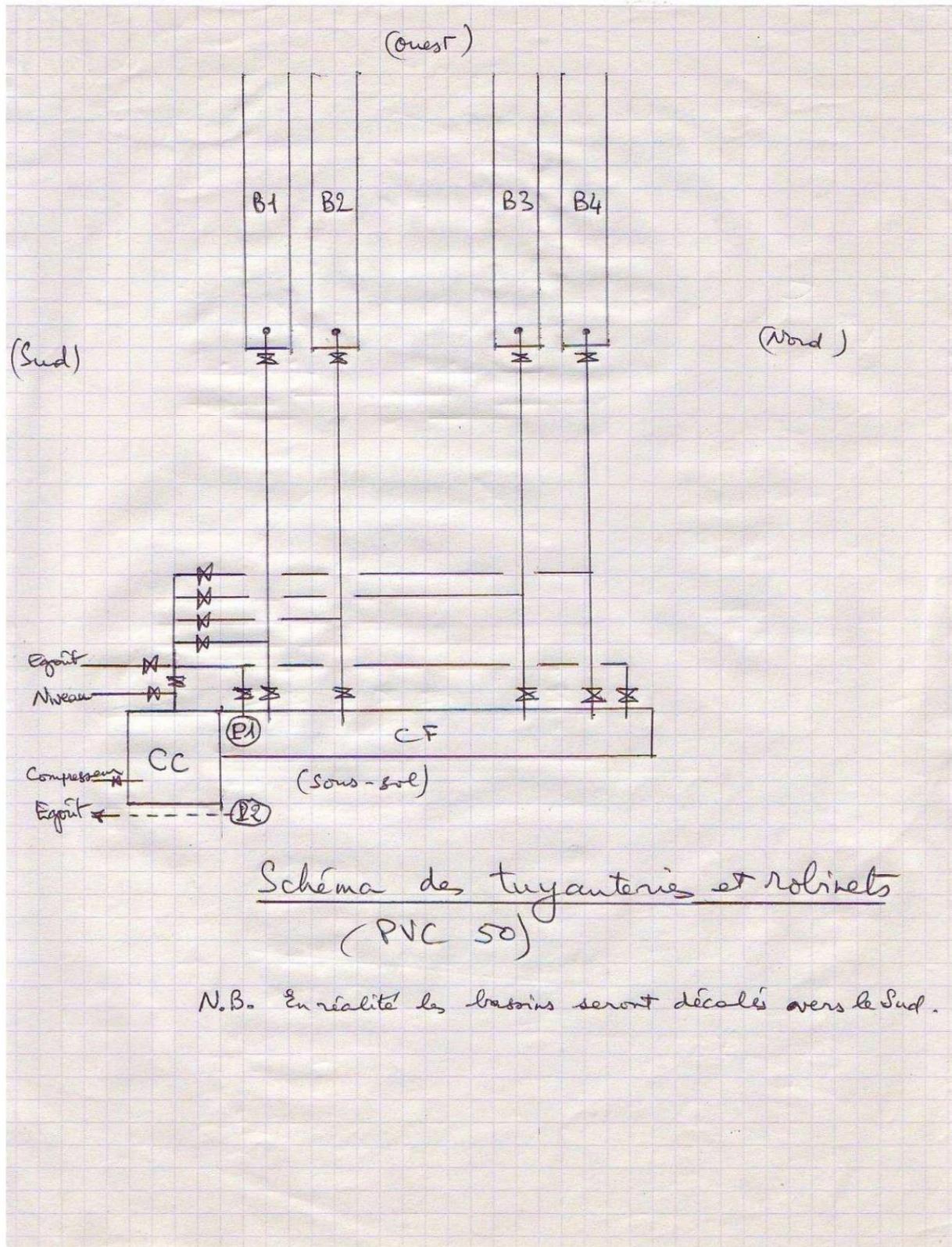




Plan du sous-sol

(1cm = 1m)





A28.11) Descripción de la finca SAP La Mé (mensaje de Lionel Raobelina en el Coloquio Tulear 2008) :

EN COSTA DE MARFIL , UN EJEMPLO DE UNA GRANJA DE ESPIRULINA AFRICANA PEQUEÑA VANGUARDIA...EL SAP LA Mé

EN COSTA DE MARFIL, UN EJEMPLO DE GRANJA PROGRESIVA DE ESPIRULINA AFRICANA

Resumen

Descripción de una granja de espirulina con muchos puntos interesantes que se detallan en un mensaje enviado por su director, Lionel Raobelina, quien no pudo asistir al Coloquio. La finca tiene una capacidad de 3 toneladas/año (1200 m² bajo vidrio, con recolección centralizada, sala blanca climatizada y secado termodinámico).

Resumen

Descripción de una granja de espirulina con varias características interesantes transmitidas al Simposio por su gerente, Lionel Raobelina (no pudo asistir a la reunión): capacidad de 3 ton/año, 1200 m² bajo invernadero, recolección centralizada en una sala con aire acondicionado, termodinámica el secado).

Datos de contacto de la Empresa Agro-Piscícola del Mé:



Nota :

Este informe fue preparado para el Simposio de Espirulina en Tuléar (Madagascar) en 2008.

También puede ver un video de 3 minutos que muestra los detalles principales de esta instalación: haga clic en http://spirulinefrance.free.fr/Videos/lame2008*.m4v (tiempo de carga bastante largo).

Este video es de 2008, pero la instalación continúa produciendo bien en 2014.



La granja está ubicada cerca de Adzopé, dentro de una granja modelo que comprende varias producciones agropecuarias. Dispone de 8 balsas de cemento de 150 m² agitadas por rueda de paletas y **bajo invernadero**. La recolección está centralizada en el sótano del edificio que alberga la oficina, la tienda y el laboratorio. Esta disposición permite que los filtros sean alimentados por gravedad. La sala de cosecha, prensado y extrusión se trata como una “sala limpia” y está climatizada para que el personal no tenga problemas para usar la ropa de protección higiénica recomendada.

Otra particularidad: los fondos y bordes de las piscinas se cepillan a diario, lo que reduce considerablemente los lodos. No hay larvas.

La tensión espiral utilizada se ha mantenido igual desde el origen hace 10 años, permaneciendo el porcentaje de líneas rectas por debajo del 1%.

Entre otras particularidades destacables, cabe destacar el método de secado termodinámico de la biomasa extruida en espaguetis: el secado se realiza en corriente de aire a 55°C, circulando en circuito cerrado, en una celda de 12 m³ que contiene 16 m² de bandejas perforadas de acero inoxidable (agujeros de 1 cm de diámetro); un deshumidificador extrae agua del aire: es una unidad de refrigeración de 3 kW. La capacidad de secado es de 10 kg/día de espirulina al 6% de humedad residual. El aire podría ser reemplazado por un gas inerte pero esto aún no ha sucedido.

La finca utiliza bicarbonato como fuente de carbono (además del aire atmosférico) y las purgas de medio de cultivo son enviadas a un área de reforestación de eucalipto, acacia mangium, koto y teca luego a un reservorio de agua que abastece a una piscicultura.

tilapia



La granja tiene un fuerte papel social en la región (bosque) al crear empleos y suministrar espirulina a un precio humanitario, en particular a la clínica contra la lepra en Adzopé, que fue la primera creada por Raoul Follereau. Pero hace un gran esfuerzo de marketing al producir espirulina en tabletas y cápsulas además de gránulos. Para ello, ha contratado a un farmacéutico en su equipo.

La capacidad de producción instalada es de 3 toneladas por año (7 g/d/m² probados) pero produce solo 2 toneladas de acuerdo a la demanda actual del mercado nacional (2008).

Lionel Raobelina, quien administra la finca desde hace 10 años, no pudo asistir al Coloquio en Tuléar pero está brindando la información anterior, así como una película para los participantes.



BREVE HISTORIA de los inicios de la espirulina en Costa de Marfil

A fines de 1993, Etienne Boileau lanzó la producción de espirulina en el dispensario Camiliens en Davougou, Benin, con la ayuda de TECHNAP, luego, en agosto de 1994, CODEPHI ayudó a Etienne a instalar allí dos estanques de cemento de 8 m². En 1995, Jacques Servant, director ejecutivo de Improbois (Côte d'Ivoire) visitó las instalaciones y firmó con entusiasmo un cheque para la construcción de una tercera cuenca de cemento de 8 m².

A partir de entonces, el Sr. Servant decidió establecer también una pequeña producción experimental de espirulina en su finca modelo llamada Société Agro-Piscicole de la Mé, cerca de su fábrica de contrachapado en Adzopé, en Costa de Marfil. El 4 de octubre de 1998 vino a verme a Mialet (Gard) para pedirme ayuda con el fin de gestionar mejor su pequeña instalación de espirulina y hacer los planos de una gran explotación en el mismo terreno. Doy mi consentimiento y propongo que Lionel Raobelina, un joven ingeniero químico, me sustituya en el acto. Lionel firma un contrato de 3 meses.

En noviembre de 1998 fui a Adzopé acompañado de Etienne Boileau para mejorar la gestión de la instalación temporal de espirulina y diseñar los planes de una granja para producir 5 kg por día, a pedido de la dirección de Improbois. Lionel se une a nosotros y el proyecto, firmado conjuntamente por Boileau, Lionel y yo, se entrega a la Dirección al final de nuestra misión, mientras que Lionel asume su cargo.

En febrero de 1999, Lionel decide ampliar su contrato y finalmente se quedará 10 años en La Mé y creará allí una hermosa granja de espirulina, con una capacidad que rápidamente aumentará a 10 kg/día. En octubre de 1999 la primera fase (600 m²) está lista para comenzar. En diciembre vuelvo a ver el inventario acompañado de Boileau.

A partir del verano de 2000 se aumentó la capacidad a 10 kg/día con 1200 m² de estanques en invernaderos operativos. Olivier Barbaroux, de IFREMER-Nantes, viene a informar sobre SAP La Mé y su granja de espirulina.

Fue un gran éxito técnico y comercial. Lionel supo rodearse de un equipo de operadores reclutados localmente y capacitarlos a fondo. Al mismo tiempo, colaboró con las autoridades sanitarias y en particular con el vecino Centro Raoul Follereau.

Sin embargo, la producción rápidamente planteó un problema de ventas y Lionel formó un equipo de marketing bien estructurado, incluido un graduado en farmacia, para sondear una gran cantidad de farmacias, particularmente en Abiyán. El éxito comercial fue total en pocos años por lo que ahora la demanda supera con creces la capacidad de la finca: podríamos construir 2 más, pero la dirección de Improbois ha decidido no invertir más en este sector.

La guerra civil no detuvo el progreso de la finca.

Lionel decidió dejar Costa de Marfil en 2010, después de asegurarse de que sus equipos técnicos y comerciales podían valerse por sí mismos.

A29) LISTA DE VERIFICACIÓN PARA LA PUESTA EN MARCHA DE SPIRULINA EN UN NUEVO SITIO

(Nota: el máximo debe encontrarse en el sitio; el resto debe traerse)

Grosor de película de PE para invernadero 0,2 mm (para cubeta extensible)

Contenedores tipo "Tupperware" (para pruebas de humedad y almacenamiento de biomasa fresca)

Lavabos (preferiblemente blancos) incluido uno con bordes rectos

Balde de plástico (preferiblemente blanco y graduado)

escoba de plástico

Frasco graduado de plástico de 1 litro

Notas adhesivas

Filtro de papel tipo filtro de café Mellita N°4

Embudo de plástico

Pala de plástico de borde recto

secchi

Sobres de sales para 8 litros de medio de cultivo inicial

Kit de análisis de agua Merck (nitrato, sulfato, amonio, calcio, dureza)

Balanzas electrónicas 100 g (a 0,1 g) y 3 kg

Pequeños recipientes de plástico para pesar

Jeringas, cuentagotas

Fregaderos de plástico (para prensa)

Papel absorbente tipo Sopalin

Termómetro (0 – 100°C), hidrómetro (1000 – 1050 g/l)

pHmetro con electrodo de repuesto

Estándares de pH 7 y 10 en cápsulas

higrómetro digital

Baterías de repuesto

lavar botella

Bombas y compresores para acuarios

bomba de sótano

Recipientes de plástico para cultivos de laboratorio, lámpara de noche 40 Watt

Tubo flexible diámetro 4 mm para aire + te con grifos

Tubo flexible diámetro 10 mm para bomba

Manguera de jardín con boquilla de chorro regulable

Programador y enchufes múltiples

regla de bolsillo

Lupa (x25) o microscopio (x100)

Quistes de artemia (huevos) y miniacuario para pruebas de toxicidad

Tejidos filtrantes de poliéster de 30 µ

Tejidos de poliéster de 315 µ

Rejilla de plástico para marcos de filtros

extrusora

Secadora eléctrica o algo para construir una secadora solar (mosquitero, película plástica negro, abanico)

Sobres termosellables para envasado de espirulina

Kit de reparación de láminas de plástico

Grapadora y grapas

Herramientas básicas (sierra, destornillador, martillo, tijeras) + clavos, tornillos

Lampara de bolsillo

100% cepa de espirulina espiral u ondulada

Manual de cultura artesanal (libro y disquete)

Bicarbonato de sodio

sal de cocina

Urea

nitrate soluble

Fosfato soluble

Sulfato de magnesio

sulfato de potasio

Sal de calcio soluble o cal

Oligoelementos

Ferfol o Fetrilon (hierro quelado) o ácido cítrico o jugo de limón

Ácido clorhídrico concentrado

Sosa o potasa cáustica o ceniza de sosa (o ceniza de otro modo)

Agua potable o filtrada

A30) Espirulina humanitaria en países en vías de desarrollo (Texto de P. Ancel del 20 de mayo

NB El siguiente texto refleja la opinión de su autor que tiene una larga experiencia en el cultivo de espirulina en África. El autor de este Manual está en gran parte de acuerdo con este texto, pero le gustaría enfatizar que siempre es posible que usted mismo "cultive su espirulina" sin las limitaciones socioeconómicas que señala acertadamente P. Ancel.

Cuando se cultiva para uno mismo o para la propia familia o incluso para los vecinos, no es obligatorio ser "rentable" como en una empresa que debe pagar personal y presentar un balance financiero positivo a falta de desaparición. La ventaja de poder consumir tu propia espirulina **fresca** es tal que bien merece la pena no ser "rentable". A fin de cuentas, esto es similar a cultivar sabrosas variedades de tomates en su propio jardín, cuyo precio de costo nunca sabrá, ¡pero recordará por mucho tiempo el placer que tuvo al comerlos!

Espirulina humanitaria en países en desarrollo: pensando en el mañana

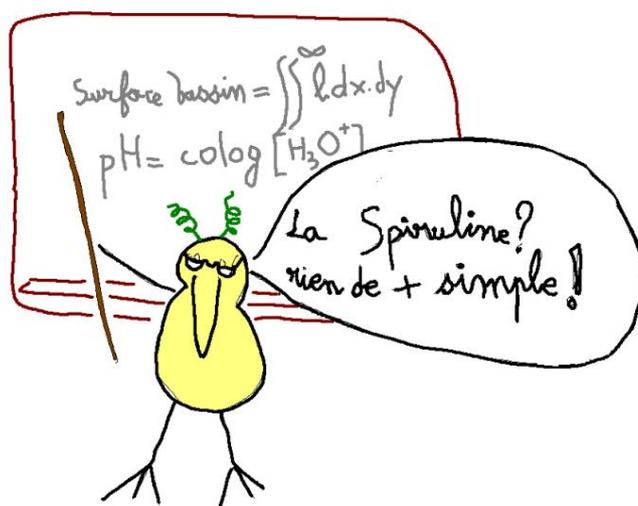
Introducción

Cuando eres una ONG, querer montar instalaciones de cultivo de espirulina en países en vías de desarrollo es un objetivo loable: la lucha local contra

desnutrición, mejora de las defensas inmunológicas de niños y adultos de poblaciones desfavorecidas, la espirulina, a la espera de haber conquistado las principales organizaciones internacionales de salud y el mundo científico a menudo escéptico, sin embargo tiene muchísimos seguidores, incluyendo organizaciones locales de salud, congregaciones religiosas, centros de rehabilitación nutricional, médicos y enfermeras que pudieron comprobar la evidencia del "plus" que aporta la espirulina.

Por lo tanto, muchas ONG, pequeñas o medianas, están descubriendo los asombrosos méritos de la *arthrospira platensis*, vulgarmente espirulina, y luego quieren establecer culturas locales. Sobre el principio de proporcionar cañas de pescar en lugar de peces.

Cependant, lorsque l'on a trouvé un bon partenaire local, construit avec lui quelques bassins et démarré une culture, l'essentiel du travail reste à fournir par l'ONG, ce qu'elle ignore le plus souvent... De quoi s'agit -Él ?



Una carrera de obstáculos...

Para lograr el éxito, la ONG se encontrará con 3 grandes obstáculos, que deberá tener en cuenta si es posible **antes** del inicio del proyecto. Desafortunadamente, sus esfuerzos se concentran generalmente aguas arriba de estos obstáculos: la elección del socio, la puesta en marcha del proyecto, los acuerdos, la recaudación de fondos, la construcción, la puesta en marcha de los cultivos absorben la mayor parte de su energía... Cuando aparecen dificultades reales sobre el terreno, la ONG a menudo no está preparado.

Obstáculo 1: dominar la cultura

Las técnicas para cultivar espirulina ahora son bien conocidas... ¡por los especialistas en la materia! Cuando la ONG se inicia en proyectos de espirulina, es raro que tenga a su disposición uno de estos especialistas. Se ve obligado a comenzar gracias a los consejos, escritos u orales, de este último, o gracias a algunos conocimientos adquiridos en misiones anteriores. Citemos la existencia del manual de cultivo artesanal de espirulina de Jean Paul Jourdan, el de Idées Bleues de Giles Planchon, así como la obra de Ripley Fox: "Spirulina: técnica, práctica y promesas". Finalmente, desde abril de 2004 es posible venir y formarse gracias a un ciclo de 400 horas en el Centro de Formación Agrícola de Hyères, que debería permitir a los principiantes alcanzar una cierta madurez.

El efecto engañoso proviene del hecho de que el inicio de un cultivo de espirulina generalmente no plantea un problema : la cepa y el medio de cultivo son nuevos, las condiciones de desarrollo son óptimas. Este período favorable, de algunas semanas a algunos meses, generalmente corresponde al período de presencia de los representantes de las ONG en el lugar.

Luego se van con la sensación de "misión cumplida". El primero

Las dificultades generalmente aparecen solo después de la partida de la ONG y se incrementan por tres factores:

la incapacidad del actor local, todavía inexperto, no sólo para encontrar la causa, sino también para **describir** el problema cultural encontrado, las dificultades y los retrasos en la comunicación: idioma, distancia, conexión telefónica... la rapidísima evolución de la espirulina, una cianobacteria, tan capaz de duplicarse cada 7 horas como de muerte súbita. Así hemos podido observar la muerte simultánea en pocas horas de cepas "Paracas" en Burkina Faso, desarrolladas en tres sitios diferentes separados entre 10 y 30 km... sin ninguna explicación racional hasta la fecha...

Está claro que el cultivo de la espirulina es un arte relativamente complejo para el común de los mortales, acrecentado aún más por la distancia. La dificultad observada, si finalmente pudiera expresarse correctamente, puede tener varios factores que se entrecruzan. Entre los problemas más frecuentes, mencionemos la aparición de espirulina pura, espirulina fragmentada, el amarillamiento más o menos rápido de los cultivos, las dificultades de filtración, prensado, aparición de sabor u olor desagradable, posible contaminación por otras algas, etc.

A esto hay que añadir que los equipos que proporciona la ONG en ocasiones son inadecuados o quedan rápidamente fuera de servicio en el campo: pHmetros defectuosos o mal utilizados, soluciones estándar y kits de análisis obsoletos, etc., que dificultarán la tarea. a destacar las causas, sobre todo porque pueden ser numerosas, ligadas a factores como la temperatura, la insolación, la alimentación, la agitación, el pH, etc.

Así, contrariamente a la creencia popular, mantener una unidad de cultivo en funcionamiento no es fácil: **es necesario experimentar durante varios años para poder identificar rápidamente, al llegar a un sitio, gracias a la intuición y la observación, el problema de la cultura.** De lo contrario, será necesario tantear, reiniciar los cultivos varias veces antes de identificar el origen de los escollos encontrados.

Barrera 2: Capacitar al personal local

1 – Adquirir el saber hacer...

Cuando la ONG ha adquirido el dominio de la cultura, se trata entonces de transmitir este conocimiento a un pequeño equipo operativo local. Recuerda que es casi imprescindible contar con un socio serio y organizado en obra, instalaciones como agua, luz y teléfono. Por las razones anteriores y por haberlo experimentado nosotros mismos, la espirulina "arbustiva", dentro de una comunidad de pueblo, como lo desean ciertas ONG, si ve la luz aquí y allá, a menudo sufre fracasos. Nos vemos obligados a señalar que la gran mayoría de los establecimientos exitosos en África (vida útil > 5 años) son por el momento el resultado de congregaciones religiosas locales estables y organizadas.

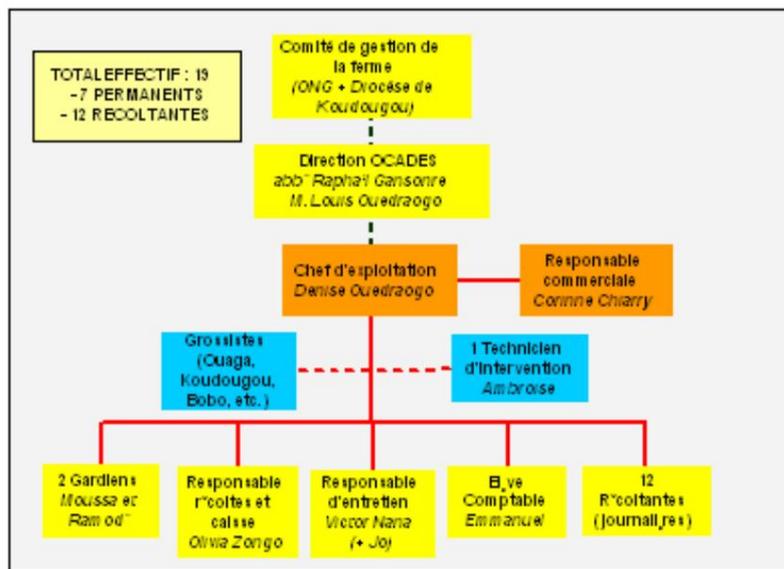
¿Transferir conocimientos? A lo sumo podemos traspasar *conocimientos*, y esperar, con la misma paciencia que nos hemos mostrado a nosotros mismos, que el operador local alcance en unos años o incluso supere nuestro arte de la cultura.

La transferencia de *conocimientos* es relativamente rápida: desde unas pocas horas hasta unos pocos días, según los métodos de enseñanza y la comprensión de los estudiantes.

Elegir al futuro director de operaciones adecuado es fundamental: las cualidades requeridas nos parecen las siguientes:

- saber leer, escribir y comunicarse racionalmente (nivel mínimo: BEPC, preferiblemente el bachillerato, o bac +2) saber contar y practicar fácilmente la regla de 3 y el cálculo mental saber observar y sentir las plantas: en otras palabras, tener la mano verde". Esta cualidad es a menudo prerrogativa de los menos cualificados... si la explotación es importante, saber mandar y dirigir un equipo finalmente y quizás sobre todo, estar plenamente implicado en la explotación y sus objetivos humanitarios.
-
-

Cabe señalar que el gerente de operaciones no puede ser el gerente de la organización local con la que la ONG ha celebrado un acuerdo de asociación, siendo este último, dada su posición, el que más a menudo es llamado para realizar otras tareas. El responsable de la explotación tendrá que dedicar la mayor parte de su tiempo a la espirulina (o incluso *todo* para explotaciones con más de 3 personas): el rápido desarrollo de la espirulina no permite el ausentismo.



Para la formación de los operarios se hará referencia a las obras existentes ya mencionadas. Sin embargo, no se podrán usar tal como están, ya que a menudo son demasiado ricos. Es necesario redactar un "manual de uso de la finca" adaptado a las condiciones particulares del sitio. Por ejemplo, el sitio de Koudougou tiene un "manual" de 8 páginas, suficiente para describir todos los procedimientos de cultivo (siembra, alimentación, medidas y controles, problemas encontrados, etc.).

Solo queda entonces esperar a lo largo de los años las llamadas telefónicas con explicaciones más o menos claras por parte del operador, numerosas durante el primer mes, que luego serán menos frecuentes con el paso de los años. Podemos estimar que **la transferencia de tecnología está asegurada cuando no habrá más de una llamada de ayuda anual...**

2 – Aprende a administrar tu negocio...

Como parte de la formación, dominar el manejo de una unidad de producción de espirulina, ya sea de 50 o 5000 m², es una etapa igualmente larga de adquirir por parte del operador. Por experiencia, nos parece que en África, este aspecto es aún más delicado de abordar, por lo que ausentes de las preocupaciones locales están las nociones de organización, disciplina, anticipación, procedimientos, contrato, contabilidad, que sin embargo son pilares de cualquier negocio.

¿Cuántas veces nos quedamos sin bicarbonato de sodio, sin haber pensado en renovar el stock...?

¿Cuántas veces se abandona el sitio para importantes funerales en el pueblo cercano...? Sin embargo, si bien el hijo puede esperar una o dos semanas antes de ser sembrado, la espirulina requiere un cuidado diario si no se quiere encontrar cuencas amarillentas después de un día de ausencia.

Aquí nuevamente se necesitarán algunos años de paciencia y consejos para que, poco a poco, todos a nivel operativo se sientan responsables, sean eficientes, y que todos estén presentes a las 7 de la mañana...

Por último, la supervivencia de una explotación, grande o pequeña, depende de la progresiva profesionalización del equipo de trabajo. Incluso si la ONG parte de una loable base altermundialista, se verá obligada a reconocer que no escapará a los principios universales de la empresa.

Estos conceptos no impiden en modo alguno el respeto de los principios humanitarios y el buen humor, al contrario. Algunos consejos útiles:

- ❑ **Elabore un organigrama de la operación, especifique las tareas de cada persona** mediante "hojas de funciones". Esto sentará las bases para una operación eficiente y evitará mucha confusión. A modo de ejemplo, presentamos a continuación el organigrama de la explotación agrícola de Koudougou (Burkina Faso).
- ❑ **Concentrar la responsabilidad de la operación, tanto técnica como financiera, en una misma persona** : las decisiones deben tomarse teniendo en cuenta la rapidez de desarrollo de la cianobacteria: pedidos de insumos, sobros, reparaciones y... remesas de salarios, no esperar la decisión de un supervisor remoto. Deben ser tomadas en todo momento por el responsable de operaciones.
- ❑ **Establezca cuentas agrícolas lo antes posible**. Sea cual sea la solución de financiación operativa, es necesario conocer los costes operativos. Debemos oponernos a esta tendencia natural en los países en desarrollo de trabajar día a día y buscar nuevas recetas cuando las arcas están vacías. Tales verdades, por banales que sean, no están necesariamente claras en la mente de todos, tanto a nivel del socio local como de la ONG. En principio, ningún proyecto debería ver **la luz** sin el establecimiento de una *cuenta de explotación mensual provisional, elaborada en paralelo con el presupuesto de inversión*. Esta cuenta de explotación se ajustará luego detallando los elementos clave como salarios, insumos, reparaciones, consumibles, agua, electricidad, sin mencionar, con demasiada frecuencia, víctimas de

- ¡Amnesia africana, suministros para repuestos!
- **Saber involucrar al personal en el funcionamiento de la explotación.** El concepto de salario suele ser bastante abstracto para un nuevo empleado, la mayoría de las veces sin experiencia en un primer trabajo. El salario puede figurar como adeudado, independientemente del trabajo realizado. Sin embargo, es fundamental que cada empleado comprenda que la finca funciona sólo gracias a la voluntad y al trabajo de cada uno, que él "es" la finca: el salario recibido debe reflejar los resultados de la producción. Los bonos de productividad serán un excelente medio de sensibilización y motivación. Sin embargo, el dinero no lo es todo, y será el rol del gerente de operaciones inculcar un buen estado de ánimo dentro de su equipo.

La comunicación dentro de su equipo es fundamental, con contactos directos y precisos. África, pero también otros países en vías de desarrollo donde predomina lo no dicho, no siempre lo escuchan así y los problemas humanos, en los primeros años, se sumarán a los problemas técnicos. Sin embargo, independientemente de las dificultades para implementar el espíritu emprendedor, *creemos que trabajar todos los días por una causa humanitaria es un factor esencial para el éxito y el progreso rápido dentro de un equipo.*

Obstáculo 3: hacer sostenible la operación

El tercer obstáculo se puede resumir de la siguiente manera:

cuantos años durará???

- 1 Cuesta mucho **construir** una granja agrícola
- 2 Cuesta mucho más **operarla** a largo plazo.
- 3 La ONG y el socio local tienden a olvidar el punto 2.

Solución 1: Microinstalaciones (unas pocas decenas de m²) – gastos de explotación a cargo del socio local o de la ONG

Muy a menudo, la ONG luego se concentra en la construcción y puesta en marcha de la granja. **Los aspectos operativos, en particular los financieros, se confían al socio local:** congregación religiosa, asociaciones.

A veces son apoyados en los primeros años por la propia ONG. Esta es la operación más común de las pequeñas unidades de espirulina que se han establecido en África: Davougou (Benin), Nanoro (Burkina Faso), Dapaong (Togo), Puits Bermeau (Níger), Agharous (Níger), Morandave 1ère tranche (Madagascar), Gabón, etc.

Desventaja: una trampa financiera lenta. Al principio, ni la ONG ni el socio local tienen un conocimiento real de los costos operativos. Para una pequeña instalación de unas decenas de m², produciendo unos kilogramos de espirulina al mes, los costes mensuales, teniendo en cuenta los salarios (¡no se olviden de los guardias!), insumos, embolsados, reparaciones y reposiciones, agua, teléfono, electricidad, rondará los 80 a 150 euros (orden de magnitud para África), es decir, entre 50.000 y 100.000 FVOIRA. Estos costes, aunque moderados, suponen una carga adicional para el financista, de la que muchas veces no es consciente al principio. Así, los costes de explotación de las unidades de producción superan el coste de producción en unos pocos años, tanto más rápidamente cuanto más pequeña es la unidad. Por último, producir espirulina en pequeñas instalaciones siempre es más caro que importar espirulina industrial (unos 15 euros el kilo). La solución de producir espirulina en el entorno de un pueblo o a través de una asociación humanitaria local para reducir el costo es a menudo un señuelo: nadie trabaja gratis durante largos períodos, y los salarios, mínimos al principio, se pondrán rápidamente al nivel regional, incluso en el matorral. Por otro lado, la ONG también tendrá que soportar la falta de recursos logísticos y técnicos locales.

En conclusión, la asunción de los costos operativos por parte del socio local o de las ONG solo puede afectar a los pequeños cultivos. La producción seguirá limitada a unos pocos kilogramos/mes, por lo tanto con un impacto humanitario limitado en relación con los esfuerzos realizados.

Ventajas: dar a conocer la espirulina y poder consumirla fresca. Sea como fuere, muchas veces es interesante empezar con estas pequeñas instalaciones, para "acostumbrarse", y porque los costes de inversión son bajos: unos 10.000 euros, si tenemos en cuenta los gastos de la misión, estanques, un pequeño edificio, compra de equipos e insumos para uno o dos años, etc. Por supuesto, será necesario aclarar el problema del financiamiento de los costos operativos antes de comenzar.

Estas instalaciones tienen la ventaja de dar a conocer la técnica de cultivo de espirulina, y permitir la distribución de espirulina fresca, que es más eficaz y tolerable. Esto crea "núcleos de interés" para la espirulina en los países en desarrollo, propicios para la puesta en marcha, en una segunda fase, de proyectos más grandes, con el objetivo de autofinanciarse.

Solución 2: Costos operativos de autofinanciamiento

Este principio afecta a las instalaciones artesanales de mayor tamaño, actualmente

unos cientos de metros cuadrados.

La autofinanciación de los gastos de explotación se obtiene comercializando parte de producción (%c). La otra parte está destinada a la distribución social.

Notas importantes: la participación social (%s) que puede proporcionar una finca no es un objetivo que se pueda fijar "a priori" sino una consecuencia de : •el precio de costo de producción Pr •el precio de venta Pv, por la relación:

$$Ps.\%s + Pv.\%c = Pr (100 + \text{margen operativo})$$

$$\%s = \frac{Pv.100 - Pr (100 + \text{margen operativo})}{HP-PS}$$

Ejemplo :

Pr (precio de coste) = 15 Euros/kg

Margen bruto = 20%

Pv (precio de venta al por mayor) = 23 Euros/kg

Ps (precio de venta social) = 6 Euros/kg

 **%s = 29%**

¿Cómo aumentar el porcentaje social de %s ?

Los grados de libertad son finalmente limitados:

El precio de venta comercial "Pv" no puede aumentar más allá de un cierto umbral : **debe tener en cuenta la competencia nacional e internacional, la cual, si no existe al inicio del proyecto en el país en cuestión, no se establecerá cuando su el éxito llama la atención.**

El margen operativo no puede reducirse sin pensar a riesgo de poner en peligro la salud financiera de la finca El precio social depende del poder adquisitivo de los más pobres. ¡En algunos casos, puede ser cero! No hace falta aumentarlo...

>>> Queda la posibilidad de actuación sobre el precio de coste Pr

ÿ ¿Cómo reducir el precio de costo Pr ?

Por supuesto, intentaremos racionalizar la explotación, en particular mejorando las técnicas de

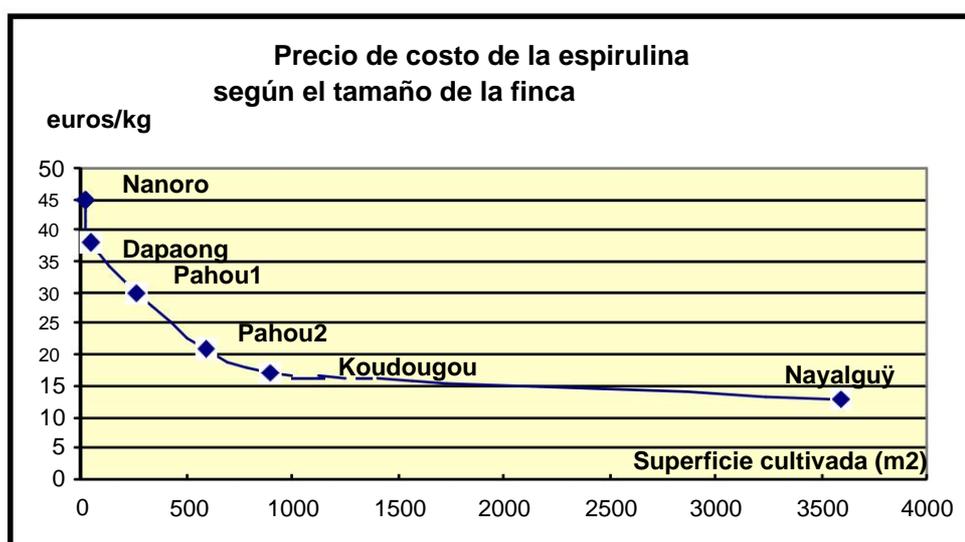
cosechar, embolsar, encontrar insumos más baratos, reducir el consumo

energía (agua, electricidad, gas), etc.

Sin embargo, la forma más eficaz con diferencia es **aumentar la superficie de operación**, para beneficiarse del efecto escala.

Así, podemos:

- reducir la proporción relativa de personal no productivo (costos fijos)
- mejorar la productividad de las cosechadoras gracias a talleres centralizados y el uso de bombas de cosecha
- reducir los costos específicos de mantenimiento (secadores y piletas más grandes, equipos de laboratorio, TI, costos de teléfono)
- reducir el costo de insumos (compras a granel)
- reducir el costo relativo de embolsado (pedidos a granel), publicidad
- limitar los costos de energía (agua: uso de perforaciones – electricidad: sistema solar conectado a la red)



A modo de ejemplo, el siguiente gráfico da el orden de magnitud de los precios de costo en diferentes fincas africanas.

Tipo	Área de operación (m ²)	Productividad (g/d /m ²)	Producción anual (kg) 22 73	Personal tiempo	kg/persona/año	Precio de reventa (euros por kg)
Nanoro, Dav ougon	20	3		completo	1	22
Dapaong	50	4			2	37
Pahou1	260		475		5	95
Pahou2	600	5	1.205		9	134
Koudougou	900	5,5	1.807		13	139
Nayalgué	3600	5,6	7.884		40	197

[Nota del editor: en este documento que data de 2004 "Koudougou" designa la granja de espirulina conocida como "du Petit Séminaire" en Koudougou y "Nayalgué" otra granja de espirulina también ubicada en Koudougou cuyo tamaño llegaría a alcanzar los 3600 m²: las cifras correspondientes a Nayalgué son una estimación extrapolada. Por otro lado, las cifras indicadas son para funcionamiento a pleno rendimiento, mientras que en la práctica sucede que trabajamos a pleno rendimiento por falta de salida]

Desventajas de la operación autofinanciada: esta solución solo es posible para instalaciones de tamaño mediano : el punto de equilibrio para la rentabilidad en África (pero ciertamente también en otros países en desarrollo) es de alrededor de 400 m². Hacerlo más pequeño conduce a un precio de costo de la espirulina que, en la mayoría de los casos, es incompatible con el mercado internacional. El coste de inversión en este continente ronda los 15.000 euros por 100m²

(edificios incluidos), vemos que es difícil reclamar autosuficiencia en operaciones si uno no tiene un mínimo de 60.000 a 100.000 Euros, que no está al alcance de todas las ONG! Entonces es necesario buscar financiamiento externo de donantes institucionales, lo cual es largo y requiere cierta experiencia.

Además, los proyectos "medios" requieren un sólido conocimiento del cultivo de la espirulina, cierto rigor en la organización y gestión, etc. Imaginamos que "fracasar" en un proyecto de gran envergadura tendrá un impacto considerablemente más amplio que si hubiéramos fracasado en la cultura de las cuencas pequeñas...

Beneficios: abordar la desnutrición a gran escala. Crear riqueza local real

La finca de cultivo autofinanciada, una vez alcanzado su equilibrio, tiene muchas ventajas:

Es evidente que la puesta en marcha de instalaciones que produzcan varias toneladas de espirulina al año permite atacar el problema de la desnutrición a escala nacional y tratar a decenas de miles de niños desnutridos. Ya no es una curiosidad local, la espirulina se puede conocer y consumir en todo un país.

El principio de la empresa faculta al socio local, lo que no puede hacer la infusión mediante el envío de fondos regulares (solución 1). Una gestión mal controlada lleva el proyecto al fracaso muy rápidamente: existe por lo tanto una obligación de resultado, que crea gradualmente a nivel del socio local la atención (y la tensión) conducente al éxito. La empresa crea así una verdadera **riqueza local** que, además de la lucha contra la desnutrición, emplea todo un equipo operativo, talleres locales de mantenimiento, agentes comerciales, etc.

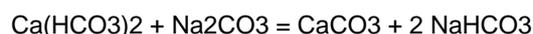
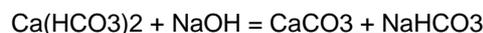
Conclusión: Que el

consejo anterior, que a veces revela una dolorosa realidad, no debe desanimar a las ONG principiantes. Hay, con la espirulina, una enorme demanda en los países en desarrollo, donde la desnutrición es rampante. Su éxito se debe a sus notables cualidades nutricionales, que lo convierten en el complemento inigualable de una mala alimentación. Tienes que haber estado tú mismo en una situación de desnutrición en estos países para darte cuenta de la importancia que puede tener un bote de espirulina en tu equipaje, que sin embargo olvidarás en un armario una vez llegues a casa. Esta es la razón por la cual, a pesar de las dificultades, la espirulina debería establecerse gradualmente en los próximos años en la mayoría de los países africanos.

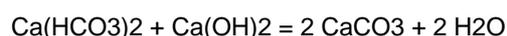
Cuando el agua contiene demasiado Ca o Mg en comparación con las necesidades de la espirulina, puede agregar más fosfato a la piscina (que precipitará con el Ca o el Mg), o pasar el agua a través de un intercambiador de iones clásico suavizante de resina (pero rechazaremos el agua que contiene cloruros, por lo tanto contaminación), o trataremos el agua en un tanque con reactivos que precipitarán carbonatos insolubles (y no contaminando el medio ambiente).

Para este último caso, tenemos la opción de reactivos:

con refresco:



con cal:



La elección es suya, sabiendo que si el Ca está en forma de cloruro, solo el carbonato estará activo.

NB 1: El Mg sigue la misma suerte.

NB 2: Se recomienda encarecidamente no almacenar el agua purificada a la luz porque existe el riesgo de que se desarrollen microorganismos tóxicos.

CÁLCULOS

El software presentado aquí fue escrito en VisualBasic para Windows. Reemplazan las versiones anteriores de QBASIC que, por lo general, ya no se pueden usar con los sistemas operativos Windows actuales. No funcionan en dispositivos Apple y Android. Se proporcionan de forma gratuita para uso no comercial y sin garantía. Para que funcionen es necesario tener en tu disco duro el módulo libre

[Microsoft .NET Framework versión 1.1 redistribuible](#)

Si no tiene este último en su disco duro, descárguelo de Internet (23 Mo); elija la versión en francés (de lo contrario, al usar el software, las comas decimales a veces se transformarán en puntos). Entonces es imperativo usar la coma para marcar los decimales.

El software está alojado en el sitio de Petites Nouvelles, desde donde debe descargarse **a su disco duro utilizando los enlaces a continuación.**

Estos programas no se pueden enviar por correo electrónico, porque los antivirus detienen los exe.

La distribución de dicho software está sujeta a los términos del Acuerdo de licencia de usuario final ("EULA") de Visual Basic.Net de Microsoft Corporation.

NB Este software, al ser "exe", genera un aviso de precaución, pero no contiene virus; se pueden guardar y abrir sin miedo.

[Simulación de un cultivo de espirulina por SPIRPAC-F](#)

Ver y utilizar el **[Manual del propietario](#)**

[Duración del día : Durdav](#)

(útil para crear nuevos sitios en SPIRPAC-F)

[Subir o bajar el pH de un medio : DeltapH](#)

[Medios de cultivo y fórmulas alimenticias](#)

(consulte [el AVISO MEDFEED](#) a continuación en la página 174)

1. Caso "Clásico": [MEDFEED1](#) o "Clásico"
2. Lo mismo pero en versión "sin salinización": [MEDFEED2](#) (ver PN noviembre 2009)
3. Idéntico al caso clásico excepto que el agua de mar aporta el Ca y Mg necesarios: [MEDFEED3](#) = "Clásico" pero Ca y Mg aportado por agua de mar (EDM)
4. Caso "Clásico" donde se utiliza agua de cenizas (EDC) para alcalinizar y reponer K, agua de mar (EDM) para reponer Mg, Ca y Azufre y Fósforo siendo aportado por ácido fosfórico: [MEDFEED4](#) = "Clásico" con K proporcionado por [EDC](#)
5. Caso base con NPK, siendo el Mg y Ca necesarios aportados por sulfato de magnesio y cloruro de calcio (o cal) : [MEDFEED5](#)
6. Caso en NPK donde el agua de mar trae Mg y Ca necesarios: [MEDFEED6](#)
7. Caso en NPK donde el agua de mar solo proporciona el Mg necesario: [MEDFEED7](#)
8. Caso en NPK donde el agua de cenizas (EDC) aporta la alcalinidad y el agua de mar (EDM) el Mg necesario: [MEDFEED8](#)
9. Caso "clásico" pero con potasio y sin salinización: [MEDFEED9](#)

pH de C o C de pH: [pHexC](#)

(C = relación molar CO₂/NaOH en el medio de cultivo)

Consumo de CO₂ por fotosíntesis y absorción de CO₂ de la atmósfera (en condiciones fijas y despreciando la respiración; útil para entrenar): [ZABSCO2](#)

Evolución del pH y concentración de un cultivo sin cosechar: [SPITFIX.exe](#)

(en condiciones fijas; muy útil para entrenar)

Plano inclinado: [PLANINCLINE.exe](#)

(tomado de <http://www.ponce.tv/onlinechannel15.php>)

(Para el número de Manning ver por ejemplo:

http://www.engineeringtoolbox.com/mannings-roughness-d_799.html)

Manual de usuario del programa

SPIRPAC-F.exe

(edición del 21 de octubre de 2016)

Advertencia

La pantalla se puede modificar para adaptarse a las pantallas de mini portátiles, por ejemplo, con una resolución tan baja como 1024 x 768 píxeles. (Esta posibilidad también se puede utilizar como una lupa virtual para ver detalles de los gráficos).

~~Antes de usar el software, cree una carpeta C:/PERSO para guardar e imprimir los resultados de la simulación y mantener el stock de datos meteorológicos de los sitios estudiados que no sean los incluidos en el software.~~

Resumen :

Modo de empleo

Resultados

Cómo crear nuevos casos

Apéndices

ANEXO 1: Descripción detallada del modelo de simulación

APÉNDICE 2: Factores que influyen en la fotosíntesis

ANEXO 3: Fuentes de estadísticas sobre la radiación solar horizontal global en Europa y África

ANEXO 4: guía simplificada para optimizar

ANEXO 5: precauciones a tomar si se está en tratamiento con anticoagulantes (pág. 172)

En la **tabla** de resultados diarios , significado de algunos de los encabezados de las columnas:

Prod = g/d/m²

Carbur = g de combustible (pH + calefacción) /m²/día

COP = coeficiente de rendimiento de la bomba de calor, promedio durante el día

kWhe = consumo de electricidad de la bomba de calor, en kWh/m²/día

kWhth = producción de calor de la bomba de calor, kWh/m²/día

Nota: Se toma el poder calorífico inferior del metano = 14 kWhth/kg

Resultados

Los resultados se pueden leer en los gráficos (preste atención a las escalas) o en la tabla diaria. La pantalla se ha ajustado para adaptarse mejor a las pantallas de los portátiles (por ejemplo, resolución de pantalla de 1366-768).

Las concentraciones de **espirulina** indicadas se miden **justo antes de la cosecha**, y los **pH indicados** se miden **a las 7 p. m.**, por convención .

Cómo crear nuevos casos

En lugar de cambiar los valores de los parámetros por el método anterior (§ A), es posible escribir un archivo de texto (.txt, a través de Accesorios/Bloc de notas, por ejemplo) que es una serie de 188 valores de parámetros o caracteres delimitadores, separados por comas **Los decimales de los parámetros deben marcarse con puntos**. Para facilitar la localización de los parámetros, se coloca un delimitador (una letra mayúscula entre comillas) después de cada serie de 12 valores; es mejor tener todo en una sola línea para que funcione bien. Puede guardar tantos sitios como desee en la carpeta C:/Perso, evitando conflictos de nombres de sitios. No olvide ajustar los coeficientes de nubosidad atmosférica utilizando datos experimentales de irradiación solar cuando se conozcan (ver [Apéndice 3](#)).

Aquí está la clave para comprender los valores de las variables a corregir (la misma clave para comprender se aplica a los datos impresos en los resultados, pero tenga **cuidado en los resultados, los decimales están marcados con comas**) :

Datos meteorológicos

antes del punto de referencia A (variables n° 0 a 11): temperaturas máximas medias diarias (°C) de los 12 meses del año; marca A = n°12 **entre A y B** (n°13 a 24): igual para temperaturas mínimas, °C; marcador B = n° 25 **B – C** (26 – 37): temperaturas del punto de rocío, °C (calculadas a partir de la temperatura y la humedad relativa del aire, ver Wikipedia en el artículo “Punto de rocío”), pero generalmente tomamos = mínimo temperaturas; marcador C = n°38 **C – D** (39– 50): % de tiempo nublado = (1 – fracción solar) x 100 NB Para calcular la fracción solar a partir de las “horas de sol por día” debe tener la duración de la día teórico, que es fácil de calcular con el pequeño software [durjour.exe](#) ;

D = nº 51

D-E : velocidades del viento , milsegundo

E = nº 64

E – F : coeficientes de perturbación atmosférica (entre 0 y 1, calculados con 3 decimales de modo que la relación de irradiación global horizontal calculada = irradiación global horizontal dada por el PVGIS; F= 77

F – G : cantidades de lluvia, litros/m²;

Sol=90

~~Después de los datos meteorológicos del sitio, vienen los parámetros de funcionamiento de la cuenca,~~

clasificados en orden alfabético (mismo orden que en la lista desplegable que permite visualizar los parámetros en pantalla), y también en series de 12 delimitadas de la misma forma. forma por letras (los números colocados delante de cada línea son números de secuencia útiles para modificar el programa fuente):

90G

91 Adición máxima de bicarbonato de sodio, g/día/m²

92 Adición máxima de CO₂, g/día/m²

93 Adición máxima de azúcar, g/día/m²

94 Alcalinidad del agua de reposición, moles/l (se supone que se deriva del calcio y el magnesio como carbonatos y bicarbonatos, funciones del pH del agua de reposición)

95 Alcalinidad máxima permitida en el medio, moles/l

96 Alcalinidad del medio nuevo (> 0 = alcalinidad del agua de reposición), moles/l

97 Altitud, m

98 Reposición de agua: 1= posible, 0 = no posible

99 Acimut del plano de recorte (grados de ángulo; 0 = Sur; 90 = Este)

100 Capacidad máxima de recolección, g/día/m² (si >=20, cosechadora sistema Rampelt)

101 Combustible (ninguno = 0; CH₄ = 1; C₃H₆ = 2; C₄H₈ = 3; MeOH = 4; EtOH = 5; CH₄ en biogás = 6, CO₂ en gas de compost = 7)

102 Coeficiente de absorción de CO₂, moles/h/m²/atm (normal = 25)

103H

104 Coeficiente de ajuste de la función de fotosíntesis (normal = 1; si agitación muy fuerte o excepcional = 2 o 3; también depende un poco de la cepa)

105 Coeficiente de ajuste de la función de respiración (normal = 1) (ver también No. 178)

106 Coeficiente de modulación de regulación de sombreado (entre 0 y 1)

107 Coeficiente de modulación de regulación de aireación (entre 0 y 10)

108 Coeficiente de modulación de la velocidad del viento (entre 0 y 10)

109 Coeficiente de transferencia de calor (0 a 10 W/m²/°C) de la cubierta aislante de la piscina en los casos de aislamiento = 1, 2 o 3. Por ejemplo, un aislamiento por 12 cm de poliestireno extruido da 0,25 W/m²/ °

contra En el caso de un acumulador nocturno en el caso de un aislamiento 1 ver **explicaciones a continuación:** acumulador).

110 Concentración de CO₂ en el aire exterior, vpm (alrededor de 400 en 2016)

111 Concentración mínima de sales "fijas" (cloruros, sulfatos, nitratos), g/l (en principio = 12 – 40 x alcalinidad si la salinidad del agua = 0; pero el software calcula automáticamente esta variable así como la suma de sal para compensar las purgas)

112 Concentración de espirulina después de la cosecha, g/l (> 0,15)

113 Concentración inicial de espirulina, g/l (> 0 = 0,15)

114 Consumo de CO₂, kg/kg de espirulina (normal = 1,8)

115 Tasa de ventilación del invernadero, Nm³/hr/m²; cualquiera si no hay invernadero

116 yo

117 Flujo de combustible para pH, g/hr/m² (cualquiera si no hay combustible)

118 Costes fijos (amortización, mano de obra, mantenimiento, etc.), €/m²/año; si = 0, calculado

automáticamente de acuerdo con las opciones que tienen un impacto en la inversión

119 Costes de secado, €/kg

120 Costes de envasado y análisis, €/kg 121 Tiempo

medio de cosecha (<12)

122 Inclinación del plano del cultivo, en grados de ángulo con respecto a la horizontal 123

Aislamiento hacia arriba (no aislado = 0; total de noche = 1; térmico de noche = 2; térmico de noche y de día = 3)

124 Día inicial (fecha en el mes)

125 Lámparas, potencia en klux/m² de piscina 126

Latitud del emplazamiento, grados de ángulo (entre - 65 y 65 ° ; < 0 en el hemisferio sur)

127 Luz máxima autorizada (en klux) para evitar fotólisis cuando la piscina está a 10°C (ej. 45 para Lonar y 30 para Paracas en invernadero, 30 y 20 respectivamente al aire libre, por los rayos UV); si = 0, no se tendrá en cuenta la fotólisis)

128 Mes inicial (fecha en el año)

129 días

130 Número de días consecutivos de parada de cosecha en fin de semana (0 a

7): 7 = funcionamiento sin cosechar y 6 = 1 cosecha/semana 131 Número de días consecutivos de simulación (400 máx)

132 Número de días libres entre campañas (limpieza, mantenimiento, reinicio); estos días se incluirán en el "período de actividad" incluso las piscinas paradas.

133 Número de días sin añadir bicarbonato sódico, azúcar ni CO₂ al final de campaña (antes de vaciar)

134 Sombra fija dentro (1) o fuera (0) del invernadero 135 Opción:

0 = calefacción por bomba de calor "virtual" y/o cálculo mes a mes; 1 = cálculo

normal y/o calefacción por bomba de calor "real"; de lo contrario = flujo máximo de combustible para calefacción, g/hr/m² (un buen valor es 75)

136 Opción precio costo sin medio de cultivo inicial (0), o con (1) 137 pH de medio

de cultivo purificado reciclado; cuando no lo sepas, se recomienda poner el mismo valor que la variable

140 138 pH del agua de reposición (cualquiera si su alcalinidad es cero) 139 pH del medio de cultivo

inicial 140 pH que buscas obtener mediante la adición de carbón (punto de ajuste de regulación)

141 Por ciento de CO₂ (por volumen) en biogás o compost gaseoso; no debe ser cero en el gas de compost

142K

143 Porcentaje de sombreado fijo (día y noche activo)

144 Porcentaje de sombra nocturna (escudo térmico por la noche)

145 Por ciento del calor de combustión transformado en electricidad

146 Porcentaje de lluvia que cae sobre la superficie de la cuenca admitida en la cuenca (abierta)

147 Porcentaje de purga diaria máxima permitida

148 Porcentaje de potencia de la lámpara que contribuye al calentamiento de la piscina (> 32)

149 Precio bicarbonato de sodio, €/kg

150 Precio ceniza de sosa, €/kg

151 Precio del combustible, €/kg (cualquiera si no hay combustible) (si biogás = precio del contenido de CH₄; si compost gas = precio del contenido de CO₂)

152 CO₂ precio, €/kg

153 Precio del agua, €/m³

154 Precio de la electricidad de 220 V comprada o vendida, €/kWh

155L

156 Fosfato monoamónico precio, €/kg

157 Precio de la sal de cocina, €/kg

- 158 Precio del azúcar, €/kg
- 159 Precio del sulfato de dipotasio, €/kg
- 160 Precio del sulfato de magnesio heptahidratado (sal de Epsom), €/kg
- 161 Precio de la urea, €/kg
- 162 Precio máximo de venta (a baja producción), €/kg
- 163 Profundidad inicial de cultivo, cm (recuperada añadiendo agua después de la pérdida de 1 cm por evaporación)
- 164 Profundidad máxima de cultivo, en caso de lluvia en cuenca descubierta, cm (> profundidad inicial)
- 165 Purga, adiciones de carbón, agua, reciclaje eliminado en los días de parada de fin de semana (1); o mantenido (0)
- 166 Cosechar solo si pH \geq valor establecido aquí (normalmente 9,6)
- 167 Reciclaje de medio de cultivo purificado, litros/m²/día (si = 1, reciclar = prodj automáticamente, valor normal)
- 168M**
- 169 Título del caso estudiado
- 170 Rendimiento de cosecha, % (= 100 – % pérdida en lodo, cosecha, secado y envasado)
- 171 Salinidad total del agua de reposición (tds), g/litro
- 172 Salinidad máxima permitida en medio de cultivo, g/litro
- 173 Invernadero (1 si la piscina está en un invernadero, 0 en caso contrario)
- 174 Invernadero (0 si PE pared simple, 1 si PE pared doble, 2 si PC pared doble, 3 si PC pared triple) (PE = Polietileno, PC = Policarbonato)
- 175 Umbral de luz con aislamiento 0 (mascarillas) y para quitar o poner aislamiento 1 o 2 en la piscina, en klux en la superficie de la piscina
- 176 Temperatura máxima autorizada de la piscina, °C (42 por ejemplo)
- 177 Temperatura de recalentamiento de la bomba de calor, °C (virtual o real; si no bomba de calor: 0)
- 178 Tasa de reducción de la respiración nocturna (0,2 para el caso aislado = 1, en caso contrario entre 0,3 y 1 dependiendo del grado de agitación nocturna)
- 179 Temperatura por debajo de la cual puede haber fotoinhibición (alrededor de 23°C); si = 0, no se tiene en cuenta la fotoinhibición
- 180 Valor de agua equivalente para fondos de piscina + bordes, cm
- 181N**
- 182 Variación del precio de venta (disminución) en función de la producción anual (= ventas), €/kg por kg/m²/año
- 183 Velocidad media de agitación, cm/s (30 = velocidad máxima normal; > 30 = productividades excepcionales)
- 184 Temperatura de regulación de calentamiento de combustible, °C (si no hay calentamiento de combustible: 0)
- 185 Tasa de purga mínima, que puede ser 0 en caso de purga fuerte, %/día
- 186 Factor de ajuste de ordenadas del gráfico (de 0,5 a 3 que es el máximo para no perder el eje de abscisas con pantalla grande). Pero nada impide ir más allá de estos límites, que pueden ser muy interesantes para estudiar el detalle en un período corto (= efecto "lupa"), más de un mes por ejemplo. Valor habitual: 1,7
- 187 Factor de ajuste de abscisas del gráfico (de 0,5 a 1,8 que es el máximo para no perder el eje y con pantalla grande). Pero nada impide ir más allá de estos límites hasta 10 o 20: puede ser muy interesante estudiar el detalle en un período corto (un mes, por ejemplo).
- 188 Precio del calor, €/MWh, en caso de acoplamiento con digestión anaeróbica u otra fuente de

calor

Una vez escrito este archivo, guárdelo con un nombre de su elección. Al usarlo, guárdelo en C:\PERSO 1.txt (o cualquiera de los otros 4 "PERSO" disponibles, PERSONAL 2, PERSONAL 3, PERSONAL 4 o 5)

En la práctica, generalmente partimos de un ejemplo existente, lo modificamos en la pantalla y lo guardamos con su nuevo nombre.

Uso de Spirpac-F

Una ventaja del software es poder optimizar rápidamente el progreso de un cultivo de espirulina que opera en un sitio determinado, en determinadas condiciones climáticas.

También se puede utilizar como ayuda para el diseño de un proyecto correspondiente a un objetivo dado, o como tutorial ("simulador de cultura").

Resultados

Se pueden leer bien en los gráficos (prestar atención a las escalas), o bien en la tabla diaria. Las concentraciones de espirulina se miden justo antes de la cosecha, y el pH indicado para cada día está cerca del máximo del día (medido alrededor de 7 pm.).

El modelo se aplica al caso de un cultivo **autótrofo** de la cianobacteria *Arthrospira* en un tanque al aire libre o cerrado por una cubierta translúcida, con ventilación controlada. Una realización particular del último caso es estirar una película de invernadero sobre los bordes de la cuenca [Jourdan JP (1993) "Solarium spirulina farm in the Atacama desert (North Chile)", Bulletin de l'Institut Océanographique, Mónaco, Special No 12, página 191]; otro consiste en la "cuenca de respiración" con ventilación natural por una chimenea [Fox RD (1996) "Spirulina, producción y potencial", Edisud, Aix-en-Provence]; una funda de película de invernadero, colocada horizontalmente y parcialmente llena de medio de cultivo también constituye una posible realización ("fotobiorreactor"). Para que se aplique la simulación, es necesario y suficiente que la superficie del cultivo en contacto con la atmósfera sea igual a la superficie iluminada. El modo de introducción de aire es arbitrario. No hay limitación a la inclinación y orientación de la superficie activa del cultivo (el medio de cultivo puede así estar fluyendo en un plano inclinado como en los fotobiorreactores tipo Setlik). La latitud del lugar de instalación debe estar entre los círculos polares. Cultivo en agua de mar según el Prof. Mario Tredici se puede simular (a pH de agua de mar). Para climas fríos se ha previsto opcionalmente calefacción y/o doble acristalamiento y/o pantalla térmica por la noche; la calefacción es por bomba de calor o por combustión de combustible limpio y en este último caso se ofrece como opción la cogeneración de electricidad porque la calefacción por sí sola es demasiado cara en la mayoría de los casos; pero podemos valernos de la combustión de gases para llevar CO₂ a la atmósfera del invernadero. Otra opción opcional es el aislamiento del cultivo, con varias modalidades: ya sea aislamiento completo (adiabático) con aireación mínima por la noche, o permitiendo aireación y calefacción solo por la noche o día y noche. Se ha añadido una opción que permite el encendido eléctrico de las piscinas. Otra opción permite reciclar el medio de cultivo después de la purificación (y cambio de pH). Por último, es posible calentar o enfriar artificialmente la piscina mediante una bomba de calor.

Estas opciones se detallan a continuación.

Principios de cálculo y varias opciones.

El programa simula el funcionamiento de la cuenca desde su siembra hasta su cierre después de un número fijo de días (hasta 400). A partir de un medio de cultivo a un pH dado inoculado a tiempo cero, se calcula hora a hora el crecimiento de la espirulina; un balance térmico y un balance de carbono (absorción de CO₂ del aire + inyección – consumo) permiten calcular, también hora por hora, la temperatura y el pH, que por sí mismos determinan la velocidad de crecimiento.

La recolección se realiza una vez al día (a la hora que elijas), excepto los días sin recolección, y lleva la concentración de espirulina al valor que tú elijas, salvo que la capacidad de recolección diaria no puede superar el límite fijado. Pero no hay cosecha si el pH está por debajo de un límite a establecer (normalmente se elige 9,6) o durante las vacaciones de fin de semana (0 a 7 días consecutivos de descanso a la semana). Al final de la campaña se realiza una cosecha total (hasta recuperar la concentración de siembra), y se dedica un determinado número de días a labores intercampañas. La productividad media y el precio de coste tienen en cuenta estos días entre campañas. **El precio de coste solo se puede calcular si el número de días de campaña es de 365 (incluidos los días entre campañas = días en los que se detienen las agrupaciones).**

La temperatura de bulbo seco del aire ambiente y la radiación absorbida por el cultivo se calculan hora a hora a partir de los datos meteorológicos cargados (valores medios mensuales). Se supone que la temperatura del rocío del aire, el factor de turbidez y la velocidad del viento son constantes durante el día. Cada década (período de 10 días) de un mes el porcentaje de nubosidad mensual se concentra en días 100% nublados (donde la luz a cada hora se toma igual al 20% de la de los días 100% soleados), más un día parcialmente nublado y los días restantes son 100% soleados (sin corrección por temperatura del aire ambiente basada en la insolación). Esta distribución de la nubosidad no es arbitraria ya que generalmente se observa que los períodos de buen tiempo se alternan con períodos nublados, de pocos días cada uno, pero adolece de muy pocos días parcialmente nublados; por tanto, tiende a dar un resultado menos favorable que en la realidad, lo que constituye un factor de seguridad. Debemos añadir que siempre es posible realizar cálculos modificando los datos climáticos (temperaturas y % de nubes sobre todo) y así obtener valores diarios concretos.

La distribución de la precipitación mensual sigue los mismos principios que la de la nubosidad. Un porcentaje (a elección) de la lluvia entra en las balsas al aire libre (se realiza una purga de filtrado para mantener el nivel en caso de exceso de lluvia) También purgamos para mantener la alcalinidad y, si es posible, la salinidad por debajo del set máximo. Se añaden las sales deseadas y opcionalmente agua para mantener la calidad del medio de cultivo.

También se añade agua para compensar la evaporación y mantener el nivel entre el nivel normal (= inicial) y un mínimo fijado en 1 cm por debajo del nivel normal.

También puede realizar una purga para mantener la calidad del medio, incluso si no hay necesidad de purgar por otras razones: esta es la "purga mínima" (variable 185), que se puede establecer en 0 si hay suficiente purificación (párrafo siguiente).

Independientemente de la purga, está previsto poder enviar el filtrado a un sistema de **depuración** que elimine la materia orgánica y pueda modificar el pH. Un volumen igual

se recicla simultáneamente con la cuenca; se acepta que este reciclado no cambia ni la basicidad ni la salinidad "fija" (sales no carbonatadas) del medio, ni el nivel de líquido en la cubeta, ni la temperatura. El pH del reciclado se fija libremente, pero generalmente cercano a 10.

Si se configura un pH < 8, automáticamente se utilizará el valor correspondiente al equilibrio con el aire exterior, salvo que si se configura a 0 el pH será el del cultivo.

Se utiliza una opción (variable nº 165) para decidir si las purgas, la reposición de agua, el suministro de carbón (CO2 puro, azúcar, bicarbonato de sodio) y el reciclaje son posibles o no en **los días de parada semanales**; si es posible en estos días, se filtra el volumen de medio a purgar o depurar, y se supone que la biomasa recuperada se devuelve a la balsa. Si se decide que no son posibles, esto permite simular una ausencia por licencia, por ejemplo, y establecer parámetros (en particular, sombreado) para que el cultivo sobreviva durante este tiempo.

El cultivo se puede sombrear y/o calentar y/o aislar térmicamente. Despreciamos en todos los casos las pérdidas térmicas por los lados y el fondo de las balsas. Por otro lado, las pérdidas nocturnas hacia arriba se rigen por la variable 123 (opción "aislado"): de noche el cultivo puede así estar completamente aislado hacia arriba (tanto térmicamente como del ambiente, con la calefacción apagada: opción aislado = 1) o parcialmente aislado (solo se pueden suprimir o reducir los intercambios convectivos y radiativos hacia arriba, manteniendo la ventilación y la calefacción: opción aislada = 2). En caso de aislamiento completo (aislado = 1), se mantiene una aireación mínima para evitar la anoxia del cultivo (la respiración se puede reducir al 20% de lo normal, gracias a la variable N° 178) pero se desprecia desde el punto de vista del efecto térmico y evaporación. La opción de aislamiento 2 está reservada para estanques de invernadero. Las opciones de aislamiento 1 y 2 solo son efectivas si la iluminación natural de la piscina está por debajo de un umbral predeterminado (variable 175), una variable muy sensible. Hay otra opción de aislamiento (aislamiento = 3), que requiere lámparas, que permanece en su lugar día y noche. La variable 109 (denominada "coeficiente de aislamiento térmico") representa el coeficiente total de transferencia de calor hacia arriba a través de la cubierta aislante. En la opción isol 1, el cultivo se puede almacenar en un tanque durante la noche: si la superficie de la tapa de este tanque es x veces menor que la superficie del recipiente, se debe asignar a la variable 109 el valor del coeficiente de aislamiento calor dividido por X.

Las múltiples opciones de acristalamiento del invernadero, aislamiento térmico y sombreado son compatibles.

El invernadero de vidrio simple (opción de invernadero = 0) tiene una sola película de polietileno. La opción de invernadero = 1 tiene un techo con doble película de polietileno transparente a los infrarrojos (pero no a los rayos UV). El invernadero de la opción 2 tiene un techo de policarbonato alveolar de doble pared y la opción 3 tiene un techo de policarbonato alveolar de triple pared. Estos techos de policarbonato tienen un lado anti UV colocado en la parte superior.

Se proporcionan dos tipos de sombreado diurno y son acumulativos; se expresan en %; el llamado sombreado "automático", ajustable, se instala automáticamente si las condiciones de temperatura y luz lo requieren; la llamada sombra "fija" es permanente día y noche y puede instalarse en el exterior o en el interior del invernadero. La sombra interior permite calentar mejor el invernadero. Se puede instalar un escudo térmico (o "sombreado nocturno") durante la noche para reducir el enfriamiento nocturno; se combina con cualquier sombreado fijo, pero no tiene efecto con el aislamiento térmico (variable 174). NOTA: el sombreado automático se instala en el exterior del invernadero para no entorpecer la refrigeración deseada, lo que complica su instalación.

Nota: Cuando se "acumulan" dos tonos A y B, esto significa que la luz que penetra en el cultivo se multiplica por $(1 - \text{tono A}/100) \times (1 - \text{tono B}/100)$.

La aireación del invernadero incluye un elemento fijo para evacuar el oxígeno producido ($< 35 \text{ Nm}^3/\text{hr}/\text{m}^2$) y un elemento "automático" modulable mediante un coeficiente a elegir e implementar automáticamente en función de la temperatura del lavabo. .

El aporte de CO₂ por combustión de combustible (que generalmente representa solo una pequeña fracción de las necesidades de calefacción) está desacoplado del calentamiento de las balsas, lo que permite una mejor regulación y sobre todo una mejor calidad de los gases de combustión. Requiere un invernadero. Sin embargo, el suministro de CO₂ puro a partir de una reserva líquida de calidad alimentaria sigue siendo la solución preferida si es posible.

El **eventual calentamiento de las cubetas** se realiza por circulación de agua caliente en tubos bajo el fondo de la cubeta. La fuente de calor puede ser la combustión de combustible en una caldera o, preferentemente, a través de un generador (= cogeneración, recuperación de calor no transformado en electricidad). La combustión se realiza con aire exterior, con un 10% de exceso. La calefacción se realiza de día y de noche excepto que se corta automáticamente por la noche en la opción de aislamiento = 1. Se debe definir un caudal máximo de combustible mediante la variable 135 (conocida como "Opción") que se debe elegir con cuidado, ni demasiado alto ni demasiado baja porque influye significativamente en el **consumo de combustible se le da el valor 1 a esta variable 135 estamos en "opción bomba de calor real"]**. Cabe señalar que la producción de electricidad solo se realiza si se necesita calor (cogeneración), pero se supone que esta producción de electricidad se recupera por completo. Podemos especificar que la producción de electricidad es nula, en cuyo caso todo el calor, dentro de la eficiencia, se destinará a la calefacción.

El calentamiento también se puede realizar mediante bomba de calor (PAC), de ahí el nombre de la aplicación (la F es la versión francesa). El coeficiente de rendimiento (COP) de la bomba de calor se toma como una cuarta parte del valor teórico, es decir, $(273 + \text{temperatura de la piscina}) / (\text{diferencia de temperatura entre la piscina y el aire exterior}) / 4$. La tabla de resultados proporciona el COP medio de cada día en que la bomba de calor está en funcionamiento, así como el consumo eléctrico diario y la potencia máxima de la bomba de calor. Para obtener la calefacción con bomba de calor, asigne a la variable 135 el valor 1 (para el cálculo normal) o 0 (para el cálculo mes a mes) y establezca una temperatura de consigna de calefacción con bomba de calor con la variable 177 distinta de 0.

No está prevista la mezcla de modos de calefacción (combustible y bomba de calor).

Por otro lado, es posible simular el **calentamiento por calor procedente**, por ejemplo, de la digestión anaerobia. En este caso, se utiliza una "bomba de calor virtual", que es más fácil de calcular que la calefacción por combustible: para ello, se debe asignar el valor 0 a la variable 135 y los kWh consumidos por la bomba de calor (virtual) son obviamente gratuitos. . Con el valor 1 para la variable 135, el cálculo del precio de costo se hace con electricidad HP a precio normal; en este caso, ignore los números en el cuadro con fondo blanco en la parte inferior izquierda de la pantalla.

Atención: para temperaturas de la piscina $> 37,4^\circ\text{C}$, el caudal de aireación puede aumentar bruscamente (ver reglas en la página 160) para evitar un sobrecalentamiento peligroso. Para contrarrestar parcialmente este efecto, se puede reducir el coeficiente de regulación de aireación (variable 107).

Procedimiento a seguir para calcular un acoplamiento de metanización de espirulina mes a mes (a partir del momento en que la legislación preveía una bonificación en función del calor del subproducto recuperado)

Dato: calor de subproducción a consumir por m^2 de piscina / mes. _____

Objetivo: consumir la mayor cantidad posible de este calor para maximizar la prima (según la legislación, etc.) mientras se produce espirulina de manera útil.

Jugamos principalmente con la temperatura de consigna de las piscinas, el caudal de aireación y el caudal de CO₂ con el objetivo de maximizar la producción y acercarnos lo más posible al calor a consumir. También puede ajustar otros parámetros importantes, como la capacidad de recolección y la iluminación auxiliar. Luego hacemos un cálculo para todo el año con la misma configuración (en particular el capacidad de cosecha) dando aproximadamente la misma producción y el mismo consumo de calor: este cálculo permite obtener los costos fijos y un precio de costo anual correspondiente a la configuración elegida, luego recalculamos un precio de costo anual "más real" sobre la base del total consumo y producción mes a mes.

NB La pantalla de resultados incluye una ventana (abajo a la izquierda, sobre un fondo blanco) que muestra los principales valores útiles para estos cálculos de acoplamiento (pero esta ventana se ha mantenido para los cálculos ordinarios porque puede resultar útil).

La iluminación artificial de los estanques de los invernaderos es posible entre las 4 a. m. y las 9 p. m. cuando la luz natural (medida bajo una posible sombra) es inferior a la salida de luz de las lámparas (estas se encienden parcial o totalmente automáticamente para mantener el nivel de iluminancia en el valor correspondiente). a lámparas completamente encendidas). En la opción aislamiento = 1, cuando el cultivo está aislado no se pueden utilizar las lámparas. Se supone que el consumo medio de energía de las lámparas es de 13 mW/lumen (es decir, 13 W/m²/klux, que corresponde a un promedio entre los tubos fluorescentes (17) y las lámparas hortícolas de vapor de sodio de alta presión de uso moderado (10); cuando son nuevos, estos pueden caer a 6,5 mW/lu.

Sin duda, el futuro pertenece a los LED: pero en 2014, las bombillas LED de uso doméstico (para corriente alterna de 220 V) todavía consumían 16,4 mW/lu durante toda su vida, lo que corresponde a aproximadamente 15 años de funcionamiento en Bretaña, por ejemplo, en caso de acoplamiento con digestión anaeróbica.

En la opción de aislamiento térmico día y noche, las lámparas se encienden de 4 a 21 horas. La parte del calor cedido por las lámparas admitidas en el invernadero para contribuir a la calefacción es regulable entre un 32 y un 75% aproximadamente (en las opciones de aislamiento térmico 2 y 3 las lámparas se encuentran bajo el aislamiento).

En el caso de las piscinas al aire libre, obviamente no todas estas opciones están disponibles; Sombreado fijo y pantalla térmica por la noche son posibles, pero las piscinas no pueden calentarse por combustión de combustible (pueden ser por bomba de calor).

La **tasa de fotosíntesis** puede variar según las cepas utilizadas o las circunstancias (mortalidad, depredadores); por lo tanto es ajustable por medio de un coeficiente.

El programa de cálculo no tiene en cuenta la desaparición de la espirulina por mortalidad o por depredadores (se acepta para estos dos casos que haya reciclaje de carbono dentro del cultivo).

Para **tener en cuenta la producción de exopolisacáridos no incluidos en la cosecha**, que puede variar según cepas o condiciones, y para tener en cuenta también las posibles variaciones en la composición de la espirulina en función de las cepas, el consumo de CO₂ por kg de espirulina no se considera fijo sino como una variable ajustable.

También debemos establecer **el rendimiento de la cosecha** que tenga en cuenta la pérdida de espirulina en los lodos, y entre la filtración y el almacenamiento del producto terminado.

El programa ignora : _____

- la influencia de la velocidad de circulación del aire interno en la evaporación,
- el efecto de sombra debido a los bordes de la cuenca por el sol no vertical, -
- las variaciones en el contenido de oxígeno en la atmósfera interna del invernadero, -
- cualquier acidificación o alcalinización de el ambiente bajo el efecto de nutrientes (nitratos y urea), - cualquier dureza del agua de reposición.

Se tienen en cuenta la salinidad, la alcalinidad y el pH del agua de reposición, lo que permite el uso de agua salobre y/o alcalina. **Se supone que el agua proporciona el calcio necesario _____**

El suministro de carbono, controlado por la regulación del pH, puede realizarse bien mediante la adición directa al medio de cultivo de bicarbonato sódico o azúcar o gas CO2 puro, bien mediante el enriquecimiento del aire del invernadero con CO2 mediante compost gas o bien mediante la combustión limpia de combustible directamente. en el invernadero; un balance de materia sobre el CO2 entre el aire que entra en el invernadero y su salida permite calcular el contenido de CO2 de este aire (supuesto homogéneo). El cálculo tiene en cuenta el CO2 aportado por la urea (a razón de 300 g/kg de espirulina, envase no modular, es decir, 220 g de CO2 o el 12 % del carbono de la espirulina producida), por el aire fresco para ventilación y mediante reciclaje. No hay nada que impida mezclar las diversas fuentes de carbono. El pH se puede regular quemando combustible en el invernadero, incluso si el invernadero no se calienta con combustible.

El riesgo de fotólisis a baja temperatura se indica durante el cálculo cuando la luz en la piscina supera un umbral en klux durante más de una hora, evaluado de la siguiente manera: Umbral = 1,2 x (máxima luz supuesta autorizada a 10°C = variable 127) x (temperatura de la piscina en °C/10) x (concentración de espirulina/0,4) x (velocidad de agitación/30)
El cálculo de este límite es bastante arbitrario y sirve sobre todo para llamar la atención sobre el riesgo de fotólisis. Este riesgo depende de la cepa cultivada (por ejemplo para la cepa "Paracas" podemos tomar 30 para la variable 127 contra 45 para la "Lonar" en invernadero pero 20 y 30 respectivamente al aire libre por la mayor dosis de UV).

Resumen de las normas de limitación térmica adoptadas en los invernaderos : _____

Noche (salvo aislamiento 1) y día :

(tblim = temperatura máxima permitida para la piscina)

<u>Aireación</u>	
	Si piscina < 37°C, caudal normal
	Entre 37°C y tblim-2,5°C: caudal normal + 10 veces el coeficiente ventilación automática
coeficiente	Entre tblim-2,5 y tblim-2°C: caudal normal + 15 veces el
	Entre tblim-2 y tblim-1.5: caudal normal + 20 veces el coeficiente
	Entre tblim-1.5 y tblim-1: caudal normal + 25 veces el coeficiente
	Entre tblim-1 y tblim-0,75: caudal normal + 30 veces el coeficiente
coeficiente	Entre tblim-0,75 y tblim-0,5: caudal normal +35 veces el

Si la temperatura de la piscina se acerca menos de 0,5°C al límite autorizado:
caudal normal + 40 veces el coeficiente

Sombreado fijo = invariable (activo día y noche)

Noche (salvo aislamiento = 1):

Sombra nocturna (escudo térmico)

Día :

- Sombreado automático =
0 si piscina < 30°C
50% x coeficiente si piscina entre 30 y 35°C 75%
x coeficiente si piscina por encima de 35°C

Resumen de las normas de limitación térmica adoptadas sin invernadero :

Noche y día :

- Sombreado fijo

Noche (salvo aislamiento = 1):

- Sombra nocturna (pantalla térmica)

Día :

- Sombra automática = 0 si
piscina < 30°C 50%
x coeficiente si piscina entre 30 y 35°C 75% x
coeficiente si > 35°C

nótese bien

Para una piscina sin ningún dispositivo de protección solar, las variables n° 106, 143 y 144 deben configurarse con un valor nulo.

Absorción de CO2 atmosférico

La tasa de absorción es proporcional al coeficiente de absorción ya la diferencia en las presiones de vapor de CO2 en el aire y en el líquido. La presión de vapor de CO2 sobre una solución de carbonato/bicarbonato de sodio se da en la literatura. Kohl y Riesenfeld (1960) dan en "Gas Purification" [Kohl AL y Riesenfeld FC (1960) "Gas Purification", McGraw-Hill Book Co. temperatura, alcalinidad y relación c (moles de CO2/mehda página en 17) una fórmula que tiene como variables el

$$pCO_2 = 68,5 \times b_{1,29} \times (2c - 1)^2 / [(1 - c) \times (333 - 1,8 \text{ xt}) \times (0,0487 - 0,0006 \text{ xt})]$$

donde b = alcalinidad del medio absorbente, gmoles de base fuerte/litro
 c = relación molar CO_2 /base correspondiente al pH del medio
 t = temperatura del medio, °C

La absorción de CO_2 , expresada en g de espirulina/día/m² (suponiendo 1,8 kg de CO_2 por kg de espirulina) es entonces igual a $0,772 \times k_a \times [0,00076 \times \text{vpm} \times (1 - \text{alt}/10000) - p\text{CO}_2]$, fórmula donde:

k_a = coeficiente de absorción,
gmoles de CO_2 absorbidos/hora/m²/atmósfera
 vpm = contenido de CO_2 en el aire, volumen ppm
 alt = altitud, metros $0,772 = (44 \times 24)/(1,8 \times 760)$

El coeficiente de absorción de CO_2 a través de la superficie de la balsa es ajustable (variable 102), pero generalmente se toma igual al valor experimental de 20 a 25 gmoles/hora/m²/atmósfera.

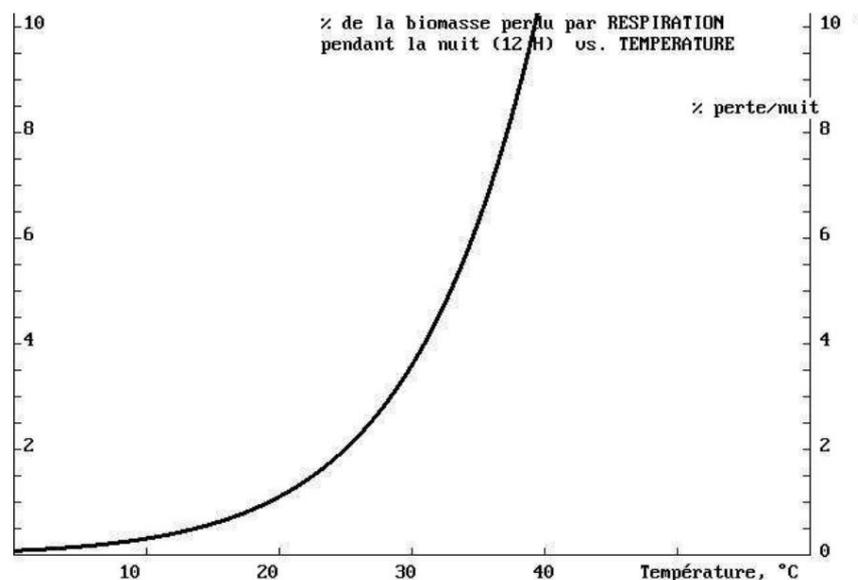
El software combina estas dos fórmulas para calcular los intercambios de CO_2 entre la atmósfera y la cuenca.

aliento de espirulina

La espirulina solo respira en ausencia de luz y en presencia de oxígeno. De día admitimos que ve la luz sólo en la capa superficial de altura igual a la "Secchi" (hemos adoptado la curva Secchi correspondiente a la cepa llamada "espiral", con medio de cultivo no turbio) y que no hay respiración en esta capa, pero debajo hay respiración; esto supone que el medio está agitado (homogéneo). La respiración se establece al 20% de su valor normal en caso de aislamiento nocturno completo (de acuerdo con varios experimentos que muestran que esto fue bien apoyado por la espirulina).

Para cuantificar la respiración normal, utilizamos los resultados de JFCornet [Cornet JF (1992) "Estudio cinético y energético de un fotobiorreactor" Tesis doctoral, Universidad de Paris-Sud Centre d'Orsay, 27/02/1992, p. 115] para la variación con la temperatura, pero para el valor base a 20°C tomamos un promedio entre las indicaciones de Cornet y las de L. Tomaselli et al. [Tomaselli L., Giovanetti L., Pushparaj B. y Torzillo G. (1987) "Biotecnologie per la produzione di spirulina", IPRA, Monografía 17 (página 21)].

Por supuesto, esto es una aproximación, ya que la respiración también depende del contenido de carbohidratos en la espirulina. Estas hipótesis sirven de base para la simulación y se representan en el siguiente gráfico en función de la temperatura cuando el oxígeno no es un factor limitante:



NB Es posible modificar esta curva para ajustarla, si es necesario, a la realidad, gracias al parámetro denominado coeficiente de ajuste de la función respiratoria = variable nº 105 (ver lista de variables). También es posible modificar la importancia de la respiración aplicándole un factor de reducción (variable nº 178) a elegir entre 0 y 1 en función del contenido de oxígeno del cultivo.

Crecimiento por fotosíntesis

Concentraciones de biomasa superiores a 0,1 g/l (caso general)

Admitimos que el crecimiento de la espirulina por fotosíntesis es producto de un coeficiente de ajuste y 5 factores supuestamente independientes detallados en el Anexo 2:

- factor en función de la salinidad
- factor en función de la temperatura -
- factor en función del pH - factor en
- función de la iluminación - factor en
- función del grado de agitación del medio de cultivo

Este postulado, que está en el corazón del programa, no está científicamente fundamentado. La comparación de las figuras 4 y 19 de la tesis de Zarrouk autoriza a admitir que la función de la temperatura es independiente de la iluminación; Las medidas de productividad de nuestras cuencas muestran que la influencia del pH, la temperatura y la luz están bastante de acuerdo con las hipótesis contenidas en este postulado.

Además, este postulado implica que la velocidad de la fotosíntesis no depende de la altura del líquido, ni de la concentración de espirulina, ni de la concentración de nutrientes minerales (diferentes al bicarbonato de sodio), por lo que la fotosíntesis es proporcional a la superficie iluminada. En otras palabras, hacemos los supuestos, en gran parte verificados en la práctica a las concentraciones consideradas, que el crecimiento está en la fase lineal, no limitada por los nutrientes minerales, con la absorción total de la luz que ingresa a la cuenca. Tenga en cuenta que la cantidad de espirulina por m² (altura del líquido x concentración) influye en la productividad a través de la respiración (ver § anterior).

También admitimos que el crecimiento de la espirulina es únicamente autotrófico. si un

Si se produce un crecimiento mixotrófico, o incluso posiblemente heterótrofo, será fuertemente competido por los organismos heterótrofos que cohabitan con la espirulina en el medio (bacterias, zooplancton). El error cometido sobre el crecimiento en cualquier caso sólo puede ser por defecto. Admitimos pues que en caso de aporte de carbono por parte del azúcar, éste se oxida a CO₂ por cualquier mecanismo (fermentación).

La fotoinhibición es un fenómeno muy complejo de fotosíntesis reducida bajo el efecto de demasiada luz, agravado por una temperatura demasiado baja. El software trata de tener en cuenta este fenómeno de la siguiente manera: si la temperatura de la piscina t_b está por debajo de un umbral t_s (variable nº 179) y si la luz supera los 20 klux en la piscina una fórmula muy aproximada calcula un coeficiente de reducción de la fotosíntesis igual a: $0,035 \times (\text{klux}-20) \times (1 + t_b/t_s)/2$.

Existe otra forma de fotoinhibición cuando la temperatura se acerca al máximo permitido: no se tiene en cuenta en el software (más bien se recomienda mantener la temperatura bastante alejada del máximo permitido).

Para concentraciones de biomasa inferiores a 0,1 g/l, se supone que el crecimiento es exponencial, lo que el modelo traduce multiplicando la velocidad calculada previamente por diez veces la concentración (en g/l).

Nota sobre la distribución espectral de la energía luminosa utilizada y la eficiencia de las lámparas :

La espirulina puede utilizar un espectro muy amplio gracias a su riqueza en varios pigmentos fotosintéticos, se desprecian las diferencias de distribución espectral entre las luces solares en diferentes ángulos, latitudes, altitudes, factor de turbidez, a través de acristalamientos de invernadero, etc. y las luces artificiales. Se supone que los "klux" (de luz visible, medida con un luxómetro) tienen la siguiente equivalencia con la potencia total disipada:

10 Watt/m²/klux para el sol

13 Watt/m²/klux para lámparas modernas (tipo yoduro o sodio).

Se incluirá el uso de LED, pero esta tecnología aún es demasiado reciente y avanza demasiado rápido para ser estudiada ahora (2017) aquí.

Datos climáticos (temperaturas y radiación solar)

Se supone que la temperatura ambiente varía linealmente entre su mínima al amanecer y su máxima a las 14 h (hora solar)

La radiación solar absorbida por el cultivo se calcula como se hace en el colector solar con o sin acristalamiento, a partir de las clásicas ecuaciones astronómicas y térmicas recordadas por ejemplo en [Chouard, Michel y Simon](#) [Chouard Ph., Mich and Simon MF (1977) "Balance térmico de una casa solar", EDF]. La irradiancia horizontal global sobre el suelo calculada por el programa sumando uh hora durante la duración de la campaña de operación (aquí el mes considerado), de un coeficiente de perturbación mensual estimado, se indica en los resultados: esto permite ajustarlo por aproximaciones sucesivas hasta obtener la irradiación horizontal global en el suelo dada por las estadísticas del sitio considerado [ver [App](#)

Esta es nuestra forma de calcular este coeficiente de turbidez (definido en o Chouard, Michel and Simon, página 8 donde se denomina "B"). Tres decimales son suficientes, pero este cálculo sigue siendo un importante trabajo preliminar requerido para el sitio estudiado.

Equilibrio térmico

La temperatura del cultivo se calcula por balance de calor entre los aportes de calor (incluida la radiación solar y el calor de combustión) y las diversas pérdidas de calor (despreciamos las pérdidas hacia el suelo y los lados del reactor, pero tenemos en cuenta un " " valor de agua equivalente" del fondo y los lados añadiéndolo a la altura del líquido).

Se supone que el cultivo y el aire interior del invernadero son homogéneos en temperatura y a la misma temperatura, y que la inercia térmica del aire es despreciable, pero se tiene en cuenta la capacidad calorífica del flujo de aire que lo atraviesa. el invernadero que extrae calor por calor sensible y por saturación de agua. Se supone que las adiciones (agua, nutrientes) se realizan a la temperatura del cultivo. Obviamente tenemos en cuenta las ganancias de calor por calefacción y lámparas.

Se supone que el sombreado reduce la radiación solar incidente y las pérdidas térmicas por radiación en el mismo porcentaje, sin afectar los intercambios térmicos por convección.

También tenemos en cuenta la energía solar consumida por la fotosíntesis tomando como valor calorífico de la espirulina 20,9 kJ/g [Cornet JF (1992) "Estudio cinético y energético de un fotobiorreactor" Tesis doctoral, Universidad de París -Centro Sur de Orsay, 02 /27/1992, página 263)]. Las pérdidas térmicas por convección hacia la atmósfera y por radiación hacia el cielo se calculan como para un colector solar según las ecuaciones clásicas, por ejemplo las recordadas por R. Gilles (1976) [Gilles R. (1976), Promoclim A, N ° especial "Piscinas al aire libre" (página 269), SEDIT, París] y Chouard, Michel y Simon (1977) [Chouard Ph., Michel H. y Simon MF (1977) "Balance térmico de una casa solar"].

La influencia de cualquier inclinación se desprecia como justifica PI Cooper [Cooper PI (1981) "The effect of inclination on the heat loss from flat plate solar collectors", Solar Energy, vol. 27, N° 5, páginas 413-420].

Consumo/producción de electricidad

Para el cálculo del consumo eléctrico por agitación (o bombeo en caso de cultivo en plano inclinado), se ha adoptado una ecuación muy sencilla y más o menos arbitraria. El consumo de una posible bomba de calor se trata en el § calefacción.

Si se utiliza combustible (excepto en el caso de acoplamiento con digestión anaeróbica en la granja), la electricidad puede ser producida opcionalmente por un generador; el exceso de electricidad suele estar disponible para la venta o para otros usos. Hay turbinas de gas miniaturizadas, pero en cambio recurrimos a motores para pequeñas capacidades. Tenga cuidado con las impurezas en los gases de escape. Un simple quemador puede dar gases más puros que un motor. El generador podría ser, con suerte, en un futuro próximo, una pila de combustible limpia.

Se ha despreciado la potencia eléctrica para la ventilación (admitida ventilación natural suficiente), pero obviamente se tiene en cuenta la consumida por cualquier lámpara, que es muy elevada, así como la de agitación.

Se supone que la electricidad se compra y se vende al mismo precio, con conexión a una red, no necesariamente en fase las necesidades y la producción de electricidad (sobre todo si se utilizan lámparas o bomba de calor).

Cálculo del precio de costo

El modelo incluye un componente económico, lo que permite calcular un precio de costo, teniendo en cuenta un sistema de costos proporcionado por el usuario.

El cálculo del precio de coste se basa en el consumo específico correspondiente a las siguientes fórmulas:

- fórmula de medio de cultivo sin nitrato que contiene, además de sal y carbonato y/o bicarbonato de sodio, por litro de medio: 1 g de K₂SO₄ + 0,02 g de urea + 0,08 g de NH₄H₂PO₄ + 0,16 g de sulfato de Mg + 0,001 g de Hierro

- fórmula alimenticia que comprende, en g/kg de espirulina: 300 g de urea + 50 NH₄H₂PO₄ + 40 K₂SO₄ + 30 Mg sulfato + 0,5 Hierro - coste de hierro (y oligoelementos) despreciable.

El semen se contabiliza al precio fijo de 10 € por kilo contado seco.

Una opción permite eliminar el medio de cultivo del cálculo (en el caso de que se disponga de reciclaje o depuración efectiva, por ejemplo). En este caso, elija una concentración inicial de espirulina igual a la concentración después de la cosecha.

El cálculo cobra los costes fijos en proporción a los días de uso (número de días de funcionamiento + días "intercampaña"). Si la instalación no funciona todo el año, hay que tenerlo en cuenta correctamente, por ejemplo incluyendo la parada anual en los días "entrecampañas", en caso contrario no se hará el cómputo: sólo se hace por un periodo 365 campaña del día.

En la evaluación automática de costes fijos (= mano de obra + amortización + mantenimiento = 25% / inversión sin impuestos) el modelo utiliza los siguientes valores en €/m²/año:

caso base (lavabo y agitación): 20 con invernadero PE pared simple, 16 sin invernadero
suplemento PE pared doble: 1 suplemento PC pared doble: 2 suplemento PC pared triple: 3 suplemento sombreado fijo: 2 suplemento para sombreado modular : 2
suplemento para pantalla térmica nocturna : 2 suplemento para aislamiento nocturno = 4 suplemento para cosecha = si se especifica capacidad de cosecha < 20 = 0,5 x (capacidad de cosecha, g/d/m²) / (concentración poscosecha, g/ litro); de lo contrario, se asume el uso de recolectores automáticos Rampelt = 0,05 x (capacidad de recolección, g/d/m²)/(concentración poscosecha, g/litro) y la capacidad de recolección se muestra como 21 suplemento automático para depuración y reciclado = (capacidad de recolección, g/d/m²) suplemento bomba de calor = 4 + 11 x potencia máxima bomba de calor en kWe suplemento lámparas = 2 por klux suplemento generador = 6

Se desprecia la inversión para la combustión de combustible simple.

Si admitimos que la mano de obra se concentra en la estación de recolección (manual) y representa 2/3 de la misma, la inversión estándar (balsas, agitación, invernadero de doble pared, aislamiento nocturno, recolección, depuración y reciclaje) correspondiente a estas hipótesis sería ser de aproximadamente 240 €/m² para una productividad de biomasa fresca cercana a 1 a 3 kg/año/m² (expresada en materia seca), en Francia.

Tenga en cuenta que el **secado no está incluido aquí** : el modelo solo se aplica a la producción de biomasa fresca (pero expresada en materia seca). Para estimar el costo del producto terminado seco, especificamos costos de secado, envasado y análisis distintos de cero (variables N° 119 y 120), expresados en €/kg seco.

Los costes comerciales y los impuestos tampoco están incluidos en el precio de coste así calculado.

El modelo también propone un cálculo de utilidad (antes de impuestos) basado en un precio de venta de producto seco que se supone que varía linealmente según el nivel de ventas alcanzado. Podemos admitir que representa la remuneración del cultivador de espirulina más cualquier costo comercial.

Todos los precios enumerados en esta sección no incluyen impuestos.

¡Tenga en cuenta que los "precios de costo" en cuestión aquí son solo ejemplos de orientación para casos escolares, no estimaciones para un proyecto real! En la práctica, todavía se usa, pero los precios son generalmente más bajos que los de los cultivadores artesanales de espirulina, en particular debido a que aquí no se tienen en cuenta las "incertidumbres" del cultivo, ni los costos de comercialización.

Presentación de los resultados

Durante el cálculo aparece un gráfico en la pantalla, dando la cosecha diaria y varios otros resultados dependiendo del día. Este gráfico se puede copiar e imprimir a través de la captura de pantalla y el portapapeles.

Los resultados completos se publican al final del cálculo, al mismo tiempo que los datos correspondientes, y se pueden imprimir (se copian y referencian automáticamente en el archivo: C:/perso/SPIRPAC-F.txt).

Cabe señalar que la productividad que aparece en los resultados **tiene en cuenta el rendimiento estimado** (pérdidas durante la cosecha y secado) y se expresa en materia seca.

Influencia de la temperatura, la luz, la alcalinidad, la salinidad y el pH en la fotosíntesis de la espirulina

Podemos suponer que la tasa máxima de fotosíntesis, en un estanque bien agitado, y en las mejores condiciones de temperatura, luz, alcalinidad, salinidad y pH, es cercana a 1,8 g/hora/m² de estanque.

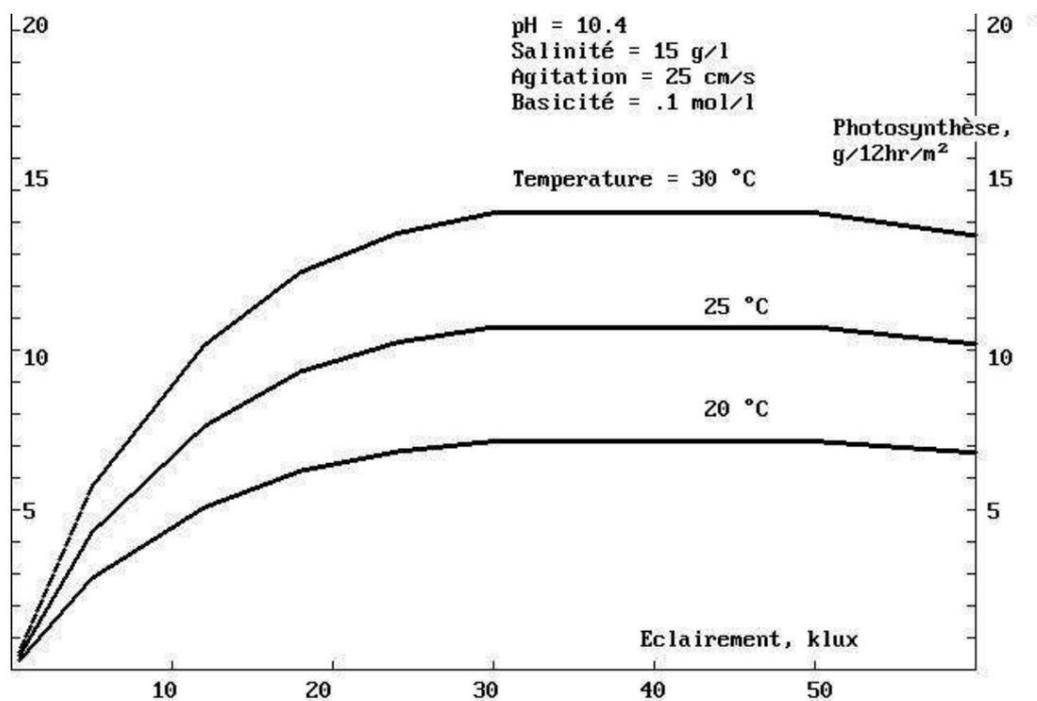
Esta velocidad también puede variar según la cepa de espirulina y la presencia de catalizadores.

En los programas de simulación se asume que la función de fotosíntesis es directamente proporcional a las funciones de temperatura, luz, salinidad, pH y grado de agitación:

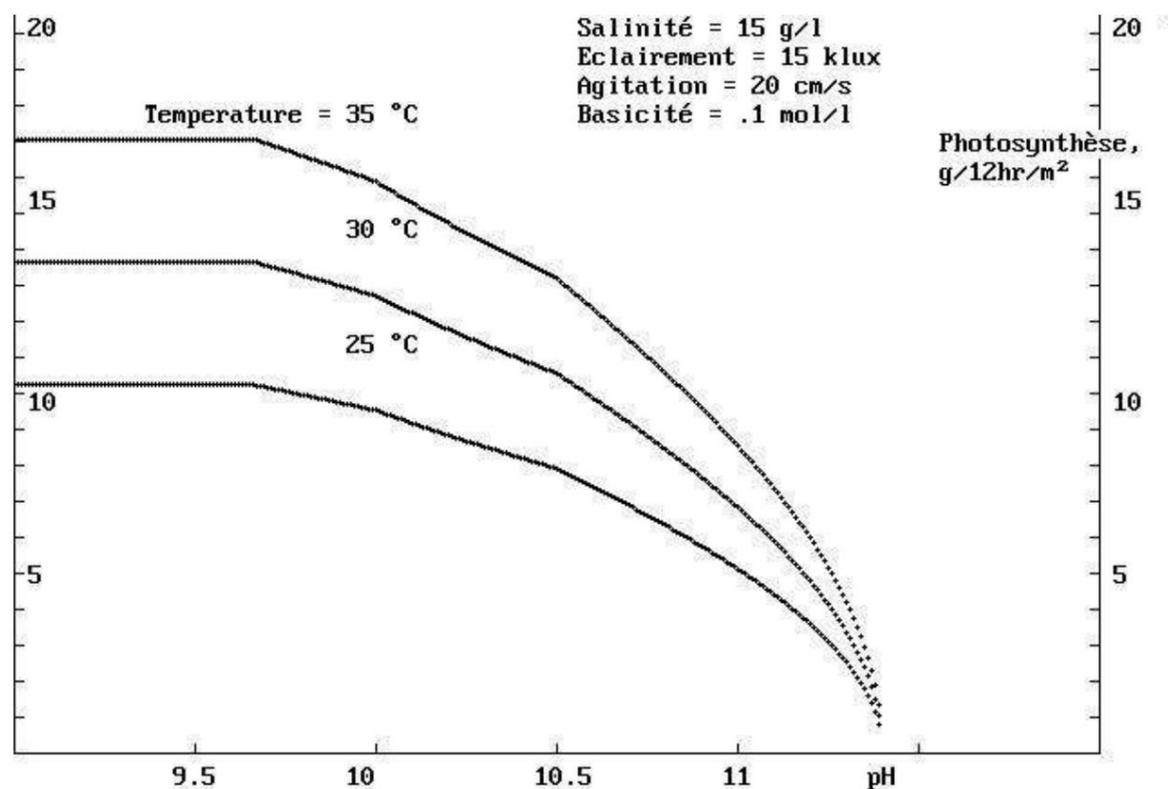
Tasa de fotosíntesis = $k \cdot f(T) \cdot f(\text{klux}) \cdot f(\text{salinidad}) \cdot f(\text{pH}) \cdot f(\text{agitación})$

Esta suposición no tiene una base científica real, pero facilita los cálculos y no da tan malos resultados.

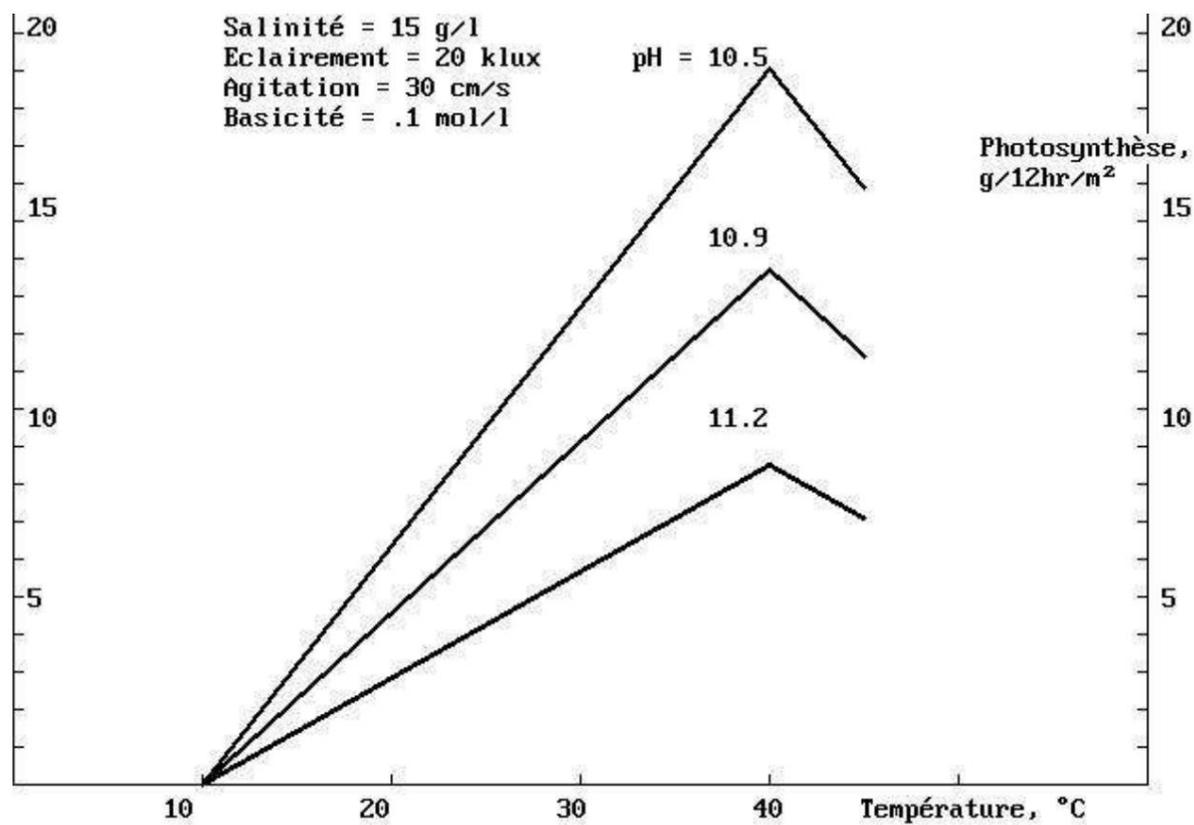
Aquí hay algunos ejemplos de estas funciones, que están en gran parte inspiradas en la tesis de Zarrouk (también teniendo en cuenta los resultados experimentales):



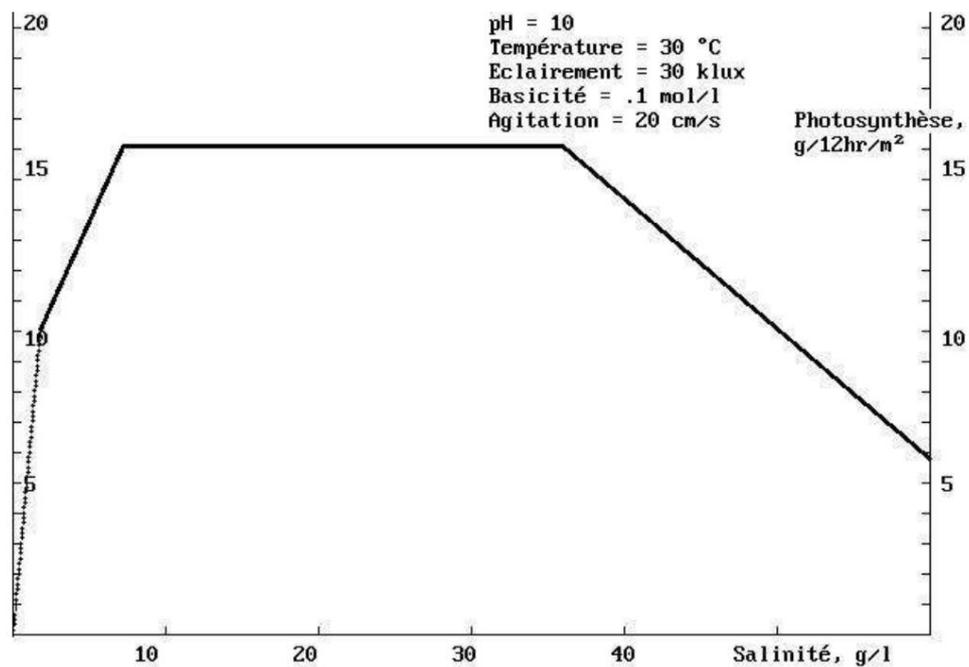
Tasa de fotosíntesis de la espirulina en función de la iluminación según la tesis de Zarrouk, Fig. 3 [Zarrouk C. "Contribución al estudio de una cianofícea: influencia de diversos factores físicos y químicos en el crecimiento y la fotosíntesis de *Spirulina maxima* (Setch y Gardner) Geitler", tesis doctoral, Facultad de Ciencias de la Universidad de París, 06/ 12/1966]



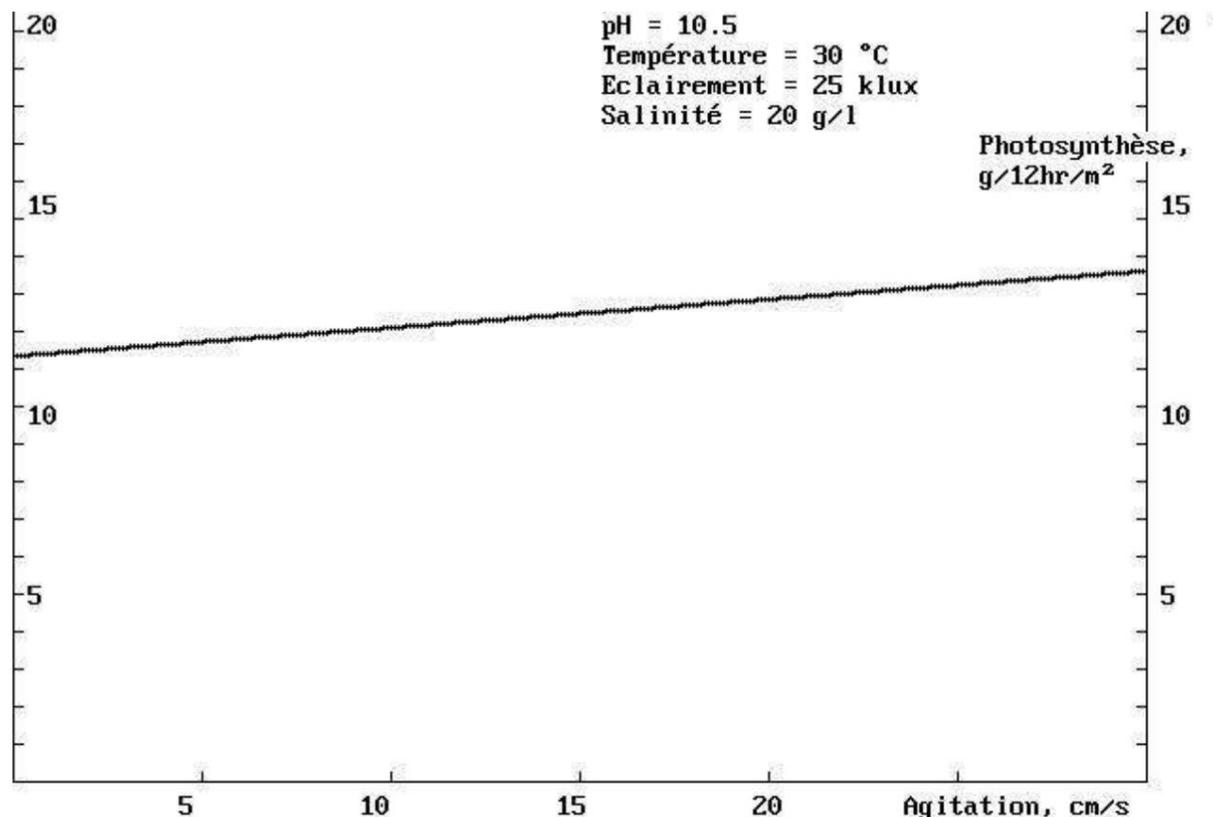
Tasa de fotosíntesis de la espirulina en función del pH según la tesis de Zarrouk, Fig. 20



Velocidad de fotosíntesis de la espirulina en función de la temperatura del cultivo según la tesis de Zarrouk, Fig 19.



Velocidad de fotosíntesis de la espirulina según la salinidad del medio según la tesis de Zarrouk, Tabla IV



Velocidad de la fotosíntesis en función de la agitación (función más o menos imaginaria, en la que también interviene el pH, válida para sistemas habituales de agitación hasta la en 30 cm/s ; clara evidencia es posible que la fotosíntesis, perfeccionada se posea experimentado: más allá de 30 cm/s se proporciona la función para tener en cuenta este efecto, pero sin ninguna base experimental cuantificada)

ANEXO 3: datos climáticos (solar)

1. Los datos globales de irradiación terrestre horizontal (promedios mensuales) se pueden obtener de forma gratuita para toda **Europa** aquí : <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> generalmente con la altitud y la longitud del sitio en cuestión.

NB para la región PACA en Francia, los mismos datos están disponibles en otro formato (con mapas muy detallados) aquí: <http://www.atlas-solaire.fr/atlas-solaire-paca>

2. De manera similar para **África** y Asia :

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
= África

NB

- a) La reproducción de estos datos es libre siempre que se mencione su origen.
- b) Al utilizar estos datos, para obtener las cifras del sitio, en principio es necesario apuntar el cursor en el medio del punto que representa el sitio o sitio de la finca (no sobre su nombre), por lo tanto, es necesario espere pequeñas variaciones dependiendo de la precisión de puntería.

ANEXO 4: Consejos prácticos para optimizar

con Spirpac-f

- a) Establezca la variable 131 (Número de días consecutivos...) en 365
- b) Establezca la variable 132 (Número de días entre campañas) en aproximadamente 80, lo que dará el número de días de mercado efectivos = 365 – variable 132
- c) Por ensayo y error hallar el mes inicial dando el resultado óptimo

ANEXO 5: Precauciones sobre la vitamina K

Extracto del libro del Dr. Vidalo (2016): en la página 54 se ha añadido una nota referente a la página 130 en la que se explica que la espirulina esencialmente solo contendría vitamina K2 que no interfiere en el proceso de coagulación. Claramente, no se debe tomar ninguna precaución... Por lo tanto, se necesita más investigación sobre este tema. Mientras tanto, ignore la página 173 de este Manual.

52

En effet, la vitamine D pénètre dans l'organisme par deux sources : l'une dite « exogène », c'est celle qui est apportée par l'alimentation, essentiellement les corps gras, et singulièrement les graisses de poisson, l'autre dite « endogène » provient de la synthèse de cette vitamine D par la peau exposée aux rayons du soleil. La vitamine D régularise le taux de calcium sanguin, améliore son absorption et minimise son élimination.

Elle favorise la synthèse de l'insuline, protège la peau et certaines parties du cerveau et elle agit sur certains tumeurs malignes.

Outre le rachitisme, sa carence engendre des retards mentaux chez l'enfant, des déformations osseuses, des retards de croissance et des fractures spontanées.

La source végétale la plus importante de vitamine D est la spiruline.

La vitamine E ou tocoférol

est la vitamine de la longévité. En 1926, Evans et Bishop découvrent une substance extraite du germe de blé et des feuilles vertes à laquelle ils donnent le nom de vitamine

E. C'est un excellent antioxydant qui encourage l'oxygénation des cellules, retarde le vieillissement, protège des maladies cardio-vasculaires et même de certains cancers. Il est important pour les femmes enceintes de n'avoir aucune carence en vitamine E.

Même si la teneur en vitamine E de la spiruline est insuffisante pour satisfaire l'apport journalier recommandé, elle en contient d'avantage que les germes de blé, souvent pris comme référence. Selon la FDA, deux cuillères à café de spiruline apportent 20 % des besoins quotidiens en vitamine E.

La vitamine K ou phylloquinone

est la vitamine antihémorragique. La vitamine K – avec un K comme *Koagulation* en danois – a été découverte par deux danois, H. Dam et Schönheyder, à l'occasion de recherches sur le métabolisme du cholestérol entreprises en 1929 sur des poulets. La vitamine K est transformée par le foie en prothrombine.

L'organisme l'utilise pour combattre les hémorragies, divers troubles hépatiques et colitiques. Un

53

Man si on prend de la Vit. K comme médicament voir son trouble pour régler la dose si on prend aussi de la Spiruline

déficit en vitamine K se traduit par des hémorragies et des retards de coagulation. Son absorption se fait par l'intestin grêle et nécessite la présence de sels biliaires.

Il y a deux sources d'apport en vitamine K :

- L'une exogène, par l'alimentation. Les 4 principales sources végétales de vitamine K sont le chou frisé, les navets, les épinards et la spiruline.
- L'autre, endogène, est donc interne. En fait notre organisme ne sait pas fabriquer la vitamine K mais il sait capter celle fabriquée par les bactéries dites « saprophytes » contenues dans l'intestin, bactéries « utiles » qui participent activement à la dégradation du bol alimentaire circulant dans la lumière intestinale. Il récupère la vitamine K ainsi produite par absorption au niveau de la muqueuse de l'intestin grêle, en fonction des besoins. C'est là un remarquable exemple de symbiose biologique, ou de « xénie ».

Heureusement, la vitamine C est présente dans quasiment tous les fruits et légumes. Et pas seulement dans les agrumes comme il est de tradition de le proposer : le sempiternel « jus d'orange » du petit-déjeuner, à condition de consommer le fruit pressé, mais aussi dans d'autres agrumes comme les pamplemousses, pomelos, clémentines etc. Le kiwi est une véritable « bombe » de vitamine C naturelle comme le sont les baies, framboises, cassis, mûres, la petite cerise acérola bien sûr. Mais aussi, l'immense majorité des fruits et légumes frais. Même la pomme de terre en contient ! Il faut bien intégrer que notre organisme a besoin d'apports en vitamine C quotidiennement, à la différence d'autres vitamines, liposolubles notamment, car il ne sait pas la stocker. Par contre les sources alimentaires sont tellement nombreuses qu'il est très aisé d'équilibrer ses apports en ayant une alimentation simplement variée.

Quant à notre petite spiruline, elle possède, elle, les coenzymes qui permettent à la vitamine C de jouer pleinement son rôle, notamment de puissant antioxydant.

La vitamine C

est le seul micronutriments essentiel à la vie et qui ne se trouve pas, ou alors en quantité négligeable, dans la spiruline.

Spiruline : composition

VITAMINES	Composition pour 10 g	% AJR*	Rôle
A (Béta-Carotène)	14 mg	1000 %	Vision, croissance, antioxydant
E	1 mg	10 %	Lutte contre le vieillissement
B1	0,35 mg	30 %	Participe à l'équilibre du système nerveux, des muscles et du cerveau
B2	0,4 mg	30 %	Lutte contre le vieillissement de la peau, rides, lésions oculaires
B3	1,4 mg	9 %	indispensable au bon fonctionnement des cellules du cerveau et du système nerveux
B5	0,01 mg	0,2 %	Accroît la résistance à la fatigue et au stress et combat le vieillissement cellulaire
B6	0,01 mg	4 %	Facilite la digestion et l'assimilation des aliments. Stimule le système immunitaire
B8	0,005 mg	0,5 %	Appétit, perte de cheveux
B9	0,01 mg	2,5 %	Nécessaire à la croissance et à la division des cellules
B12	0,032 mg	1000 %	Fatigue, circulation, croissance
I	6,4 mg	-	Action sur le système nerveux, anticancéreux
K	0,224 mg	300 à 500 %	Favorise la coagulation, lutte contre le vieillissement

MANUAL DEL USUARIO DEL SOFTWARE MEDFEED

(Edición de 1 de febrero de 2014)

1. Propósito

Facilitar los cálculos de medios de cultivo y alimentos de espirulina; a mano estos cálculos son simples pero tediosos y repetitivos. Solo se presentan una decena de casos, pero ya cubren un amplio espectro.

2. Requisitos del sistema

Escrito en lenguaje Visual Basic, este software se ejecuta en cualquier PC (Windows XP, Vista o 7...). Para poder imprimir los resultados, **se debe haber creado una carpeta C:/Medfeed.**

3. Base de cálculo

Medio, en mg/litro de medio

Ca \geq 40

magnesio \geq 20

K \geq 100

S \geq 50

P = (Ca / 2 + 0,9 x Mg) / 3 + 10

N amoniacal \leq 20

K/Na < 5 en peso

Cl \geq 607 (basado en 1 g de sal/litro mínimo)

Alimento, en g/kg de espirulina seca

NH4 \geq 160 (en general se espera un exceso del 15% sobre el mínimo)

P \geq 10 + ((Ca - 7) / 2 + 0,9 x (Mg - 3,5)) / 3

K \geq 18

S \geq 11

Ca \geq 7

Magnesio \geq 3.5

Na = 6,4

[Para los casos sin salinización nos basamos en los valores

inferior a excepción del nitrógeno]

4. Principios

Se tienen en cuenta los elementos (Ca, Mg, K, S) contenidos en el agua utilizada (incluidas el agua de cenizas, el agua de mar y el agua utilizada como medio de cultivo y para compensar la evaporación), en la sal y en N. Se supone que el Ca y Mg del agua utilizada para hacer el medio de cultivo y para compensar la evaporación están en forma de bicarbonatos.

Se supone que 1/3 de los fosfatos de Ca y Mg precipitan (sabemos que en la práctica tienen una fuerte tendencia a permanecer en solución aun cuando sus productos de solubilidad digan que deben precipitar)

Renunciamos a utilizar el nitrato como fuente de nitrógeno, incluso en el nuevo medio de cultivo; en la práctica, suele ser preferible añadir 2 g de nitrato/litro para facilitar el inicio de nuevos cultivos, excepto en los casos "sin salinización".

Intentamos mantenernos en el límite inferior permitido para el elemento.

extraño

En el caso de utilizar agua de ceniza para proporcionar alcalinidad, se supone que el agua de ceniza contiene sulfato de dipotasio y que está carbonatada a pH 10.

En el caso de utilizar bicarbonato de sodio para proporcionar alcalinidad, se puede elegir el pH inicial del medio y el agente de ajuste de pH (ceniza de sosa o hidróxido de sodio).

En el caso de uso de NPK, se supone que contiene azufre en forma de sulfato diamónico (caso habitual).

En el caso de que se deba aportar calcio adicional al que se encuentra en las materias primas, se aporta en forma de CaCl_2 anhidro o cal (a razón de 2/3 en peso respecto al cloruro cálcico).

El "sulfato de magnesio" es sal de Epsom con 7 moles de agua de cristalización. Si el ácido fosfórico disponible o alguno de los otros ácidos utilizados no está al 100% de concentración, obviamente hay que tenerlo en cuenta aumentando los valores encontrados.

5. Comentarios

Los números decimales deben escribirse con una coma

Los casos con **NPK**, agua de cenizas y/o agua de mar son más

especialmente diseñado para los países en desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

NOTA: Esta bibliografía no es exhaustiva, sino que solo enumera los artículos o trabajos que nos han sido de mayor utilidad:

Achard MA (1994) "Estudio y modelado de la transferencia de CO₂ en fotobiorreactores. Aplicación al estudio de la limitación por la fuente de carbono en *S. platensis*", Universidad DEA Blaise Pascal, Laboratorio de Ingeniería Química Biológica.

Ayala FA y Benavente RB (1982) "Un medio de cultivo barato mejorado para la microalga azul-verde *Spirulina*", *European J. Of Appl. Microbiología y Biotecnología*, 15, 198-199.

Becker EW (1995) "Microalgas, biotecnología y microbiología", Cambridge University Press.

Becker EW y Venkataraman LV (1982) "Biotecnología y explotación de algas, el enfoque indio"

Boletín del Instituto Oceanográfico de Mónaco (1993), Especial número 12: "Spirulina, algae of life".

Bucaille P. "Interés y eficacia del alga espirulina en la dieta de niños con desnutrición proteico-energética en ambientes tropicales". Tesis doctoral, Universidad Paul Sabatier Toulouse III, 10/10/1990.

Busson F. (1971) "Spirulina platensis (Gom.) Geitler and Spirulina geitleri J. de Toni, food cyanophyceae", Servicio de Salud, Parc du Pharo, Marsella.

Challem JJ (1981) "La espirulina, conózcala en interés de su salud" Ediciones Dietética General, 74108-Ville-la-Grand.

Chouard Ph., Michel H. y Simon MF (1977) "Balance térmico de una casa solar", EDF, Editions Eyrolles

Ciferri O. (1983) "Spirulina, el microorganismo comestible", *Microbiological Reviews*, 47, 551-578.

Cooper PI (1981) "El efecto de la inclinación en la pérdida de calor de los colectores solares de placa plana", *Solar Energy*, vol. 27, nº 5, páginas 413-420.

Cornet JF (1992) "Estudio cinético y energético de un fotobiorreactor" Tesis doctoral, Universidad de Paris-Sud Centre d'Orsay, 27/02/1992.

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Atti del convegno "Prospettive della coltura di spirulina in Italia", Firenze, 20-21/11/1980.

Consiglio Nazionale delle Ricerche (1987), IPRA Monografia N° 17 "Biotecnologie per la produzione di spirulina".

Desikachary TV (1959) "Cyanophyta", Consejo Indio de Investigación Agrícola, Nueva Delhi, India.

Dillon JC, Anh Phan Phuc y Dubacq JP (1995) "Valor nutricional del alga espirulina", *Plants in Human Nutrition, World Rev. Nutrición Diet.*, (Karger, Basilea), 77, 32-46.

- Dupire J. (1998) "Objetivo: Desnutrición", Ediciones Similia, París
- Durand-Chastel H. y Clément G. (1972) "Alga espirulina: alimento para el mañana", Proc. 9º ent. Congreso Nutrición, México (Karger, Basilea), 3, 85-90.
- Fox RD (1986) "Algocultura: espirulina, esperanza para el mundo del hambre", Edisud, Aix-en-Provence
- Fox RD (1996) "Spirulina, producción y potencial", Edisud, Aix-en-Provence
- Fox RD (1999) "Spirulina, técnica práctica y promesa", Edisud, Aix-en-Provence
- Falquet Jacques (1996) "Spirulina, Nutritional Aspects", Antenna Technology, Ginebra.
- Flamant Vert (1988) "Produciendo espirulina en sistemas autónomos", Editions de la Tempresse, Eaux-Vives, Suiza
Frappier R. (1992) "Spirulina, un alimento precioso para la salud", Les Editions Asclépiades Inc., Montreal.
- Farrar WV (1966) "Tecuitlatl: un vistazo a la tecnología alimentaria azteca", Nature, 211, 341-342.
- Funteu F. "Efecto de los factores ambientales sobre el metabolismo de los lípidos y las actividades biológicas de las sustancias lipofílicas en una cianobacteria filamentosa, *Spirulina platensis*", INRA Paris Grignon, 18/09/1996.
- ME Gershwin y Ahma Belay "Spirulina en la nutrición y la salud humanas", CRC Press (2008), Boca Raton, FL, EE. UU.
- Gilles R. (1976), Promoclim A, número especial "Piscinas al aire libre" (página 269), SEDIT, París
- Guérin-Dumartrait E. y Moysé A. (1976) "Características biológicas de la espirulina", Ann. Nutrición Alimento. 30, 489-496.
- Haldemann François (2003) "Producción industrial en Ecuador", páginas 86 y 87, Actas del Simposio Internacional sobre Cianobacterias, Ile des Embiez, Var, Francia, 3-6 de mayo de 2004, en Memorias del Instituto Oceanográfico Paul Ricard
- Henrikson R. (1994 y 1997) "Espirulina, alimento de la Tierra, cómo esta notable alga azul-verde puede transformar su salud y la de nuestro planeta", Ronore Enterprises Inc., EE. UU.
- Henrikson R. (1994) "Spirulina, superalimento del futuro", Ediciones Urano, Barcelona.
- Ittis A. (1974) "Fitoplancton en las aguas de natrón de Kanem (Chad), influencia del contenido de sal disuelta en la población de algas", tesis doctoral, Universidad de París VI.
- Jeeji Bai N. y Seshadri CV (1988) "Cultivo a pequeña escala de espirulina (*Arthrospira*) como complemento alimenticio para hogares rurales: desarrollo y transferencia de tecnología", Arch. hidrobiol. Suplemento 80, 1-4, 565-572
- Jourdan JP (1993) "Solarium spirulina farm in the Atacama desert (North Chile)", Boletín del Instituto Oceanográfico, Mónaco, Especial No. 12.
- Jourdan JP (1993) "Producción de tipo de supervivencia de espirulina", 6ª Conferencia internacional sobre algología aplicada, Ceske Budejovice (República Checa).

Jourdan JP (1996) "Sugar as a source of carbon for spirulina (*Arthrospira platensis*) culture", Simposio internacional sobre biotecnología de cianobacterias, Universidad de Bharathidasan, Tiruchirapalli, India.

Kohl AL y Riesenfeld FC (1960) "Purificación de gas", McGraw-Hill Book Co.

Lembi Carole A. & Wanlands J. Robert (1989) en "Algas y asuntos humanos", Cambridge University Press, página 191

Manen J.-F. y Falquet J. "El locus *cpcB-cpcA* como herramienta para la caracterización genética del género *Arthrospira* (Cyanobacteria): evidencia de transferencia horizontal" en *International Journal of Systematic Microbiology* (2002), 52, 861-867

Manoharan R. "Mejora del hierro biodisponible en *Spirulina fusiformis*", Simposio Nacional de Spirulina ETTA, MCRC, Madras (1992), p. 98

MELISSA (1996) "Informe final de actividad de 1995", Agencia Espacial Europea, Noordwijk, Holanda

MELISSA (1997) "Informe final de la actividad de 1996", Agencia Espacial Europea, Noordwijk,

Holanda

MICHKA (1992) "Spirulina, un alga para el Hombre y el Planeta", Georg Editeur SA, Ginebra.

MCRC (1993) "Suplementos nutricionales a gran escala con alga espirulina", Informe final del proyecto, Departamento de Biotecnología, Ministerio de Ciencia y Tecnología, Nueva Delhi, India.

Montenegro Ferraz CA, Aquarone E., Florenzano G., Balloni W. y Tredici M. "Utilização de sub produtos da industria alcooleira na obtenção de biomassa de spirulina maxima, Parte I – emprego do anidrido carbonico".

Paniagua-Michel J., Dujardin E. y Sironval C. (1993) "Tecuitlal, concentrado de espirulina fuente de proteína comestible entre los aztecas", *Cahiers de l'Agriculture* 1993; 2, 283-287.

Puyfoulhoux G., Rouanet JM., Besançon P., Baroux B., Baccou JC., Caporiccio B. (2001) "Disponibilidad de hierro a partir de espirulina fortificada con hierro mediante una digestión in vitro/modelo de cultivo celular Caco-2", *J agricola Food Chem.*, Vol. 49, Número 3, págs. 1625-29

Saury A. (1982) "Algas, fuente de vida", Editions Dangles, 45800 Saint Jean de Braye.

Seshadri CV y Jeeji Bai N. (1992) "Spirulina ETTA national simposium", MCRC, Madras, India.

Tomaselli L., Giovanetti L., Pushparaj B. y Torzillo G. (1987) "Biotecnologie per la produzione di spirulina", IPRA, Monografía 17 (página 21)

Venkataraman LV (1993) "Spirulina en la India", Proc. National Seminary Cyanobacterial Research Indian Scene, NFMC, BARD, Tiruchirapalli, India.

Vonshak A. (1997) "Spirulina platensis (*Arthrospira*): fisiología, biología celular y biotecnología", Taylor y Francis

Warr SRC, Reed RH, Chudek JA, Foster R. y Stewart WDP (1985) "Ajuste osmótico en *Spirulina platensis*", *Planta* 163, 424-429.

Willcock C. (1974) "La Gran Grieta de África", Ediciones Time-Life, Amsterdam

Zarrouk C. "Contribución al estudio de una cianofícea: influencia de diversos factores físicos y químicos en el crecimiento y la fotosíntesis de *Spirulina maxima* (Setch y Gardner) Geitler", tesis doctoral, Facultad de Ciencias de la Universidad de París, 12/06 /1966.

ÚLTIMAS REVISIONES

Revisión del 15 de enero de 2018: mejores definiciones de variables y adición Apéndice sobre vitamina K
página 173

Revisión del 29 de septiembre de 2017: mejoras en la prueba de ficocianina

Revisión del 15 de julio de 2017: Pequeñas mejoras en las fórmulas de oligoelementos Revisión

del 3 de julio de 2017: se especifica que el precio de costo calculado es sin impuestos Revisión

del 7 de junio de 2017: puede ser necesario proteger sus manos del alto pH del medio de cultivo y del riesgo de electrocución; si enjuaga la biomasa, use una solución isotónica al mismo pH que la cultura.

Revisión del 20 de mayo de 2017: modificación de la fórmula de oligos "Jourdan" agregando Molibdeno para promover la fijación de nitrógeno. Y (menor) modificación de la prueba de filtración.

Revisión del 21 de octubre de 2016: modificaciones para mejorar el uso de SPIRPAC-F

Revisión del 30 de septiembre de 2016: Se modificó el capítulo Cálculos para tener en cuenta el hecho de que los enlaces de hipertexto al software ya no funcionan en la nueva versión de Word, pero permanecen activos en PDF.

Revisado el 7 de julio de 2016: se agregaron recomendaciones de entrada de la FSF (Alimentos)

Revisión del 9 de junio de 2016-06-09: en el anexo A3 supresión de la mención del programa de cálculo (que ya no está disponible)

Revisión del 30 de mayo de 2016: K aumentó a 18 en Medfeed con potasio sin salinización Revisión del 29 de abril de 2016: la variable 163 está mejor explicada en la lista de variables SPIRPAC-F Revisión del 23 de abril de 2016: Se especifica que admitimos para simplificar que el 12% del carbono contenido en la espirulina producida proviene de la urea (= 300 g de urea/kg de espirulina) independientemente de la cantidad de urea que se utilice realmente (puede ser cero si utilizamos amoníaco o nitrato, por ejemplo, o en el caso de fijación de nitrógeno en el aire).

Revisión del 8 de enero de 2016: detalle de mejoras

Révision du 19 septembre 2015 : concerne des modifications dans le calcul du prix de revient dans Spirpac-f surtout en relation avec le couplage avec sources de chaleur

Révision du 9 septembre 2015 : précisions concernant les variables 174 et 123 dans la notice Spirpac-f

Révision du 23 juillet 2015 : modifié les variables 105 et 178 dans la notice Spirpac-f

Révision du 22 avril 2015 : améliorations de détail, y compris sur Spirpac-f concernant le calcul mois par mois

Révision du 6 novembre 2014 : légère amélioration du chapitre Nourriture

Révision du 29 septembre 2014 : modifications de Spirpac-f concernant surtout l'épuration (pH du recyclat)

Révision du 19 mai 2014 : explications sur le calcul en cas de couplage avec méthanisation

Révision du 22 avril 2014 : ajouté dans le tableau de résultats journaliers de Spirpac-f une dernière colonne indiquant la chaleur de la PAC en kWh/jour ; ajouté une 188ème variable Spirpac-f, inutilisée pour le moment mais disponible.

Révision du 14 avril 2014 : modifié légèrement le § "Comment créer de nouveaux cas" de la Notice Spirpac-f (page 151)

Révision du 29 mars 2014 : corrigé dans Spirpac-f la fonction fnray, ce qui a pour effet d'augmenter la chaleur de chauffage; et ceci rend efficace l'écran thermique nocturne.

Révision du 14 mars 2014 : corrigé une erreur dans SPIRPAC-F concernant la variable 136 (option prix de revient dans milieu de culture initial)

Revisiones del 4 al 6 de marzo de 2014: ligeras modificaciones al texto del Manual y SPIRPAC-F, sin efecto en los cálculos, excepto la opción "HP virtual" para acoplamiento con metanización (variable 135)

Revisión del 15 de febrero de 2014: tabla diaria corregida de resultados en Spirpac-f

Revisión general del 2/8/2014

Revisión del 8 de enero de 2014: contenido energético de la espirulina reducido de 500 a 380

Revisión del 30 de octubre de 2013: ligera modificación de la medida de alcalinidad

Revisión del 20 de junio de 2013: modificó Spirpac-f añadiendo el cálculo del precio de coste con biogás como fuente de CO₂ (biogás metano a 2,43 €/kg)

Revisión del 4 de junio de 2013: algunas modificaciones al capítulo de secado.

Revisión del 9 de abril de 2013: en el manual de Spirpac-f, se agregó un párrafo sobre iluminación LED; agregó a los Apéndices un párrafo de buenas prácticas para la prueba de camarones en salmuera.

Revisión del 6 de febrero de 2013: se añade a SPIRPAC-F el cálculo mes a mes de la demanda de calor/m² en caso de calefacción por fuel, y el ajuste automático del número de días al mes (siempre que comience en enero).

Revisión del 23 de noviembre de 2012: modificación de SPIRPAC-F que no afecta al cálculo en sí pero aporta comentarios.

Revisión del 4 de agosto de 2012: SPIRPAC-F modificado para limitar la acción de la variable 175 (umbral) a las opciones isol =1 y 2 y eliminar la toma en cuenta de "máscaras" en el manual.

Revisión de 14 de julio de 2012: SPIRPAC-F enriquecido con la posibilidad de modular el tamaño de su gráfico para poder adaptarse a pantallas pequeñas, cada vez más numerosas Revisión de 9 de junio de 2012: modificado ligeramente el párrafo sobre el cálculo de la fotoinhibición en Spirpac-f (sin cambiar la fórmula para calcular el coeficiente de reducción de la fotosíntesis)

Revisión del 4 de junio de 2012: modificó ligeramente la fórmula para el cálculo automático de costos fijos en Spirpac-f (para facilitar el cálculo manual)

Revisión 29 de mayo de 2012: Se ajustó la pantalla de Spirpac-f para que sea más adecuada para computadoras portátiles (por ejemplo, resolución de pantalla de 1366-768) y se eliminó la influencia excepcional de las velocidades de agitación superiores a 30.

Revisión del 14 de marzo de 2012: añadido a Spirpac-f dos sedes: Barcelona y Madrid. El sitio de Canarias ahora se llama Santa Cruz de Tenerife Revisión del 10 de marzo de 2012: indicaba cómo calcular el punto de rocío a partir de la temperatura y la humedad relativa (en Aviso Spirpac-f); mejoró las alertas en spirpac-f Revisión del 7 de marzo de 2012: mejoró el Spirpac-f al permitir modificar la tasa de respiración (variable N° 178) y al expresar la irradiación horizontal promedio en Wh/m²/día Revisión del 10 de febrero de 2012 : modificó las Instrucciones de uso de Spirpac-f (en § calentamiento)

Revisión del 28 de octubre de 2011: se corrigió el enlace erróneo para la fórmula de flujo en un plano

inclinado Revisión del 11 de octubre de 2011: se agregó una descripción sobre Pinturas comestibles en

Apéndice A21

Revisión del 22 de septiembre de 2011: conformidad del título Spirpac-f con la revisión del 10 de agosto de 2011, lo mismo para el programa fuente correspondiente.

Revisión del 30 de agosto de 2011: ligeramente modificado el resumen en inglés (Grow your...)

Revisión del 10 de agosto de 2011: en Spirpac-f

Coeficientes de neblina ajustados para que coincidan con los datos mensuales de irradiación global horizontal para los sitios franceses y africanos (proporcionados en la página 153 del Manual en pdf) entre las líneas de programa " vasy: " y " sábado: " reemplazado 30 por 365/12 = 30,4

Revisión del 4 de agosto de 2011: Spirpacf modificado para aumentar la influencia de las nubes en los meses de enero, febrero y diciembre para que sea más coherente con los datos de irradiación global horizontal de París.

Revisión del 1 de agosto de 2011: Spirpac-f modificado para agregar el caso de Angers y comenzar a ajustar la irradiación horizontal global de los sitios franceses y africanos.

Revisión del 22 de julio de 2011: Spirpac-f modificado para incluir el cálculo de la irradiación horizontal global durante el período de simulación, con el fin de permitir el ajuste del factor de turbidez para que esta irradiación se aproxime a las que dan las estadísticas climáticas del lugar. Añadido en el Anexo 3 de la notificación de las fuentes de dichas estadísticas para Europa y África.

Revisión del 18 de julio de 2011: añadido al capítulo Siembra el § 5.7 relativo a la derivas de tensión; título corregido de § "Muertes súbitas" en § 7.20; señaló que las líneas pueden flotar.

Revisión del 2 de julio de 2011: incorpora varias modificaciones de detalle, en particular sobre la analizadores de CO₂ atmosférico y filtración de aire de entrada a secadores no termodinámicos.

Revisión del 27 de mayo de 2011: se agregó al software Spirpac-f el cálculo del calor suministrado por la bomba de calor y se realizaron mejoras detalladas en el software y en sus instrucciones en el § calefacción (sin cambiar la fecha de actualización del software que queda el 1 de mayo)

Revisión del 12 de mayo de 2011: mejoras menores

Revisión del 10 de mayo de 2011: adiciones al capítulo "Medio ambiente" en relación con la purificación y el reciclaje Revisión del 25 de abril de 2011: se agregó al capítulo "Medio ambiente" la posibilidad de llevar fósforo a través de tripolifosfato de sodio .

Revisión del 4 de abril de 2011: Se modificó el software DeltapH para mejorarlo Se agregó riesgo de fotólisis a 39 °C.

Revisión del 12 de marzo de 2011: Apéndice A26 modificado sobre ruedas de paletas.

Revisión del 2 de marzo de 2011: salida de resultados modificada del software Spirpac-f y Spitfix para abordar fallas de apariencia con ciertas configuraciones de parámetros de computadora

Revisión del 5 de febrero de 2011: proporcionó detalles sobre el método de cálculo del precio de costo y los costos fijos en el manual del programa Spirpac-f; modificó ligeramente la descripción de la prueba de camarones en salmuera

Revisión del 1 de febrero de 2011: se hizo una pequeña corrección al programa SPITFIX

Revisión del 30 de diciembre de 2010: se mejoró la fórmula de HCl N en el capítulo A5 (medición alcalinidad)

Revisión del 22 de diciembre de 2010: Se agregó la fórmula de dosificación de alofocianina.

Revisión del 15 de diciembre de 2010: se aclara la definición de la variable 175 en el prospecto de Spirpac-f y se añade el riesgo de los sulfito-reductores anaeróbicos en caso de agitación insuficiente.

Revisión del 1 de octubre de 2010: ligeramente revisado § 4.5 del Manual

Revisión del 4 de septiembre de 2010: corregido un pequeño error en Spirpac-f relativo a la variable 109 ("coeficiente de aislamiento térmico") en caso de aislamiento nocturno completo. Esta variable en realidad representa la pérdida de calor y no el coeficiente. No cambió el título del software = "versión del 23 de agosto de 2010")

Revisión del 31 de agosto de 2010: corregido un pequeño error en Spirpac-f referente al caso de aislamiento nocturno completo (anteriormente se despreciaba la pérdida de calor a través del aislamiento); no cambió el título del software = "versión del 23 de agosto de 2010")

Revisión del 23 de agosto de 2010: modificó la advertencia de riesgo de fotólisis en Spirpac-f poniendo la condición de que este riesgo sea superior a dos horas consecutivas (en lugar de una antes) y quitando la condición de que la temperatura sea inferior a 25° C.

Revisión del 19 de agosto de 2010: modificó ligeramente la explicación de la fórmula del umbral de fotólisis en el folleto de Spirpac-f

Revisión del 13 de agosto de 2010: agregó una advertencia para no confundir la soda cáustica y los cristales de soda

Revisión del 30 de junio de 2010: especificó que el El modelo Spirpac-f solo se aplica a cultivos autótrofos

Revisión del 23 de abril de 2010: rebajada de 0,05 a 0,04 la dosis de urea en caso de geometría variable.

Revisión del 16 de abril de 2010: corrigió un enlace corrupto

Revisión del 5 de marzo de 2010: en el software de simulación Spirpac-f, aumentó la duración máxima de la licencia de fin de semana a 7 días, modificó las variables n° 112 (que pasa a ser la concentración después de la cosecha) y la n°113 (que se convierte en la concentración inicial de espirulina) e hizo efectiva la variable n°175 en todos los casos (simula máscaras en los casos en que no hay aislamiento de la piscina)

Revisión del 11 de enero de 2010: agregó la variable 185 a Spirpac-f, y puso el software: Absorción de CO₂, Zabsco2 y Spitfix en VisualBasic Revisión del 16 de julio de 2009: modificó el capítulo Cultura Revisión del 4 de julio de 2009: modificó el Capítulo Presentación Revisión del 30 de junio de 2009: añadido al capítulo Alimentos un ejemplo de "fijación" de nitrógeno muy alta Revisión del 14 de mayo de 2009: añadido al capítulo Secado el acabado del secado en secadora Revisión del 14 de enero de 2009: en "Cosechar" agregó la práctica de Nyalgué de lavar la biomasa con un 5% de agua salada.

Revisión del 7 de enero de 2009: en Spirpac-f, si la cosecha se reparte en todo el día, a la variable tiempo medio de cosecha se le asigna el valor 12, lo que automáticamente divide los costes fijos de cosecha entre 4. (Modificación no realizada en Spiru- F).

Revisión del 15 de noviembre de 2008:

Spirpac-f mejoró agregando opciones de doble y triple acristalamiento en PC, y modificó ligeramente la translucidez del doble acristalamiento de PE. **Estas modificaciones no se han realizado en la versión Basic (Spiru-f), por falta de espacio, salvo la modificación de la translucidez.**

Se corrigió el cálculo del excedente de electricidad en Spirpac-f (que se basaba en la producción total excluyendo el restablecimiento a su nivel inicial de la concentración final de espirulina). Este error no está en Spiru-f.

En el capítulo "Alimentos" se agregó un § a la nota c para explicar que los alimentos mixtos de urea/nitrato son compatibles con el uso de urea sola.

Revisión del 13 de noviembre de 2008: corregidas las fórmulas de butano y propano en "combustible"

Revisión del 12 de noviembre de 2008 en spirpac-f y spiru-f: tras una campaña de medición de luz en tiempo 100% nublado, se aumentó la luz entre un 15 y un 20% (% de luz en tiempo despejado)

Revisión del 7 de noviembre de 2008: en spiru-f y spirpac-f:

eliminó el costo de los fertilizantes al usar biogás

corregida la calefacción a gas y la regulación de temperatura en el caso del aislamiento N°3

Revisado el 30 de octubre de 2008:

corregido el cálculo inicial de la temperatura de la piscina en caso de calentamiento de combustible en spiru-f

consumo de combustible de calefacción corregido en spiru-f y spirpac-f

Revisión del 22 de octubre de 2008: corregido un error en una alerta en Spirpac-f

Revisión del 29 de septiembre de 2008: en spirpac-f y spiru-f corrección de un error en el cálculo del poder calorífico del combustible en el caso del biogás

Revisión del 22 de septiembre de 2008: en spirpac-f y spiru-f los flujos de gas se separan para

regulación y para calefacción

Revisión del 10 de septiembre de 2008: simplificación de la fórmula de oligoelementos, según las recomendaciones de Cogné et al. (Clermont-Ferrand)

Revisión del 19 de agosto de 2008: corregido un pequeño error de programación relacionado con la opción de

aislamiento = 3 en Spiru-f y Spirpac-f Revisión del 20 de julio de 2008: modificó ligeramente el capítulo Cultura (§ Agitación), e hizo una corrección menor en Spiru -f (imprimir resultados).

Revisión del 11 de julio de 2008: en los Anexos, medición de pH: modificó el coeficiente de temperatura

Revisión del 30 de junio de 2008: en Spirpac-f y Spiru-f modificó el impacto del riesgo de fotooxidación en el sombreado automático e introdujo costos fijos para sombreado.

Revisión del 26 de junio de 2008: en Spirpac-f y Spiru-f dividido por 4 los costes fijos de recolección en caso de que no haya secado (ya que podemos recolectar todo el día)

Revisión del 23 de junio de 2008: Deltaph.exe modificado en Visual Basic

Revisión del 5 de junio de 2008: funciones mejoradas C ex pH y pH ex C en SPIRU-F y en SPIRU-E.BAS (imposible transcribirlo en .EXE, programa demasiado largo), y en CEXPH.

Revisión del 13 de marzo de 2008: SPIRPACF (rebautizado como SPIRPAC-F) y SPIRU-F ligeramente modificados para permitirles tratar el caso del agua de mar.

Revisión del 12 de enero de 2008: modificaciones importantes al software de simulación SPIRPACF, para integrar las modificaciones de SPIRU-F y SPISIMP3.

Revisión del 15 de septiembre de 2007: modificaciones importantes en el programa de simulación SPIRU-F, no realizadas en SPIRU-E ni SPISIMP3. Estos cambios incluyen la introducción de las variables 86 (opción de fotoinhibición) y 92 (opción de sombreado interior) así como la alerta de peligro de fotólisis.

Revisión del 10 de agosto de 2007: modificado SPIRU-F, SPIRU-E y SPISIMP2 (modificado en SPISIMP3) en cuanto al límite de iluminación a baja temperatura.

Revisión del 23 de julio de 2007: modificado SPIRU-F, SPIRU-E y SPISIMP2 con respecto al límite de iluminación de baja temperatura.

Revisión del 7 de julio de 2007: se eliminó la variable 86 (aumento de la temperatura global) en SPIRU-F y SPIRU-E

Revisión del 16 de junio de 2007: SPIRU-F, SPIRU-E y SPISIMP2 modificados (en particular, aumentados en 5 °C los límites inferiores de temperatura de funcionamiento)

Revisión del 14 de junio de 2007: se agregó un comentario sobre la diferencia entre Zarrouk y Vonshak en los

capítulos Cálculo y Apéndices Revisión del 9 de junio de 2007: en el Apéndice Cultivo/Sombra, se agregaron

precauciones adicionales para evitar la fotólisis.

Revisión del 4 de junio de 2007: en el capítulo Cálculo, se elimina la regulación por aireación

automática a temperatura < 38 °C Revisión del 28 de mayo de 2007: se añade al Capítulo Medio

una observación sobre la inyección de ácido fosfórico Revisión del 10 de mayo de 2007: agregó un aviso sobre la espirulina fresca en el capítulo Consumo

Revisión del 20 de abril de 2007: pequeña adición al § Embalaje del capítulo Secado

Revisado el 12 de abril de 2007

Mejoras menores en los capítulos "Siembra" y "Cultivo"

Revisado el 31 de marzo de 2007

En el capítulo CÁLCULO:

agregó que la opción de aislamiento nocturno total es posible incluso sin invernadero agregó que el coeficiente de absorción de CO₂ y el coeficiente de ajuste de la fotosíntesis se pueden aumentar hasta en un 50% en caso de olas y espuma en la superficie de la taza

- añadió que la relación pH/CO₂/base, establecida experimentalmente entre alcalinidades de 0,02 y 0,30, se acepta como válida fuera de estos límites.

Revisado el 19 de marzo de 2007

Se modificó el § que trata sobre la espirulina orgánica en el capítulo Alimentos.

Urea reducida en alimentos a 300 g/kg en el capítulo Alimentos y en el software Milnour

Revisado el 7 de marzo de 2007

Eliminación de rotíferos como depredadores de la espirulina recta

Revisado el 22 de enero de 2007

Se modificó Spiru-f, Spiru-e (y Spisimpl y Spirpacf) para que el aislamiento nocturno completo no corte la ventilación del invernadero (pero corte el suministro de combustible). El uso de un aislamiento nocturno completo (por ejemplo, en conexión con estanques en planos inclinados) se hace posible mientras se alimenta el invernadero con CO₂ diluido durante el día, que antes estaba excluido. También es posible con piscinas al aire libre.

Revisado el 6 de enero de 2007

Spiru-f, Spiru-e (y Spisimpl y Spirpacf) modificados para configurar el aislamiento nocturno (opciones isol = 1 y 2) solo cuando la iluminación cae a un umbral predeterminado (variable 87) y para hacer posible la opción 1 para la variable 77 (cálculo automático de reciclaje recycle = prodj) en todos los casos, independientemente del cálculo automático de costes fijos.

Algunos otros cambios (menores) en el cálculo de capítulos

Revisado el 28 de diciembre de 2006

Spiru-f, Spiru-e y Spirpacf modificados para permitir la opción de aislamiento nocturno completo (isol = 1) sin invernadero y, en Spiru-f y Spiru-e, para actualizar la estimación de los costos fijos calculados cuando la variable 71 = 0 Modificado en forma menor el Cap. Cultura y Presentaciones en Power Point Corregido un pequeño error en el Caso 1 del programa de utilidad MILNOUR en el capítulo Cálculo

Revisado el 1 de diciembre de 2006

Adición al capítulo/líneas de Cultivo y clorellas eliminadas por rotíferos

Adición al capítulo Siembra de las recomendaciones sobre la concentración inicial

Revisado el 23 de noviembre de 2006

(Después de la caída del disco duro principal del autor el 11/01/2006, reconstitución del Manual en su estado después del 16 de octubre).

Se agregó al capítulo Cálculo la forma de evitar que la descarga del exe sea bloqueada por los parámetros de seguridad.

Se agregaron al mismo capítulo los principales programas fuente en QBasic.
Revisado el 16 de octubre de 2006

Pequeñas adiciones a los capítulos de Consumo y Cosecha
Revisado el 18 de septiembre de 2006

Adición al capítulo "Cultivo", § alimentos carbonáceos, de una adición sobre la dosis óptima de bicarbonato de sodio

Adición de comentarios en el capítulo "Cálculo", § Precio de costo
Revisión del 7 de septiembre de 2006

Modificaciones de SPIRU-F y SPIRU-E: introducción de una variable (mano de obra proporcional), eliminación de la actualización de costos y armonización de los dos software.

Revisado el 28 de agosto de 2006

Hizo una ligera corrección (sin impacto en los resultados) a SPIRU-F y E
Revisado el 5 de agosto de 2006

Hizo algunas adiciones al capítulo "Cultura".
y "plántula"

Revisado el 1 de julio de 2006

Se modificaron ligeramente las recomendaciones finales.

Revisado el 6 de junio de 2006-06-06

Pequeña corrección relativa al reciclaje en SPIRU-F

Revisado el 1 de mayo de 2006

Algunas mejoras en el embalaje (capítulo Secado) y en la contaminación por Chlorella (capítulo Cultivo)

Revisado el 15 de abril de 2006

En CALCUL, ligera modificación de SPIRU-F referente al reciclaje
Revisado el 20 de febrero de 2006

En el capítulo MEDIO, se agregó el método para hacer sulfato de magnesio a partir de cenizas.

Revisado el 8 de febrero de 2006

En el capítulo de Cálculo, se modificaron los pasajes referentes al reciclaje (consumo de agua y electricidad del reciclaje), y en consecuencia SPIRU-F y SPIRU-E

Revisado el 2 de febrero de 2006

En el capítulo Cálculo, se corrigió el enlace al Aviso Spirpacf Revisión del 24 de enero de 2006 Traducido SPITFIX.EXE al francés Revisión del 17 de enero de 2006

En Cálculo, en SPIRU-F se ha introducido un nuevo resultado: el volumen del tanque para la autonomía del agua cuando tienes un invernadero.

Revisado el 12 de diciembre de 2005

En Cálculo, en SPIRU-F y SPIRU-E se ha restablecido la regulación de temperatura por ventilación regulable en el caso de aislamiento día y noche, y se ha introducido la opción "opmil", que permite calcular el precio de coste sin medio cultural.

CLIMA modificado en consecuencia.

Revisado el 29 de noviembre de 2005

Pequeñas mejoras en el capítulo Cultura (líneas rectas, EPS y párrafos de Purificación)

Revisado el 22 de noviembre de 2005

Pequeñas modificaciones al texto del capítulo de Cálculo (gases de combustión), y al software de simulación de cultivos.

Revisado el 10 de noviembre de 2005

Adición de la opción de cálculo automático de costes fijos en SPIRU-F

Revisado el 8 de noviembre de 2005

Milnour.exe fijo, Spiru-f.exe mejorado y cálculo

Revisado el 27 de octubre de 2005

Se añade al software de simulación Spiru-f la posibilidad de suministrar CO2 a compostaje (CO2 diluido)

Revisado el 13 de octubre de 2005

En los Anexos, en el § A13, se corrigió la tabla de mezclas de soda/bicarbonato de sodio

En el capítulo Medio, se agregó un párrafo sobre la adición de fosfato después de la soda.

Se modificó ligeramente el párrafo sobre larvas en el capítulo Cultura.

Revisado el 23 de septiembre de 2005

Añadido en el capítulo Siembra la dirección de J. Falquet

Añadido en los capítulos Medio Ambiente y Alimentación detalles sobre el uso de la orina Añadido en el capítulo Cultivo un complemento sobre la purificación de los medios de cultivo usados.

Revisado el 19 de septiembre de 2005

Pequeñas adiciones al Capítulo de Cultura (sobre lejía)

Revisado el 15 de septiembre de 2005

Modificación del caso 1 en MILNOUR.exe

Revisado el 12 de septiembre de 2005

Mejora menor en los capítulos de Cultura y Cálculo.

Revisado el 8 de septiembre de 2005

Cambios menores en los capítulos de Medio Ambiente y Alimentos

Revisado el 30 de agosto de 2005

En el Capítulo Cultura, se agregó una precisión sobre la aparición de amebas.

Revisado el 28 de agosto de 2005

En el capítulo Cultura, agregó que los mosquitos no pueden ser esterilizados por consumo de espirulina.

En el Índice, se corrigió el enlace al resumen en español; en Cultivo, enlaces añadidos en el resumen.

Revisado el 19 de agosto de 2005

En el capítulo Cultura, § Hierro, se añadió la composición de Ferfol

Revisado el 14 de agosto de 2005

En el capítulo Cultura, § Agitación, añadió que es bueno agitar por la noche.
Revisión del 9 de agosto de

2005 En el capítulo CÁLCULO poner en mayúsculas los nombres de los archivos SPIRUL, etc.
Revisión del 1 de Agosto

Ligeramente modificado en el Anexo Técnico el ensayo de filtración y turbidez
Revisado el 27 de julio de 2005

Añadido a los capítulos Medio Ambiente, Cultura y Anexos: no almacenar agua dulce en presencia de luz.

CRECER Actualización

Revisión del 21 de julio de 2005

Mejoras realizadas en el capítulo Cultivo, referente a chlorella.

Revisión del 14 de julio de 2005

Modificaciones (menores) en el Capítulo CÁLCULO, referente a la versión Visual Basic del software de simulación principal.

Corregido un error ortográfico en la Bibliografía (Puyfoulhoux)

Revisado el 13 de julio de 2005

Renovación de un cierto número de enlaces con vistas a la instalación del Manual en el sitio de Petites Nouvelles (debido al trabajo que lo inutiliza temporalmente en el sitio de Antenna)

Revisión del 30 de junio de

2005 En Chapter Calculus, se agregó Cexph.exe a Small Utility Programs y un enlace hacia estos.

Revisado el 28 de junio de 2005

En el capítulo Cosecha, añadió que debemos poner la biomasa en la nevera antes y después.
prensado

Revisión del 24 de junio de

2005 Agregar el apéndice técnico A31 sobre ablandamiento del agua

Revisión del 16 de junio de 2005 Mejoras detalladas realizadas en el capítulo Cálculo y en meteo.exe, spiru-e.exe, spiru-f.exe

Revisado el 8 de junio de 2005

En el capítulo de Cultivo, se agregó la posibilidad de floculación en grumos verdes débiles en EPS.

Revisión del 6 de junio de

2005 Modificado § 7.8 sobre el uso de glucosa como sustituto del azúcar como entrada de carbono

Eliminado un pequeño "error" en el software spiru-f y spiru-e y SPIRPACF
Revisión del 23/05/2005

Añadido en el resumen un enlace al resumen en español

Revisión del 18/03/2005

Agregó a spiru-f y spiru-e una variable N°86: aumento de la temperatura de la Tierra en relación con las condiciones meteorológicas actuales.

Adaptado este software para tratar ambientes con alcalinidades muy bajas

Corregidos pequeños errores en la versión Visual Basic de estos software (Spirpacf)
Revisión del 23/02/2005

Reintroducción de la variable "pH mínimo para la cosecha" (No. 85) en meteo, spiru-e y spiru-f
Revisión del 22/02/2005

Corrección menor realizada en Spiru-f
Revisión del 14/02/2005 Modificación importante

en el capítulo Cálculo: eliminación del software Spirpac e integración de la bomba de calor en el software Spiru-f normal (o Spiru-e).

Esto no cambia los resultados, pero el funcionamiento sin bomba de calor requiere que la variable N°79 tenga el valor 0 y la variable N°80 el valor 45.

Revisión del 4/02/2005

Corregidos los programas de simulación (spirpacf, spirpac, spiru-f, etc), lo que mejora ligeramente la productividad y precio de coste en los resultados
Revisión del 25/01/2005

Sal fija en los resultados de Milnour.exe
Revisión del 22/01/2005

Adición en Calculation and Notice Spirpacf de una explicación sobre la acumulación de sombreado en un cultivo de espirulina.

Revisión del 01/06/2005

En las fórmulas de cálculo de medios y alimentos, reducir el P (excluyendo Ca y Mg) de 14 a 10 mg/l y g/kg.

CULTIVA TU PROPIA ESPIRULINA

Revisado el 30 de agosto de 2011

AVISO

Esta es la versión resumida de un "Manual de cultivo de espirulina a pequeña escala" escrito en francés y distribuido por Antenna Technology.

No se otorga ninguna garantía sobre los contenidos.

Este no es un libro más sobre la espirulina. Hay excelentes disponibles*, que tratan temas como: -

¿Qué es la espirulina? - ¿Cuál es su hábitat natural?

- ¿Cómo lo cosechaban y comían los aztecas?

- ¿Cómo se redescubrió hace 30 años? - ¿Qué

nutrientes, vitaminas, minerales contiene? - ¿Cuáles son sus

especificaciones de calidad alimentaria?

- ¿Cuáles son sus numerosos beneficios para la salud? - ¿Cómo fabrica y comercializa la industria la espirulina? - ¿Por qué la espirulina es ecológica? - ¿Por qué tiene un futuro tan brillante?

El único propósito de este pequeño manual es llevar mi experiencia de campo en la producción de espirulina a pequeña escala a quienes la necesiten: se supone que las respuestas a las preguntas anteriores son bien conocidas.

Para hacer la presentación más corta, fácil y precisa, decidí no evitar el uso de términos técnicos comunes: en caso de que algunos lo confundan, busque una explicación en un manual de la facultad de química.

Lo que aquí se llama "espirulina" en realidad lleva el nombre científico de "*Arthrospira platensis*", una cianobacteria. Pero el nombre común "espirulina" se usa universalmente.

* Véase, por ejemplo, "Earth Food Spirulina", de Robert Henrikson, publicado por Ronore Enterprises, EE. UU. (1994), y "Spirulina, Production & Potential", de Ripley Editions Cell-biology and Biotechnology (1996) de "Spirulina Platensis (Arthrospira) Day & Physiology (1997)

FACTORES CLIMÁTICOS

La temperatura es el factor climático más importante que influye en la tasa de crecimiento de la espirulina, siempre que haya suficiente luz disponible.

Por debajo de los 20°C, el crecimiento es prácticamente nulo, pero la espirulina no muere. El óptimo la temperatura de crecimiento es de 35°C, pero por encima de los 39°C la espirulina está en peligro.

El crecimiento solo tiene lugar en la luz (fotosíntesis), pero no más de 16 horas al día. Durante los períodos oscuros, las reacciones químicas tienen lugar dentro de la espirulina, como la síntesis de proteínas y la respiración.

La respiración disminuye la masa de espirulina ("biomasa"); su tasa es mucho mayor a altas temperaturas, por lo que las noches frescas son mejores por ese motivo, pero por la mañana, tenga en cuenta que la espirulina generalmente no puede soportar una luz fuerte cuando está fría (por debajo de 20°C).

La luz es un factor importante, pero la plena luz del sol puede no ser la mejor iluminación: el 30 % de la plena luz del sol es mejor, excepto que se puede requerir más para calentar rápidamente el cultivo por la mañana.

Los filamentos de espirulina individuales son destruidos por una iluminación intensa y prolongada ("fotólisis"), por lo que es necesario agitar el cultivo para minimizar el tiempo de exposición a la luz solar.

La lluvia es beneficiosa para compensar la evaporación, pero no se debe permitir que provoque el desbordamiento del estanque de cultivo.

El viento es beneficioso para agitar y airear el cultivo, pero puede traer suciedad

eso.

La luz artificial y la calefacción pueden usarse para cultivar espirulina, aunque pueden no ser económicas. Los tubos fluorescentes y las lámparas halógenas son convenientes, pero los LED serán aún mejores.

ESTANQUES

La espirulina prospera en agua alcalina y salobre. Se puede usar cualquier recipiente abierto y hermético para cultivar espirulina, siempre que resista la corrosión y sea de grado alimenticio. Su forma es irrelevante, aunque deben evitarse los ángulos agudos para facilitar la agitación y la limpieza. Su profundidad suele ser de 30 a 40 cm (el doble de la profundidad del propio cultivo). Puede ser tan pequeño como 1 m² pero 5, 20 o 100 m² son más económicos. Las dimensiones solo están limitadas por la necesidad de acceso para agitación y limpieza. El fondo debe tener una ligera pendiente y un rebaje para facilitar la limpieza y el vaciado. Dos estanques son mejores que uno solo, por razones prácticas.

Los estanques más económicos están hechos de una película plástica resistente a los rayos UV, de calidad alimentaria, de 0,5 mm de espesor o más, con los lados sostenidos por ladrillos o una estructura de madera o tubos de metal. Si hay termitas, se debe colocar una capa de ceniza seca más una capa de arena debajo de la película para protegerla y, por supuesto, no se debe usar madera.

Los estanques de concreto son una solución buena y duradera donde se necesita mano de obra experimentada.

disponible. Antes de iniciar el cultivo, el cemento debe estar bien curado y encalado.

Un invernadero sobre los estanques ofrece muchas ventajas, siempre que se pueda aireado y sombreado. De hecho, cubrir los estanques es necesario en muchos casos.

La agitación puede ser manual, con escoba, una vez cada dos horas. Si la electricidad es disponibles, las bombas de acuario son prácticas para agitar el cultivo (un vatio/m² es suficiente). Los estanques "Raceway" agitados por paletas son estándar en la industria, pero están algo fuera del alcance de este manual.

CULTURA MEDIA

Spirulina puede vivir en una amplia gama de composiciones de agua; el siguiente es un ejemplo de un análisis conveniente:

<u>aniones</u>	Carbonato 2800 mg/lite4
	Bicarbonato 720
	Nitrato 614
	Fosfato 80
	Sulfato 350
	Cloruro 3030
<u>cationes</u>	Sodio 4380
	Potasio 642
	Magnesio 10
	Calcio 10
	Hierro 0.8
Urea	< 40
Sólidos disueltos totales	12847
Densidad @ 20°C	1010 g/litro
Alcalinidad	0,105 N (moles base fuerte/litro) 10,4
pH @ 20°C	

Además, la solución contiene trazas de micronutrientes.

Dicha solución se puede obtener disolviendo varias combinaciones de productos químicos; aquí hay un ejemplo conveniente para muchas aguas blandas típicas:

Carbonato de sodio (carbonato de sodio)	5g/litro 5
Cloruro de sodio, crudo	
Nitrato de potasio	2

bicarbonato de sodio	1
Sulfato de potasio, cristalizado	1
Fosfato monoamónico, cristalizado	0.1
Sulfato de magnesio, cristalizado, MgSO ₄ , 7 H ₂ O	0.2
Lima	0.02
Sulfato ferroso, cristalizado, FeSO ₄ , 7 H ₂ O	0.005

El agua utilizada debe ser limpia o filtrada para evitar algas extrañas. Agua potable es conveniente. El agua a menudo contiene suficiente calcio, pero si es demasiado dura producirá lodo que es más una molestia que un verdadero problema. El agua salobre puede ser ventajosa, pero debe analizarse su contenido o analizarse. El agua de mar se puede utilizar en algunas condiciones muy especiales, fuera del alcance de este breve manual.

El medio de cultivo descrito anteriormente se utiliza para iniciar nuevos cultivos. tu aumento el volumen de cultivo del medio de reposición debe ser el siguiente: el carbonato se reemplaza por bicarbonato (8 g/l en total), la urea hasta 0,06 g/l y el nitrato se omite.

Ciertos iones pueden estar presentes en concentraciones limitadas únicamente por el total de sólidos disueltos, que no debe superar los 25 g/l; estos son: sulfato, cloruro, nitrato y sodio. El nitrato de sodio o de potasio puede reemplazar a la urea, siendo la ventaja una gran reserva de nitrógeno; la urea es más eficiente y más barata para suministrar nitrógeno, pero puede matar a la espirulina en concentraciones demasiado altas. La espirulina puede crecer solo con nitrato o urea, pero la espirulina prefiere la urea (o el amoníaco).

El fosfato, el magnesio y el calcio no se pueden aumentar mucho sin precipitar el fosfato de magnesio o calcio, lo que posiblemente provoque desequilibrios en la solución.

La concentración de potasio se puede aumentar a voluntad, siempre que no se vuelva más de cinco veces la concentración de sodio en peso. Esto permite utilizar la solución de potasa extraída de la ceniza de madera blanca para reemplazar el carbonato/bicarbonato de sodio en caso de que no esté disponible (deje que la solución de potasa absorba el CO₂ del aire hasta que su pH baje a 10,5 antes de usarla). Si se utilizan productos químicos de grado fertilizante, deben ser del tipo "soluble" o "cristalizado", no del tipo granulado de "liberación lenta". El sulfato de hierro que se vende para tratar el césped no es adecuado.

Los micronutrientes traza contenidos en el agua y en los productos químicos son suficientes para apoyar el crecimiento inicial.

En caso de necesidad (situaciones de tipo "supervivencia"), nitrógeno, fosfato, sulfato, sodio, potasio y magnesio pueden ser aportados por la orina (de personas o animales sanos, que no consuman drogas) a dosis de 5 ml/litro y hierro por una solución saturada de hierro en vinagre (usar aprox. 0,1 ml/l).

Las soluciones de hierro deben introducirse preferentemente muy lentamente y bajo agitación en el medio. El goteo es mejor.

SIEMBRA

Elija una cepa de espirulina que contenga una alta proporción de filamentos enrollados (menos del 25 % de filamentos rectos y, si está disponible, 0 %), fácil de cosechar y que contenga al menos un 1 % de ácido gamma-linolénico (GLA) en peso seco.

El cultivo de semilla de espirulina concentrada se puede obtener de la capa flotante (si la hay) de un cultivo sin agitar, o mediante la redilución de una biomasa recién filtrada (cuidado con los grumos). Se permite una concentración de hasta 3 g de espirulina (seca) por litro si el almacenamiento y el transporte duran menos de una semana, y siempre que el cultivo de semillas se airee al menos dos veces al día. Si la aireación puede ser continua, la concentración puede ser de hasta 10 g/l (los pesos de espirulina siempre se refieren a la materia seca contenida).

Es aconsejable mantener la cultura en crecimiento en una concentración bastante alta en espirulina después de cada dilución con nuevo medio de cultivo, alrededor de 0,3 g/l: la lectura del "disco de Secchi" (ver Anexo 1) no debe ser superior a 5 cm, es decir, el color del cultivo debe ser claramente verde (de lo contrario, el sombreado es obligatorio). La tasa de crecimiento es de alrededor del 30 %/día cuando la luz y la temperatura son adecuadas y el medio de cultivo de reposición es a base de bicarbonato (sin carbonato). Como el crecimiento es proporcional al área del cultivo expuesta a la luz, se recomienda maximizar esta área en todo momento (es decir, usar la profundidad mínima factible durante el período de expansión del área, generalmente de 5 a 10 cm).

Cuando se alcance el área y la profundidad finales (10 a 20 cm) en el estanque, deje que la concentración de espirulina aumente a aproximadamente 0,5 g/l (disco de Secchi a aproximadamente 2 cm) antes de la cosecha.

COSECHA

Cuando la espirulina está en buenas condiciones, separarla del agua ("recolección") es una operación fácil, pero cuando el cultivo envejece y se vuelve "pegajoso", la recolección puede convertirse en una pesadilla (ver § "Cuidado").

El mejor momento para la cosecha es temprano en la mañana por varias razones: - la temperatura fresca facilita el trabajo, - habrá más horas de sol disponibles para secar el producto, - el % de proteínas en la espirulina es más alto en la mañana.

Hay básicamente dos pasos en la cosecha:

- filtración para obtener una "biomasa" que contenga aproximadamente un 10 % de materia seca (1 litro = 100 g secos) y un 50 % de medio de cultivo residual, - eliminación del medio de cultivo residual para obtener la "espirulina fresca biomasa", lista para ser consumida o desecada, con un contenido aproximado de 20 % de materia seca y prácticamente sin medio de cultivo residual.

La filtración se puede lograr simplemente pasando el cultivo a través de una fina tejer telas, utilizando la gravedad como fuerza impulsora. La tela de fibra sintética (especialmente poliamida o poliéster) con un tamaño de malla de aproximadamente 30 a 50 micras es el medio filtrante preferido. Sostener la tela de filtración con una red acelerará un poco la filtración y protegerá la tela para que no se rompa, pero una bolsa simple hecha con la tela también funciona bien.

El filtro se puede instalar encima del estanque para reciclar directamente el filtrado.

El cultivo a recolectar debe pasarse por un tamiz (tamaño de malla de unas 200 micras) para eliminar cualquier materia extraña como insectos, larvas, hojas y grumos de polisacáridos o lodos del fondo del tanque.

Cuando la espirulina flota, lo que a menudo ocurre sin revolver, es eficiente sacar la "crema" con una cubeta de borde recto. Cosechar la capa flotante (generalmente más rica en espirulina en espiral) tenderá a aumentar el % de espirulina pura en el cultivo. La espirulina pura es más difícil de cosechar. Así que en realidad no se recomienda cosechar la capa flotante cuando hay espirulina tanto recta como en espiral.

La filtración se acelera moviendo o raspando suavemente la tela del filtro. Cuando la mayor parte del agua se ha filtrado, la biomasa a menudo se aglomerará en una "bola" bajo el movimiento, dejando la tela limpia (esta condición deseable ocurre principalmente cuando la biomasa es más rica en formas en espiral y el medio de cultivo está limpio).

De lo contrario, puede ser necesario rasparlo del paño.

La deshidratación final se realiza presionando la biomasa encerrada en una tela de filtración más una tela de algodón fuerte, ya sea a mano o en cualquier tipo de prensa. La más sencilla es aplicar presión (0,15 kg/cm² es suficiente) colocando una piedra pesada sobre la bolsa que contiene la biomasa. El "jugo" que se expulsa sale primero incoloro, luego se vuelve ligeramente verde y entonces se debe suspender la operación, de lo contrario se perderá demasiado producto. Para el grosor habitual de la torta (alrededor de una pulgada después del prensado), el tiempo de prensado es de unos 15 a 20 minutos. Prácticamente se elimina toda el agua intersticial (medio de cultivo), y los jugos internos de las células rotas pueden efectuar algún enjuague. El pH de la biomasa bien prensada está cerca de 7 (neutralidad).

Esta operación de prensado efectúa una separación más eficaz del medio de cultivo residual que el lavado de la biomasa con su peso de agua sobre el filtro.

El lavado con agua dulce puede provocar la ruptura de la pared celular de la espirulina debido al choque osmótico, lo que provoca la pérdida de productos valiosos; también puede introducir gérmenes contenidos en el agua de lavado. La biomasa lavada es más propensa a la fermentación que la biomasa prensada. La biomasa prensada contiene el doble de materia seca que la biomasa sin prensar, lo que reduce el tiempo de secado.

Cuando la biomasa es demasiado "pegajosa", por ejemplo filamentos 100% rectos, puede que no sea posible deshidratarla: en tal caso, debe lavarse.

ALIMENTANDO LA CULTURA

Los nutrientes extraídos del medio de cultivo por la biomasa cosechada deben reponerse para mantener la fertilidad del medio de cultivo.

El principal nutriente es el carbono, que es absorbido espontáneamente por el medio del aire, como dióxido de carbono (CO₂), siempre que el pH del medio sea superior a 10. Sin embargo, el aire contiene tan poco CO₂ que esta absorción es un proceso lento, correspondiente a una productividad máxima de 4 g de espirulina/día/m². Esta velocidad máxima se alcanza a un pH igual o superior a 10,5. Se puede introducir CO₂ adicional para aumentar la productividad. El gas CO₂ puro (de la fermentación o de un cilindro) se introduce en una tubería a través de la cual se bombea el cultivo y se devuelve al tanque.

Otro medio popular, aunque generalmente costoso, de alimentar carbón es el bicarbonato. Agregar bicarbonato es una manera fácil y eficiente de reducir el pH, pero aumenta la salinidad y alcalinidad del medio; para mantener la calidad del medio, es obligatorio drenar parte del medio de cultivo de vez en cuando y reemplazarlo por medio nuevo hecho de bicarbonato. La eliminación del medio drenado puede ser un problema medioambiental y el coste de los productos químicos consumidos puede resultar antieconómico.

La cantidad de gas o bicarbonato a alimentar se ajusta para controlar el pH en torno a 10,4. Un pH inferior a 10,2 puede provocar una sobreproducción de exopolisacáridos (EPS) indeseables. Una buena dosis práctica de alimentación de carbón es el equivalente al 40% de la espirulina producida (es decir, alrededor de 0,8 kg de CO₂ por kg de espirulina seca cosechada).

Aparte del carbono, la espirulina requiere los principales nutrientes biológicos habituales: N, P, K, S, Mg, Ca, Fe, además de una serie de micronutrientes. En muchos casos, los micronutrientes y el calcio no necesitan ser alimentados al cultivo, siendo suministrados como impurezas naturales contenidas en el agua de reposición y como impurezas en los químicos usados como alimento para la espirulina. En algunos lugares, el agua contiene un gran exceso de calcio, magnesio o hierro, que puede convertirse en una molestia al producir abundante lodo. En tal caso, se prefiere el pretratamiento del agua.

Los principales nutrientes se pueden suministrar de varias formas, preferiblemente en forma soluble. pero incluso los materiales insolubles se disolverán lentamente a medida que los iones correspondientes sean consumidos por la espirulina en el medio. La disponibilidad, la calidad y el costo son los criterios principales para seleccionar las fuentes de nutrientes, pero su contenido en micronutrientes valiosos también puede afectar la elección.

Si se utilizan productos químicos de grado fertilizante, deben ser del tipo "soluble" o "cristalizado", no del tipo granulado de "liberación lenta". Tenga cuidado con los contenidos en "metales pesados" (mercurio, cadmio, plomo y antimonio), ya que la espirulina los absorbe fácilmente y se deben cumplir especificaciones estrictas.

El nitrato natural de Chile, donde esté disponible, es una buena fuente de nitrógeno, no sólo sobre la base de su bajo costo, sino también porque contiene muchos valiosos

micronutrientes aparte del nitrógeno. Pero muy generalmente la fuente más barata de nitrógeno es la urea. La urea, compuesta de amoníaco y CO₂, es un nutriente excelente para la espirulina, pero su concentración en el medio debe mantenerse baja (por debajo de unos 50 mg/litro). El exceso de urea se convierte en nitratos o en amoníaco en el medio. Olor débil de amoníaco es una señal de que hay un exceso de nitrógeno, no necesariamente dañino, sin embargo, un olor fuerte indica una sobredosis.

Aquí hay una fórmula de alimentación conveniente en la mayoría de los lugares, por kg de espirulina cosechada (producto seco):

Urea	300g
Fosfato monoamónico*	50g
Sulfato de potasio	30g
(o 40 g si no se usa nitrato de potasio en el cultivo)	
Sulfato de magnesio**	30g
Lima	10g
Sulfato de hierro**	2,5g
Solución de micronutrientes***	5ml

* El ácido fosfórico líquido concentrado puede reemplazar al fosfato.

** El producto comercial habitual, cristalizado con 7 moléculas de agua (el sulfato de hierro bruto que se vende para tratar el césped no es adecuado)

*** Opcional pero útil para facilitar la recolección de la biomasa y también para reducir la necesidad de renovar el medio de cultivo; haga clic en [A26](#) para obtener las recetas, pero en [francés](#).

En caso de necesidad (situaciones de tipo "supervivencia"), todos los principales nutrientes y micronutrientes excepto el hierro pueden ser suministrados por la orina (de personas o animales en buen estado de salud, que no consumen drogas); añadir dosis diarias equivalentes a unos 15 a 20 litros/kg de espirulina producida. El hierro puede ser suministrado por una solución saturada de hierro en vinagre (utilice unos 100 ml/kg) mezclada con un poco de jugo de limón o ácido cítrico.

Los fertilizantes que no sean urea pueden administrarse cada mes más o menos, pero la urea (u orina) tiene para ser alimentado diariamente, preferiblemente en base a la producción promedio esperada.

CUIDANDO LA CULTURA

Aparte de la cosecha y la alimentación, un cultivo de espirulina requiere cierta atención para mantenerse en buenas condiciones.

La agitación es un requisito. Sin embargo, no se requiere agitación continua.

Un tercio de pleno sol saturará la capacidad fotosintética de la espirulina, pero no se requiere sombra excepto para reducir el consumo de agua (evaporación) o la temperatura (< 38°C) o el pH (< 11,3). La temperatura prácticamente nunca será

demasiado alto, pero el pH pronto puede volverse demasiado alto si no se suministra suficiente carbón.

La profundidad de cultivo debe mantenerse entre 10 y 20 cm. La evaporación debe compensarse añadiendo agua. Sin invernadero, las lluvias deben compensarse por evaporación o por drenaje de parte del medio (en este último caso, agregar los productos químicos correspondientes al volumen de medio drenado).

La acumulación de lodo en el fondo puede hacer que algunos floten debido a los gases de fermentación anaeróbica, y esto perturbará el proceso de cosecha. Por lo tanto, se recomienda remover la capa de lodo con una escoba de vez en cuando. Si se acumula demasiado lodo en el fondo del estanque, se puede eliminar bombeando o sifonando (preferiblemente mientras flota la espirulina, para reducir la pérdida). Agregue nuevo medio de cultivo para reemplazar el volumen eliminado. Por supuesto, otra forma de eliminar el lodo es transferir provisionalmente el cultivo a otro estanque y limpiar el fondo.

En las grandes granjas industriales de espirulina, la monitorización continua de los elementos contenidos en el medio de cultivo hace posible la composición exacta de micronutrientes individuales. Pero esto es demasiado costoso para los operadores de pequeña escala, que luego tienen que depender de la renovación del medio de cultivo más la adición de cantidades menores de una solución concentrada de micronutrientes como se mencionó anteriormente.

La producción excesiva de exopolisacáridos (EPS) por parte de la espirulina o su biodegradación demasiado lenta provocará una "pegajosidad" de la biomasa y/o una floculación de la espirulina en agregados indeseables. Para controlar esto, mantenga los contenidos de pH, nitrógeno y hierro en un nivel más alto en el medio de cultivo. El pH debe estar por encima de 10, preferiblemente por encima de 10,3. La renovación parcial o total del medio de cultivo también ayuda a remediar la "pegajosidad" de la biomasa.

La turbidez excesiva del filtrado puede reducirse ralentizando el crecimiento de la espirulina y/o manteniendo la agitación durante la noche. Esto se aplica también al lodo orgánico y al EPS. El cultivo es un ecosistema en el que viven en simbiosis varios microorganismos (bacterias útiles y zooplancton), lo que produce un efecto de limpieza continuo, pero lento, del medio. Si los contaminantes se producen más rápidamente de lo que este sistema de limpieza biológica puede absorber, será necesario renovar el medio para mantenerlo limpio. Se puede ralentizar el crecimiento mediante sombra o reduciendo la tasa de recolección.

Cuando está estresado por una variación repentina de pH o salinidad, por ejemplo, por una fuerte lluvia (más del 10% del volumen de cultivo), la espirulina puede hundirse hasta el fondo del estanque, donde correrá gran peligro de morir por asfixia. Para facilitar la recuperación, agite el fondo con frecuencia para que los filamentos de espirulina tengan más posibilidades de desenredarse del lodo.

El cultivo puede ser colonizado por depredadores que viven de la espirulina, como larvas de mosquitos y moscas Ephydra, o amebas. Según nuestra experiencia, estos invasores no causan más problemas que reducir un poco la productividad. A menudo se pueden controlar aumentando la salinidad, el pH o la temperatura, o desaparecen por sí solos.

después de algunas semanas, o debido a un cambio en el clima.

Si la concentración de espirulina es demasiado baja, el cultivo puede ser invadido por chlorella (un alga comestible unicelular). Afortunadamente, la chlorella pasa por el filtro durante la recolección: así puedes recolectar toda la espirulina, recuperar la biomasa húmeda, lavarla con algún medio de cultivo nuevo y usarla para reiniciar un tanque nuevo; El medio contaminado puede desecharse o esterilizarse. El mismo procedimiento debería aplicarse a las diatomeas.

Las microalgas tóxicas como anabaena, anabaenopsis arnoldii y microcystis rara vez crecen en un cultivo de espirulina bien cuidado, pero por motivos de seguridad se recomienda controlar el cultivo mediante un examen microscópico (con contraste de fase) y/o analizar las cianotoxinas una vez al año. Se puede utilizar un cultivo de artemias jóvenes para comprobar la ausencia de algas tóxicas: hervir un poco del cultivo de espirulina a comprobar (10% del cultivo de artemias) durante un minuto, enfriarlo y mezclarlo con el cultivo de artemias: observar la animales pequeños; si conservan su vitalidad durante al menos 6 horas, no hay algas tóxicas. Los huevos de Artemia son vendidos por tiendas acuariofílicas. En realidad, esta prueba de artemia no es muy segura.

Las bacterias patógenas habituales no sobreviven más de dos días al pH alto (> 9,7) de un cultivo de espirulina en producción; sin embargo, también se debe realizar un análisis microbiológico del producto al menos una vez al año. Las contaminaciones generalmente ocurren durante o después de la cosecha.

El color de la cultura debe ser verde intenso. Si se vuelve amarillento, puede ser por falta de nitrógeno o por exceso de luz (fotólisis) o de amoníaco (exceso de urea). En los últimos dos casos, la recuperación generalmente es posible dentro de dos semanas mientras se descansa y se da sombra al cultivo.

ALMACENAMIENTO DEL PRODUCTO

No hay duda de que la biomasa prensada recién cosechada es superior a cualquier otra forma de espirulina. Sin embargo, no durará más de unos pocos días en el refrigerador y no más de unas pocas horas a temperatura ambiente.

Agregar un 10% de sal es una forma de prolongar estos tiempos de conservación hasta varios meses, pero la apariencia y el sabor del producto cambian: el pigmento azul (ficocianina) se libera, el producto se vuelve fluido y el sabor es similar al de la pasta de anchoas.

La congelación rápida es una forma conveniente de mantener la espirulina fresca durante mucho tiempo.

El secado es la única forma comercial de almacenar y distribuir la espirulina. Si adecuadamente Envasada al vacío en bolsas de plástico termoselladas aluminizadas, la espirulina seca se considera buena para el consumo hasta cinco años. En ese tipo de almacenamiento, la mayoría de los microbios desaparecen. Pero el secado es un proceso costoso y generalmente transmite al producto un sabor y olor diferente y posiblemente desagradable, especialmente si el producto

se seca por aspersión a alta temperatura como es el caso en plantas industriales muy grandes.

SECADO (ver también Anexo A6)

El tipo industrial de secador de espirulina es el secador por aspersión que se seca rápidamente gotitas a muy alta temperatura y produce un polvo extremadamente fino de baja densidad aparente. Este tipo está fuera del alcance de los productores artesanales. También lo es la liofilización, la mejor manera de secar, pero demasiado costosa y complicada.

El secado al sol es el más popular entre los pequeños productores, pero requiere unos pocos precauciones. El secado al sol directo debe ser muy rápido, de lo contrario se destruirá la clorofila y el producto seco aparecerá azulado.

Cualquiera que sea la fuente de calor, la biomasa a secar debe ser lo suficientemente delgada para secarse antes de que comience a fermentar. Básicamente, se utilizan dos tipos de formas: capas delgadas de biomasa bastante fluida colocadas sobre una película de plástico y varillas ("espaguetis") colocadas sobre una bandeja perforada. En el primer caso, el aire fluye horizontalmente sobre la película, mientras que en el segundo, fluye horizontal o verticalmente a través de la bandeja. La forma de la barra es mejor ya que la evaporación puede tener lugar por todas partes; Las varillas se obtienen por extrusión a un diámetro de 1 a 2 mm. Pero las varillas deben ser lo suficientemente resistentes para mantener su forma, por lo que este tipo de secado se limita a las biomásas que se pueden deshidratar presionando hasta obtener una pasta de consistencia firme.

El aire caliente y seco que pasa sobre o a través de la biomasa a secar debe tener una alta velocidad al comienzo del proceso de secado. Más adelante en el proceso, la velocidad del aire es menos importante que su sequedad (por lo tanto, es habitual terminar con aire calentado a 68°C). La duración total del secado no debe exceder algunas horas, preferiblemente 2 horas.

Durante el proceso de secado, así como después, el producto debe protegerse contra la contaminación por polvo e insectos y no debe tocarse con las manos.

Idealmente, la temperatura de secado debería limitarse a 42 °C para evitar la destrucción de enzimas, vitaminas y ficociaína y, de todos modos, limitarse a 68 °C y el tiempo de secado a 7 horas.

La fermentación incipiente durante el secado se puede detectar oliendo tanto durante el proceso de secado como después. Sin embargo, es habitual que se desarrolle un olor bastante fuerte de la biomasa al comienzo del secado.

Las virutas o varillas secas generalmente se convierten en polvo mediante molienda para aumentar su densidad aparente. El mejor almacenamiento es en bolsas de plástico aluminizadas termoselladas .

CONSUMO

Aquellas personas que no pueden soportar el sabor y el olor de la espirulina probablemente alguna vez estuvieron expuestas a un producto de baja calidad. La espirulina fresca de buena calidad es tan suave que puede reemplazar la mantequilla en una tostada y puede enriquecer casi cualquier plato; Las bebidas frías se pueden preparar mezclándolas con jugos de frutas. La espirulina fresca es una pasta de fácil mezcla, dilución, extrusión, etc.

Hay literalmente miles de recetas posibles que utilizan espirulina, ya sea fresca, congelada o seca, cruda o cocida.

Por encima de 68°C, el hermoso color verde a menudo se vuelve marrón en presencia de agua. Para que pueda elegir su color preferido para sopas y salsas.

APÉNDICE

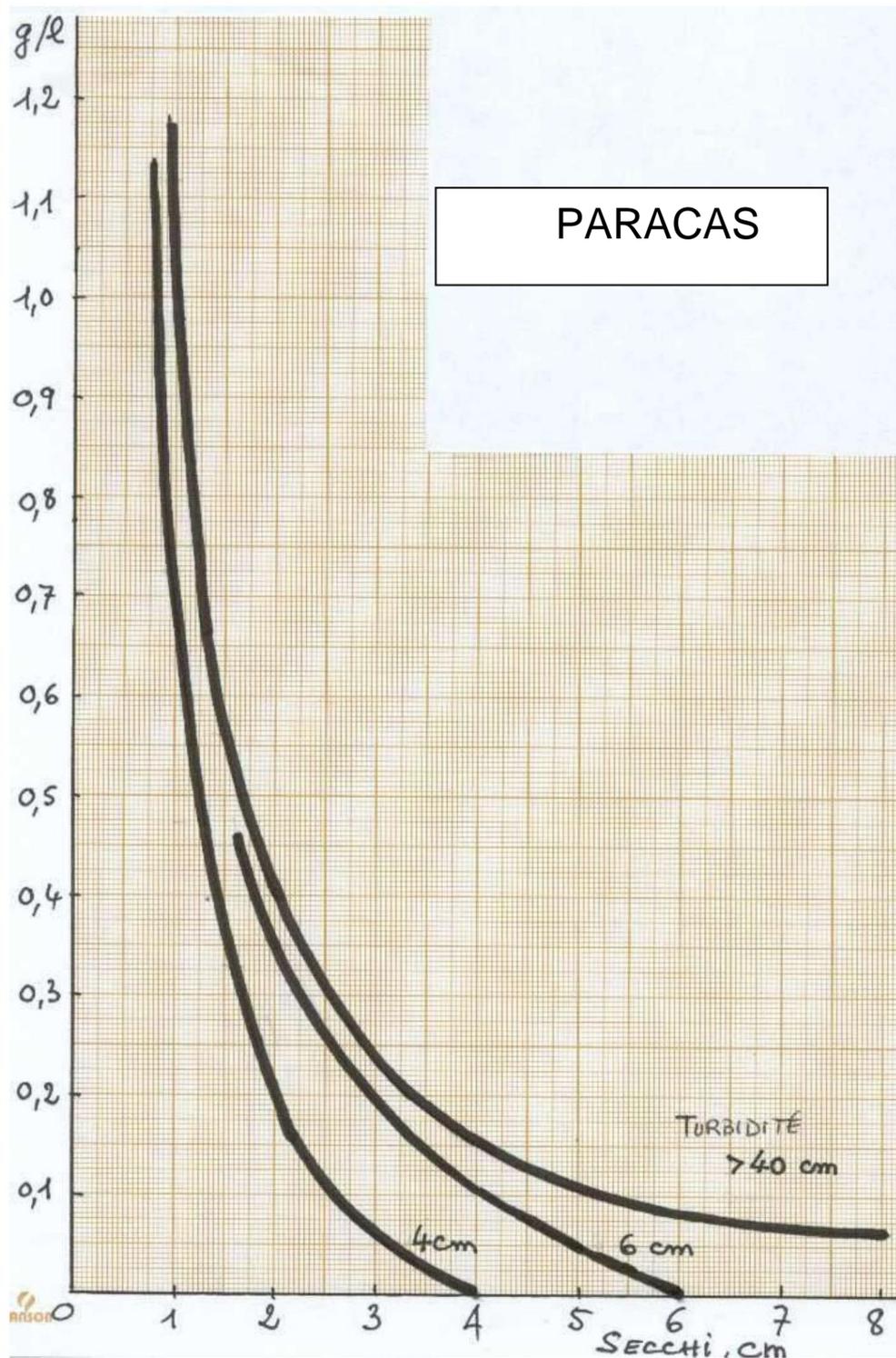
A1) MEDICIÓN DE LA CONCENTRACIÓN EN SPIRULINA CON EL DISCO SECCHI

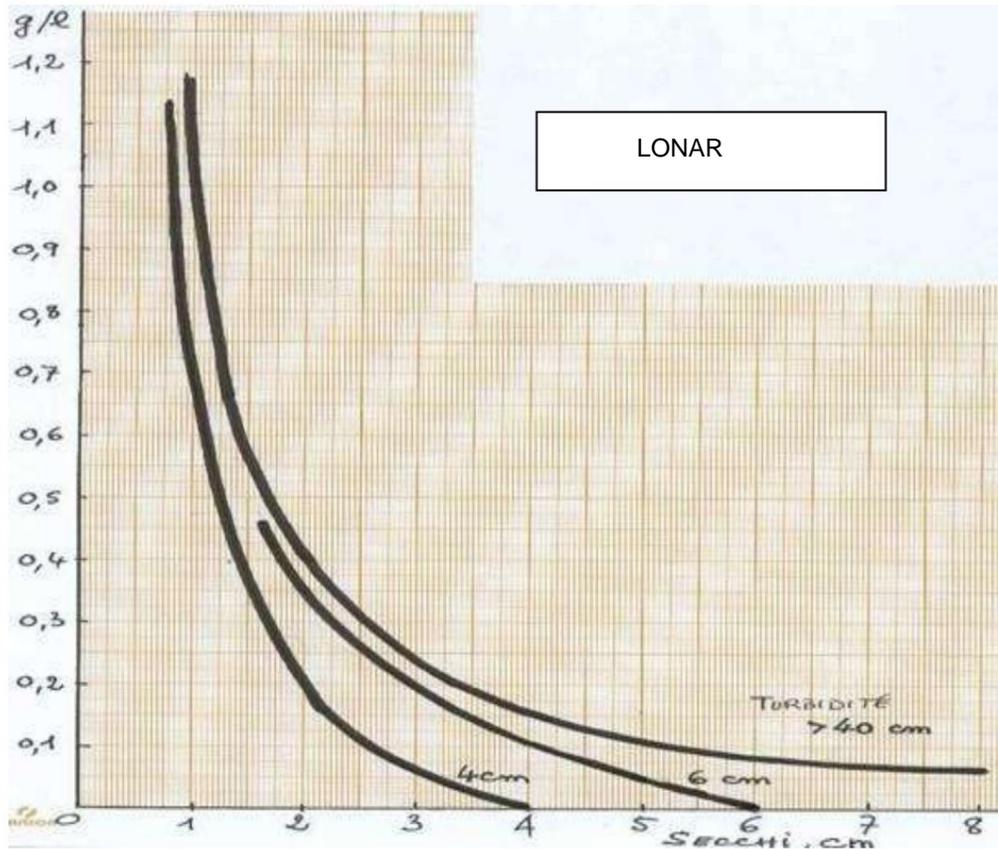
El "disco de Secchi" es un instrumento de fabricación propia: una pieza de plástico rígido blanco fijada en la punta de una varilla graduada. Sumérgalo verticalmente en el cultivo de espirulina hasta que no pueda ver la pieza blanca; la lectura en centímetros da un valor aproximado de la concentración. Si el propio medio (el filtrado) está turbio, utilice la curva adecuada (la turbidez del filtrado se puede medir con un disco Secchi negro y se expresa en cm de la misma manera que la concentración de espirulina).

Como la lectura depende del ojo del operador, cada uno debe hacer su propio gráfico, basado en medidas absolutas de la concentración (filtrando una determinada cantidad, secando en el horno y pesando).

La lectura también depende de la forma de los filamentos.

Los siguientes gráficos fueron establecidos por el autor para las cepas Lonar (enrollada) y Paracas (ligeramente enrollada, casi recta). Se pueden utilizar como aproximaciones.





A2) MEDICIÓN DE LA SALINIDAD DEL MEDIO DE CULTIVO

Utilice un densitómetro calibrado para densidades superiores a 1.

Corrección de temperatura:

$$D = DT + 0,000325 \times (T - 20)$$

Donde D = densidad a 20 °C, DT = densidad a T °C, expresada en kg/litro La salinidad

SAL se calcula a partir de D mediante las fórmulas:

Si $D > 1,0155$, $SAL = 1275 \times (D - 1) - 0,75$ g/litro De lo

contrario, $SAL = 1087 \times (D - 0,998)$

A3) MEDICIÓN DE LA ALCALINIDAD DEL MEDIO (ALCALIMETRÍA)

Titular el medio utilizando ácido clorhídrico normal (ácido concentrado diluido 10 veces con agua).

Utilice pH 4 como punto final.

La alcalinidad (moles de base fuerte/litro) es la relación entre el volumen de ácido utilizado para el volumen de la muestra de medio.

A4) MEDICIÓN DEL PH

El medidor de pH debe calibrarse de vez en cuando. Si la calibración estándar las soluciones no están disponibles, las soluciones hechas por usted mismo se pueden hacer para la calibración de la siguiente manera (pH a 25°C):

- pH 11,6: 10,6 g de carbonato de sodio por litro de agua (solución recién preparada o frasco cerrado) - pH 9,9: 5,5 g de bicarbonato de sodio + 1,4 g de soda cáustica por litro de agua, oro: 4,2

g de bicarbonato de sodio + 5,3 g de carbonato de sodio por litro de agua; mantener en contacto con la atmósfera y compensar el agua evaporada.

- pH 7: 5,8 g de fosfato monoamónico + 11 g de bicarbonato de sodio por litro de agua; mantener en una botella cerrada. - pH 2,8: vinagre estándar (6% de ácido acético, densidad 1,01).

Corrección de temperatura en pH:

$$\text{pH a } 25^{\circ}\text{C} = \text{pH a } T^{\circ}\text{C} + 0,00625 \times (T - 25)$$

A5) COMPARACIÓN DE MUESTRAS DE ESPIRULINA

Contenido de proteínas, hierro, ácido gamma-linolénico, metales pesados y la El análisis microbiológico solo puede ser realizado por un laboratorio competente, pero algunas pruebas caseras pueden dar una idea de la calidad de una muestra de espirulina comparándola con un producto de referencia.

El examen de color, olor y sabor puede revelar diferencias significativas entre muestras El color verde debe tender más hacia el azul que hacia el amarillo.

La "prueba de pH" revela el grado de eliminación del medio de cultivo de la biomasa. En espirulina fresca, simplemente mida el pH: si debe estar cerca de 7. Para polvo de espirulina seca, mezcle una suspensión al 4 % en agua del grifo y mida el pH: el pH inicial debe estar cerca de 7 (para muchos productos comerciales, está cerca de 9 o incluso 10), y después de 12 horas suele caer muy por debajo de 6. Para biomasas que se lavaron con agua acidificada, el pH inicial puede ser ácido (< 7).

Para ensayar el contenido de ficocianina del pigmento azul proceder como para la prueba de pH en muestras secas, mezclando varias veces la suspensión. Después de 12 horas, coloque una gota de la solución decantada en un papel de filtro blanco (por ejemplo, el papel de filtro "Mellita" para hacer café) mantenido horizontalmente. La cantidad de color azul en la mancha es más o menos proporcional a la concentración de ficocianina en la muestra. Algunas muestras de espirulina deben calentarse a 65 °C antes de que el pigmento azul se libere por completo en la solución. La ficocianina es una proteína que es el componente más importante de la espirulina para la salud; asciende a alrededor del 25% de las proteínas totales.

Para ensayar el contenido de carotenoides, mezclar la muestra de polvo seco con el doble de su peso de acetona (o de etanol al 90%) en un matraz cerrado, esperar 15 minutos y poner uno

gota de la solución decantada sobre papel filtro. La intensidad del color marrón amarillento de la mancha es proporcional a la concentración de carotenoides (y por lo tanto de betacaroteno) en la muestra. Las muestras antiguas almacenadas sin precauciones no contienen prácticamente carotenoides.

A6) COSECHA Y SECADO DE ESPIRULINA

La filtración se realiza sobre un paño de malla de 30 μ .

Cuando la mayor parte del agua se haya filtrado, la biomasa se aglomerará en una "bola" bajo el movimiento de la tela filtrante, dejando la tela limpia (esta condición deseable ocurre cuando la biomasa es más rica en formas en espiral y el medio de cultivo está limpio). En esta etapa la biomasa contiene 10% de materia seca y tiene una consistencia blanda; no se adherirá a los materiales plásticos sino que se deslizará sobre ellos.



La deshidratación final de la biomasa se logra presionando la biomasa encerrada en un trozo de tela de filtración, tipo de prensa. La más sencilla es aplicar presión (0,15 kg/cm² es suficiente) colocando una piedra pesada sobre la bolsa que contiene la biomasa. El "jugo" que se expulsa sale transparente e incoloro, pudiendo interrumpirse la operación cuando no salga más líquido. Para el grosor habitual de la torta (alrededor de una pulgada después del prensado), el tiempo de prensado es de unos 15 minutos. Se elimina prácticamente toda el agua intersticial (medio de cultivo). El pH de la biomasa prensada está cerca de 8 e incluso puede estar por debajo debido a la ruptura de algunas células de espirulina, pero no es recomendable bajarlo demasiado.



Esta operación de prensado produce una separación más eficiente del medio de cultivo residual que el lavado de la biomasa. El lavado con agua dulce puede provocar la ruptura de la pared celular de la espirulina debido al choque osmótico, lo que lleva a la pérdida de productos valiosos; también puede introducir gérmenes contenidos en el agua de lavado.

La biomasa prensada contiene el doble de materia seca que la biomasa sin prensar. Eso tiene una consistencia firme (se puede cortar con un cuchillo como el queso). Se puede comer tal cual.



La biomasa a secar debe ser lo suficientemente delgada para secarse antes de que empiece a fermentar. Se extruye en finas varillas ("espagueti") de un diámetro de 1 a 2 mm sobre una bandeja perforada de plástico (o mosquitera de nailon). Las varillas deben ser lo suficientemente resistentes para mantener su forma, por lo que este tipo de secado se limita a las biomásas que se pueden deshidratar presionando hasta obtener una consistencia firme. En India, el instrumento de cocina "indiappam makker" se puede utilizar para extrudir (se prefiere el tipo de madera al de aluminio).

Durante el proceso de secado, así como después, el producto debe protegerse contra la contaminación por polvo e insectos y debe

no ser tocado por las manos.

La temperatura de secado debe limitarse a 42 °C, pero se puede aumentar brevemente a 68 °C cerca del final; el tiempo de secado no debe ser más de 7 horas. Con buena ventilación y carga baja (1 kg de varillas frescas/m² de bandeja) el tiempo de secado puede reducirse a 2 horas. El % de agua final debe ser inferior a 9. El producto seco se desprende fácilmente de la bandeja.

La fermentación incipiente durante el secado se puede detectar oliendo durante el proceso de secado, así como después.

Las varillas secas generalmente se convierten en polvo mediante molienda para aumentar su densidad aparente. El mejor almacenamiento es al vacío en bolsas de plástico aluminizadas termoselladas.

A7) UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA EL CULTIVO DE SPIRULINA

[Esta sección trata sobre una versión antigua del modelo de simulación que ya no es compatible. Sin embargo, se deja aquí como una ilustración. El presente modelo se describe solo en la versión francesa.]

Instrucciones de uso del modelo de simulación

Los modelos presentados aquí están disponibles gratuitamente para usos no comerciales. Se pueden ejecutar en cualquier PC con DOS. Cree una nueva carpeta en su disco local (C) y asígnele el nombre SPIRUL. En SPIRUL cree 4 subcarpetas y asígneles el nombre SITIOS, PERSONAL, IMPRIMIR y EXE. Descargue [BSI.EXE](#), [METEO.EXE](#) en la carpeta llamada EXE y ejecute [METEO.EXE](#) una vez antes de usar los modelos. El modelo principal es [SPIRU-E.EXE](#). Los modelos se [pueden descargar](#) en EXE o se pueden ejecutar directamente desde su enlace (en este caso, ¿a la ruta de entrada de la pregunta?, responda C:/SPIRUL/EXE).

Si solicita una impresión de los resultados, vaya al archivo SPIRU-E.DOC generado automáticamente en la carpeta IMPRIM e imprímalo. Para imprimir gráficos, use Imprimir pantalla.

Otros modelos se pueden ejecutar de la misma manera: [SPITFIX.EXE](#) para simular cultivos de laboratorio a temperatura constante bajo luz constante, y [PRIXSPIR.EXE](#) (francés) para el cálculo de los precios de costo de la espirulina.]

[Parte de lo siguiente reproduce un documento presentado en la Primera Conferencia Tecnológica ALGAL Simposio, Universidad de Ege, Izmir, Turquía, 24-26 de octubre de 2001]

UN MODELO PRÁCTICO DE SIMULACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE ESPIRULINA

JOURDAN Jean-Paul, Le Castanet, 30140-Mialet, Francia

Resumen

Se escribió un modelo para simular el funcionamiento de un cultivo de espirulina (*Arthrospira platensis*) bajo invernadero o al aire libre. Se supone que la tasa de fotosíntesis es directamente proporcional a cinco funciones cuando la concentración de biomasa es superior a 0,1 g/l: fotosíntesis = $kx f(\text{luz}) x f(\text{temperatura}) x f(\text{pH}) x f(\text{agitación}) x f(\text{salinidad})$. Se supone que la tasa de respiración es una función de la temperatura. La iluminación solar se calcula a partir de la posición del sol y de los datos meteorológicos locales; se puede proporcionar una iluminación artificial. La temperatura de cultivo se calcula a partir de un balance térmico y el pH a partir de un balance de CO₂ alrededor del tanque. Los cálculos se realizan para cada hora por un período de hasta 600 días seguidos. Los resultados incluyen un gráfico de la producción diaria y un análisis de precio de coste. Para optimizar la producción, se pueden variar a voluntad alrededor de 80 parámetros técnicos, incluidos los medios de control de temperatura (techo de plástico doble inflable, circulación de aire, sombreado, cubierta nocturna, calefacción artificial). Hay varios combustibles disponibles para calefacción o como fuente de CO₂. El agua de reposición puede ser salina y/o alcalina. El medio de cultivo purificado se puede reciclar a un pH más bajo para aumentar el crecimiento.

El modelo parece predecir correctamente el funcionamiento de un cultivo de espirulina. Es útil para predecir tendencias, optimizar las condiciones de operación, hacer análisis técnicos y económicos y como ayuda tutorial.

Palabras clave : *Arthrospira platensis*, cultivo, simulación, modelo.

INTRODUCCIÓN

El software [SPIRU-E.EXE](#) que contiene el modelo matemático presentado aquí está disponible gratuitamente para usos no comerciales. El programa en sí contiene toda la información necesaria para
gastado.

El modelo se basa en datos de la literatura más datos obtenidos por el autor en el transcurso de diez años de experimentos con cultivo de espirulina (*Arthrospira platensis*). Hace uso de ecuaciones básicas de los campos de la energía solar y la ingeniería química. Se aplica a cualquier cultivo de espirulina en un tanque al aire libre o bajo un invernadero, en cualquier clima. También se aplica al caso de cultivos que fluyen en planos inclinados.

Además de los aspectos técnicos, el modelo también calcula un precio de costo simplificado para el producto.

MATERIALES Y MÉTODO

Partiendo de un conjunto dado de condiciones iniciales, el crecimiento de la espirulina se calcula cada hora para la duración deseada del cultivo (hasta 18 meses), como un cultivo por lotes o más bien como un cultivo semi por lotes debido a la cosecha. La base es un metro cuadrado de área de tanque iluminada.

La temperatura y el pH del cultivo se obtienen mediante balances de calor y CO₂ alrededor del tanque y son la base para el cálculo del crecimiento. La hipótesis principal en la que se basa el modelo es que se supone que la tasa de fotosíntesis es directamente proporcional a cinco funciones cuando la concentración de biomasa es superior a 0,1 g/l:

$$\text{fotosíntesis} = k \cdot f(\text{luz}) \cdot f(\text{temperatura}) \cdot f(\text{pH}) \cdot f(\text{salinidad}) \cdot f(\text{agitación})$$

con el factor de proporcionalidad k elegido para ajustarse mejor a los resultados experimentales. Esta hipótesis puede no estar justificada científicamente, pero simplifica mucho el cálculo y da resultados aceptables. Esta ecuación supone que la fotosíntesis no está limitada por otros nutrientes que no sean bicarbonatos y que es independiente de la concentración de espirulina (lo cual es en gran medida cierto ya que la concentración de biomasa se mantiene por encima de 0,15 g/litro). Las funciones de luz, temperatura, pH y salinidad se basan en Zarrouk 1966, adaptadas para ajustarse mejor a los resultados experimentales cuando sea necesario. higos. 1 a 5 ([Fig. 1](#) , [Fig. 2](#) , [Fig. 4](#) , [Fig. 5](#)) muestran estas funciones tal como se utilizan en el modelo. La función de la tasa de agitación es en gran parte hipotética (nota: la agitación y la agitación serán consistentes en este documento).

Para concentraciones de biomasa inferiores a 0,1 g/l la fotosíntesis es exponencial y se calcula multiplicando la ecuación anterior por el factor (concentración/0,01).

El crecimiento neto se calcula como la diferencia entre la fotosíntesis y la respiración. La supuesta influencia de la temperatura en la tasa de respiración se ilustra en la [figura 6](#), basada en Tomaselli *et al.*, 1987 y [Cornet](#) 1992, para cultivos homogéneos mantenidos en contacto con el aire.

La temperatura del aire ambiente y la radiación solar se calculan cada hora a partir de datos meteorológicos, latitud y altitud del sitio, con fórmulas comúnmente utilizadas en el campo de la energía solar. Se supone que el porcentaje promedio de nubosidad se concentra cada mes en tres series de días distribuidos uniformemente dentro del mes, que son los días lluviosos del mes. Se asume que el punto de rocío y la velocidad del viento son constantes dentro de cada mes.

Los invernaderos utilizados pueden estar equipados con varios dispositivos para controlar sus climas internos: techo inflable de plástico doble, ventilación ajustable, sombreado ajustable, sombreado fijo, reflectores infrarrojos (pantalla nocturna) y aislamiento nocturno. Hay disponibles varias opciones adicionales para invernaderos en climas fríos, que incluyen calefacción por combustión de combustible, aislamiento nocturno e iluminación artificial.

Las pantallas nocturnas y de sombreado ajustables y/o fijas también se pueden montar en tanques de aire abiertos.

La recolección se realiza todos los días (excepto de 0 a 3 días seguidos sin recolección por semana) en un momento determinado del día, lo que reduce la concentración de espirulina a un valor fijo dado, pero está limitada por la capacidad de recolección. No hay cosecha mientras el pH esté por debajo de un límite (generalmente 9,6) para minimizar los gérmenes patógenos. Al final del período de cultivo un

la cosecha final reduce la concentración hasta el valor inicial. La productividad promedio se basa en la duración total del período de cultivo desde la inoculación hasta el reinicio de un nuevo cultivo, incluidos los días de inactividad.

El pH del cultivo se controla mediante la alimentación diaria de CO₂ o compuestos que generan CO₂ (bicarbonato, azúcar) o (para invernaderos) gases de combustión que contienen CO₂. El CO₂ aportado por la urea y por el aire de ventilación se tiene en cuenta en el balance de carbono.

El coeficiente de absorción de CO₂ del aire en el medio de cultivo se determinó experimentalmente en 20 gmoles/hr/m²/atm; esta cifra se puede cambiar (en los siguientes ejemplos se tomó una cifra de 18). La presión de vapor de CO₂ sobre el medio se calcula utilizando la fórmula dada en Kohl y Riesenfeld 1960. La tasa resultante de absorción de CO₂ del aire se ilustra en la Fig. 7. El gráfico determinado experimentalmente en la figura 8 se usa para relacionar la cantidad de CO₂ contenida en el medio con el pH del medio. El consumo de CO₂ asumido en los ejemplos que se dan a continuación es de 1,8 gramos por gramo de espirulina cultivada, pero el modelo permite ajustarlo para tener en cuenta las variaciones en el exopolisacárido y otros subproductos según la cepa y las condiciones de cultivo.

Se permite que el nivel del tanque fluctúe entre un valor mínimo y máximo, y se controla drenando parte del medio o agregando agua (más las sales necesarias para mantener la calidad del medio) según las necesidades. Se tienen en cuenta la salinidad y la alcalinidad del agua de reposición, pero se desprecia su dureza. La salinidad y la basicidad del medio se controlan por debajo de valores máximos dados reemplazando parte del medio por agua (más las sales requeridas).

El medio de cultivo purificado de pH bajo se puede reciclar sin cambios en la basicidad, la salinidad, el nivel ni la temperatura en el tanque.

El precio de costo calculado por el modelo se basa en las siguientes fórmulas para el uso de productos químicos:

	<u>Medium,</u>	<u>Production,</u>
	<u>g/liter*</u>	<u>g/kg**</u>
Monoammonium phosphate	0.08	50
Dipotassium sulfate	1.00	40
Epsom salt	0.16	30
Urea	0.02	300

(*plus the required sodium bicarbonate, carbonate and chloride corresponding to the initial basicity, pH and salinity)

(plus the required amounts of C containing compounds).**

El precio de costo también incluye una contribución de costos fijos ajustable.

El modelo no tiene en cuenta el coste del tratamiento del medio de cultivo gastado, pero

permite el reciclaje del medio tratado.

RESULTADOS

Se eligió el sitio de Izmir, Turquía, para dar una serie de ejemplos de resultados obtenidos utilizando el modelo con 6 días de cosecha por semana. Para facilitar la comparación de los diversos casos, se utilizó el mismo conjunto de datos en todos los casos, excepto los parámetros. siendo variada. En todos los casos se utiliza un invernadero del tipo más sencillo, sin doble techo hinchable, sin sombra, sin aislamiento nocturno ni pantalla nocturna, pero con ventilación regulable. La duración estándar elegida para el cultivo es de un año. Las tablas 1 y 2 ([Tabla 1](#) , [Tabla 2](#)) muestran la impresión de los datos estándar utilizados.

Los resultados diarios de cada simulación aparecen como un gráfico ([Fig. 9](#)) y como [una tabla](#) (que no se muestra aquí), mientras que los resultados promedio durante el período de cultivo aparecen como una tabla ([Tabla 3](#)).

La búsqueda del precio de coste mínimo o de la producción máxima se realiza mediante parámetros variables.

[La figura 10](#) muestra la relación entre el consumo de bicarbonato (utilizado como único agente controlador de pH) y la productividad cuando se usa el tipo de invernadero más simple (caso estándar para los ejemplos que se dan aquí) y cuando se usa un invernadero moderno totalmente equipado. Con un pH bajo, el invernadero más simple es un 25 % mejor que sin ningún invernadero.

[La Fig. 11 muestra](#) los resultados típicos obtenidos al variar el valor de control del pH mientras se usa bicarbonato como único agente de control del pH y [la Fig. 12 muestra lo mismo](#) usando CO₂ líquido. El pH óptimo obviamente depende del costo de la fuente de carbono.

[La figura 13](#) muestra la influencia negativa de altas concentraciones de biomasa sobre la productividad, debido al efecto de la respiración.

[La figura 14](#) muestra la influencia negativa de una gran profundidad de cultivo sobre la productividad, debido tanto a la reducción de la temperatura máxima como a una mayor respiración.

[La figura 15](#) muestra la influencia mínima que tiene la tasa de circulación de aire en la productividad. Cuando se utiliza una fuente de carbono artificial, la influencia es negativa debido a las temperaturas más bajas. Sin una fuente de carbono artificial, se vuelve positivo debido a que hay más CO₂ disponible en el aire, pero sigue siendo insignificante.

[La figura 16](#) muestra la influencia de la salinidad del agua de reposición en la productividad.

[La figura 17](#) ofrece un ejemplo en el que el combustible de propano es la única fuente de carbono artificial. El precio de costo puede ser bastante bajo siempre que la tasa de circulación de aire se mantenga mínima.

Otro uso del modelo es evaluar la penalización económica debido a períodos más cortos entre cambios de medio de cultivo. Para tres cambios al año en lugar de uno, la penalización resulta ser del 4% sobre la productividad y solo del 1% sobre el precio de costo en el ejemplo que se presenta aquí. Así, como un cultivo nuevo es más fácil de cosechar, es recomendable renovar el medio varias veces al año.

DISCUSIÓN

A pesar de tener en cuenta alrededor de ochenta parámetros, el modelo está lejos de comprender la totalidad de los factores, principalmente biológicos, que influyen en el crecimiento y la calidad de la espirulina producida en condiciones artificiales.

Aunque los resultados del modelo se ajustan bien a los datos reales en general, el modelo aún no se ha validado por completo. Sería extremadamente deseable comparar una serie de resultados calculados y observados, pero para que tales comparaciones sean válidas, los datos utilizados deben coincidir estrechamente con las condiciones experimentales. Una coincidencia tan cercana en realidad está más allá del alcance de este trabajo, pero podría constituir temas de tesis interesantes para los estudiantes. Se sugiere que las comparaciones con los resultados reales se comuniquen al autor para una mayor validación o modificación del modelo. Los estudios de laboratorio a menudo se realizan como cultivos por lotes bajo iluminación constante doce horas al día. Se desarrolló una variante del modelo para facilitar la validación a partir de dichos estudios de laboratorio.

Tal como está, este modelo puede ser útil para predecir tendencias, optimizar las condiciones de operación, realizar análisis técnicos y económicos, y como ayuda para la enseñanza.

REFERENCIAS

Cornet JF 1992. Estudio cinético y energético de un fotobiorreactor (en francés), Tesis, Universidad de París-Orsay

Kohl AL y Riesenfeld FC 1960. Purificación de gas, McGraw-Hill Book Co.

Tomaselli L., Giovanetti L., Pushparaj B. y Torzillo G. 1987. Biotecnologías para la producción de espirulina (en italiano), IPRA, Monografía 17.

Zarrouk C. 1966. Contribución al estudio de una cianofícea: influencia de varios factores físicos y químicos en el crecimiento y la fotosíntesis de *Spirulina maxima* (en francés), Tesis, Universidad de París

TABLAS Y FIGURAS

[Nota: en este documento, se supuso que el coeficiente de absorción de CO₂, k_a , era de 18 gmole/hora/m²/atm]

SIMULATION OF PRODUCTION OF SPIRULINA BY PROGRAMM SPIRU-E
IZMIR Date : 10-11-2001

HYPOTHESES

Notice : if variables were modified during the simulation,
 these modifications are reproduced here

1. bicar added = 150	2. CO2 added= 0	3. sugar added = 0
4. depth = 10	5. thermal equiv. = 5	6. days = 360
7. no carbon days = 5	8. inter days = 5	9. pH control = 10.2
10. initial c = 1	11. harvest cap. = 20	12. wind coeff. = 1
13. shad. coeff. = .3	14. night cover = 0	15. max temp. = 41
16. initial b = .1	17. max. b = .2	18. fixed salts = 5
19. max. sal. = 20	20. water tds = 0	21. ventilation = 2
22. vent. coeff = 1	23. fuel type = 2	24. biogas % CO2 = 0
25. fuel flow rate = 0	26. electr. gener. = 0	27. heat used = 100
28. gases used = 100	29. insulation = 0	30. insul. coeff = 1
31. double roof = 0	32. lamps = 0	33. lamps control = 0
34. lamps heat = 0	35. % drainage = 10	36. initial day = 15
37. initial mo. = 1	38. CO2 outside = 340	39. yield = 90
40. spir. conc. = .3	41. harv. time = 8	42. stirring rate = 20
43. adjust. coeff = 1	44. kg CO2/kg spi = 1.8	45. interest rate = 0
46. azimuth = 0	47. slope = 0	48. altitude = 120
49. latitude = 39.2	50. fixed shad. = 0	51. Reference = IZMIR
74. b (eau) = 0	75. pH (eau) = 0	76. klux max @ 10°C = 30
Prices, \$/kg (except otherwise mentioned)		
60. carbonate = .8	61. bicarbonate = .8	62. salt (NaCl) = .17
63. urea = .17	64. liquid CO2 = 1	65. sugar = .7
66. sulfate (Mg) = 3	67. sulfate (K) = 3	68. phosphate = 3
69. water = .1	70. kWh = .13	71. fixed costs = 15

Table 1 Example of input data

WHEATHER DATA for IZMIR
 (Average monthly values)

Month	Temp max	Temp min	Dew point	% cloud	Wind	Haze	Rain
1	11.1	3.3	3.3	18.7	2	.26	87
2	12.2	4.4	4.4	20.7	2	.26	72
3	15	6.1	6.1	15.3	2	.26	63
4	20.5	9.4	9.4	8.8	2	.26	38
5	25.5	13.3	13.3	8.5	2	.26	29
6	30.5	17.7	17.7	3.3	2	.26	12
7	33.3	20	20	0	2	.26	0
8	32.7	19.4	19.4	3.2	2	.26	8
9	28.8	15.5	15.5	6.7	2	.26	21
10	24.4	12.2	12.2	6.5	2	.26	20
11	18.8	9.4	9.4	13.2	2	.26	52
12	14.4	7.2	7.2	22.9	2	.26	110

Note : Temperatures in deg C

Wind = velocity in meters/second

Haze scale : 0.5 = very polluted, 0.26 = normal

0.17 = very clear

Rain = rainfall in liters/sq.m./month

Gráfico 2 Ejemplo de datos meteorológicos

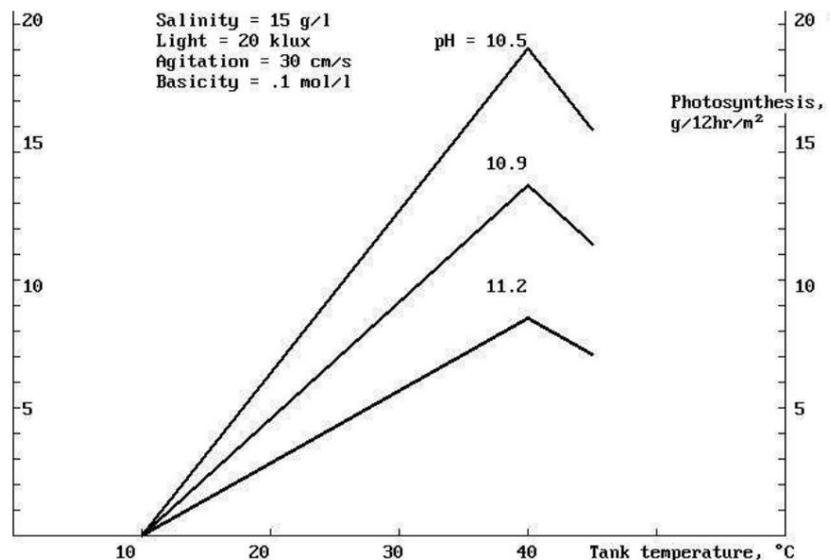
RESULTADOS

Nutrientes, kg/kg de espirulina cosechada:

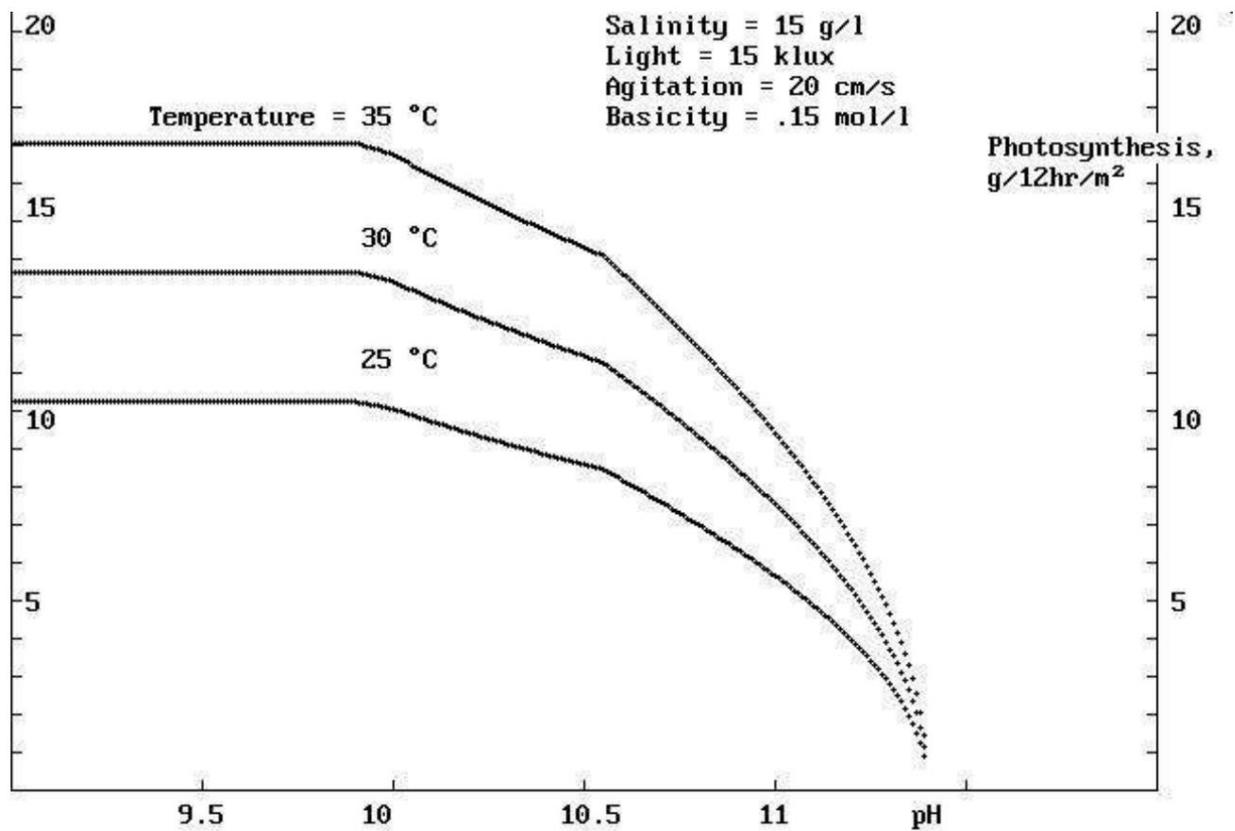
bicarbonato (incluido medio inicial y drenajes): 9,17 bicarbonato (excluyendo medio inicial): 8,85 carbonato = 0,00 azúcar: 0,00 CO₂ líquido: 0,00 Consumo de agua (incluido medio, drenajes, evaporación), l/kg = 710

Precipitación total en área igual al área del tanque, l/kg = 192 Drenajes, promedio %/día = 3,35 Consumo de combustible, kg/kg = 0,00 Electricidad excedente (vendida), kWh/kg = -3,8 Consumo de electricidad por lámparas, kWh/kg = 0,0 Consumo eléctrico por agitación, kWh/kg = Concentración final en espirulina, g/l = 0,3 Salinidad final del medio, g/l = 17,4 Basicidad final del medio, mol/l = 0,20 (antes de días sin alimentación de carbón) = 10,32 Temperatura máxima del tanque, °C = 38,2 Temperatura mínima del tanque, °C = 4,4 Concentración máxima de CO₂ en el aire interno, vpm = 398 Concentración mínima de CO₂ en el aire interno, vpm = 302 Nivel máximo en el tanque, cm = 10,0 PRODUCTIVIDAD, gramo por día por m² = 6,79 PRODUCCIÓN, kg por m² = 2,48 PRECIO DE COSTE (valor actual en el día 1), \$/kg = 16,86

Tabla 3 Ejemplo de resultados



yo G. 1 Fotosíntesis vs. la temperatura



Higo. 2 Fotosíntesis vs. pH

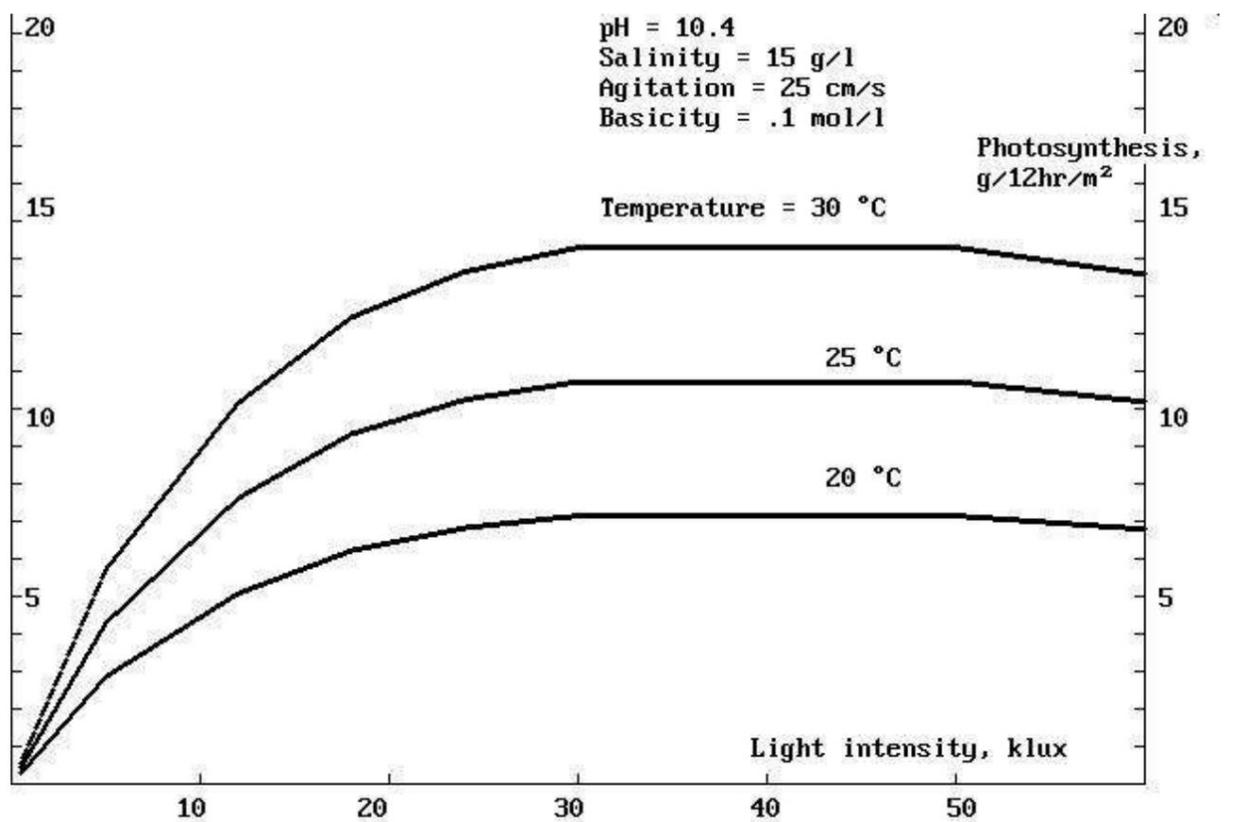


Fig.3 Fotosíntesis vs. intensidad de luz

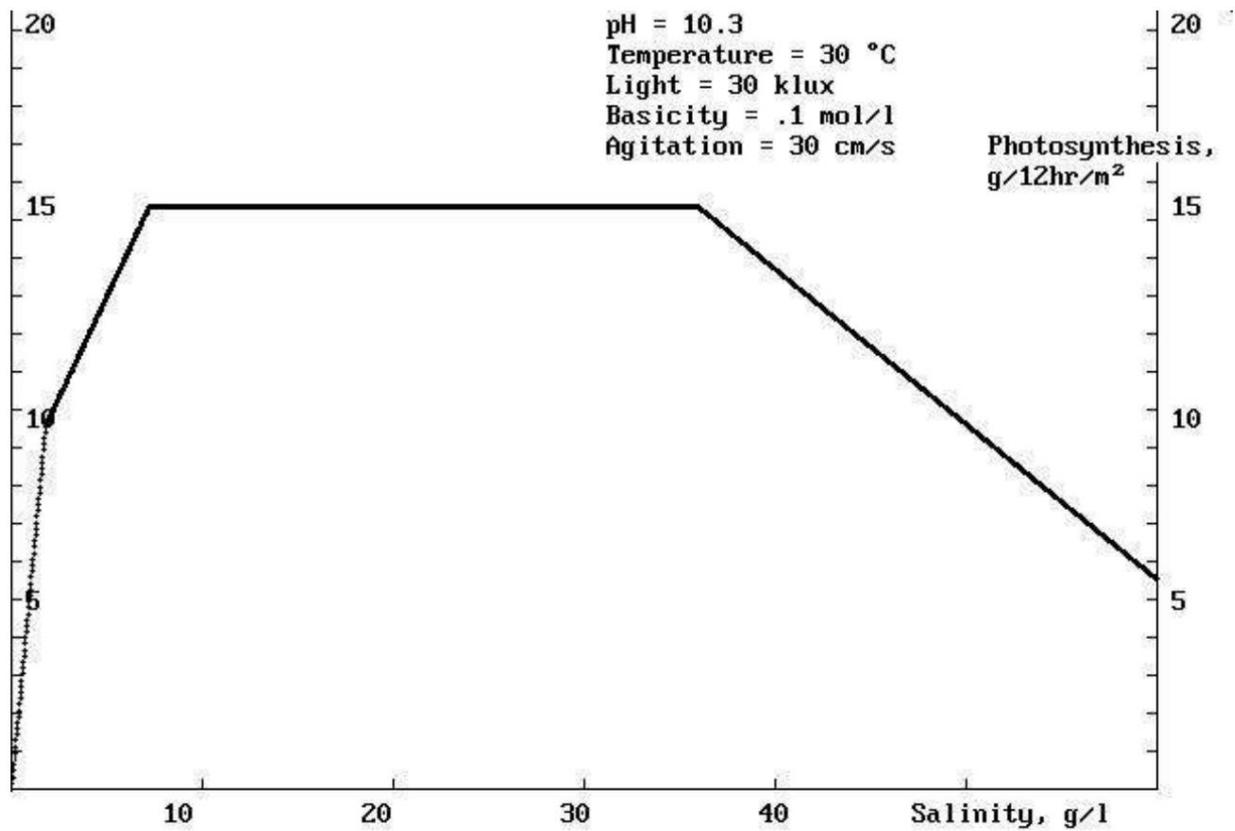
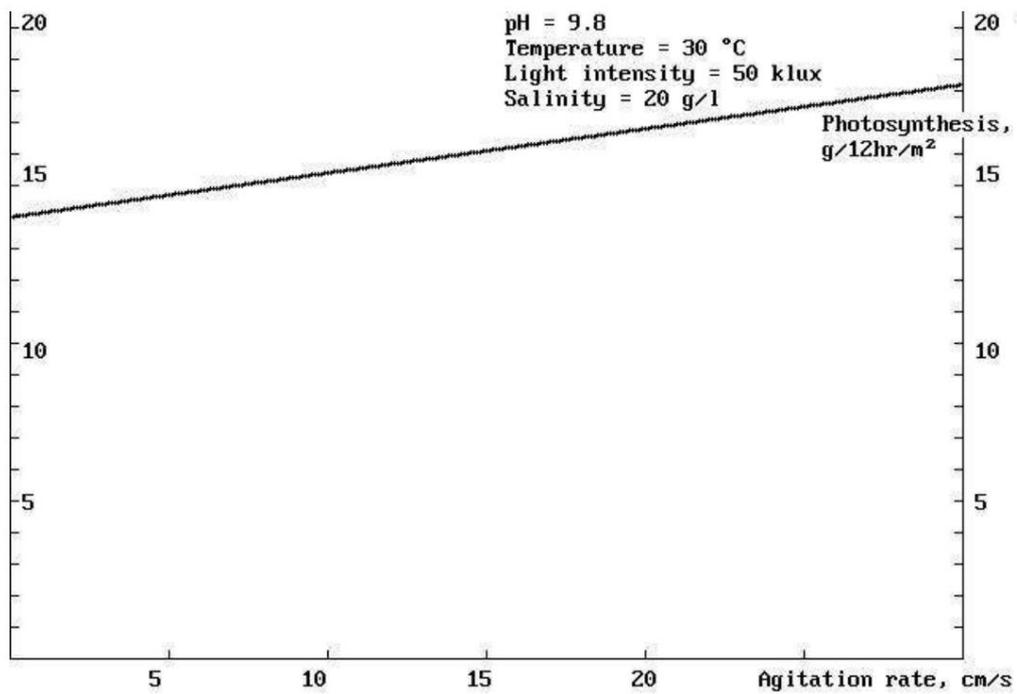
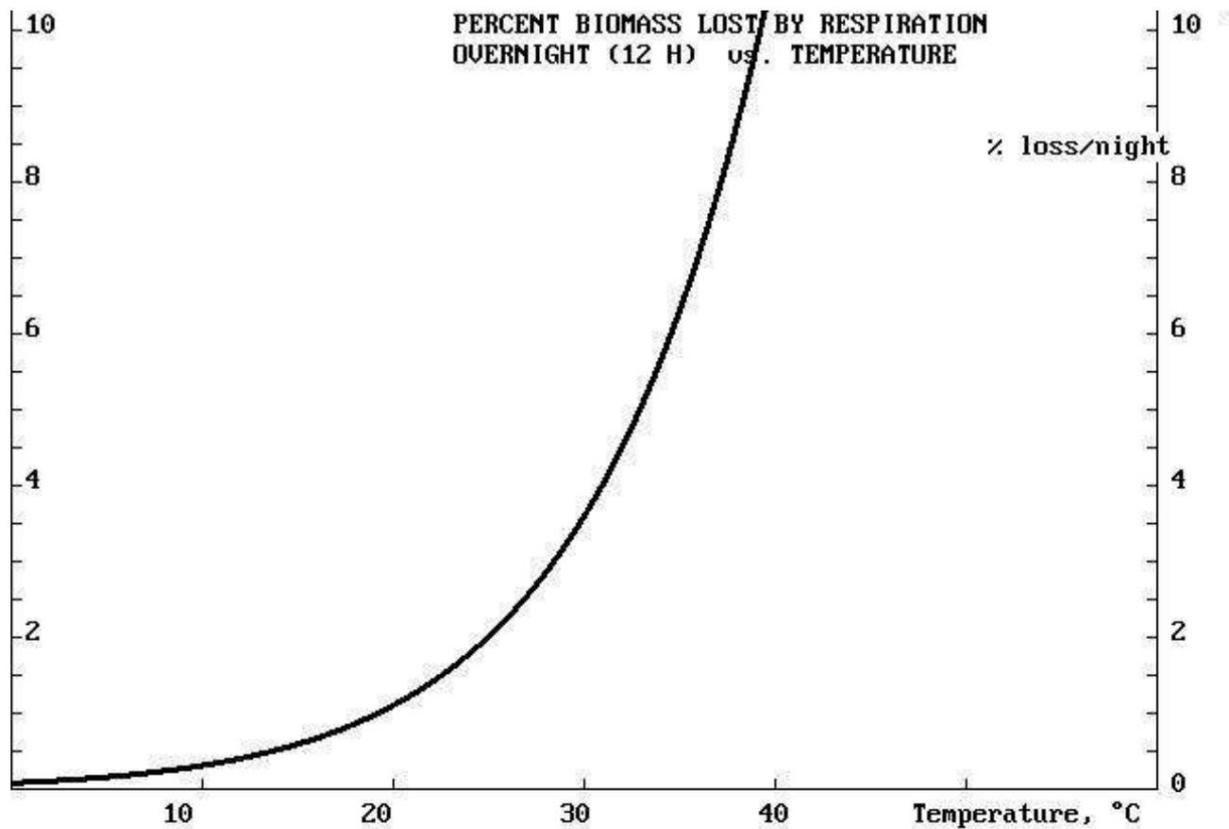


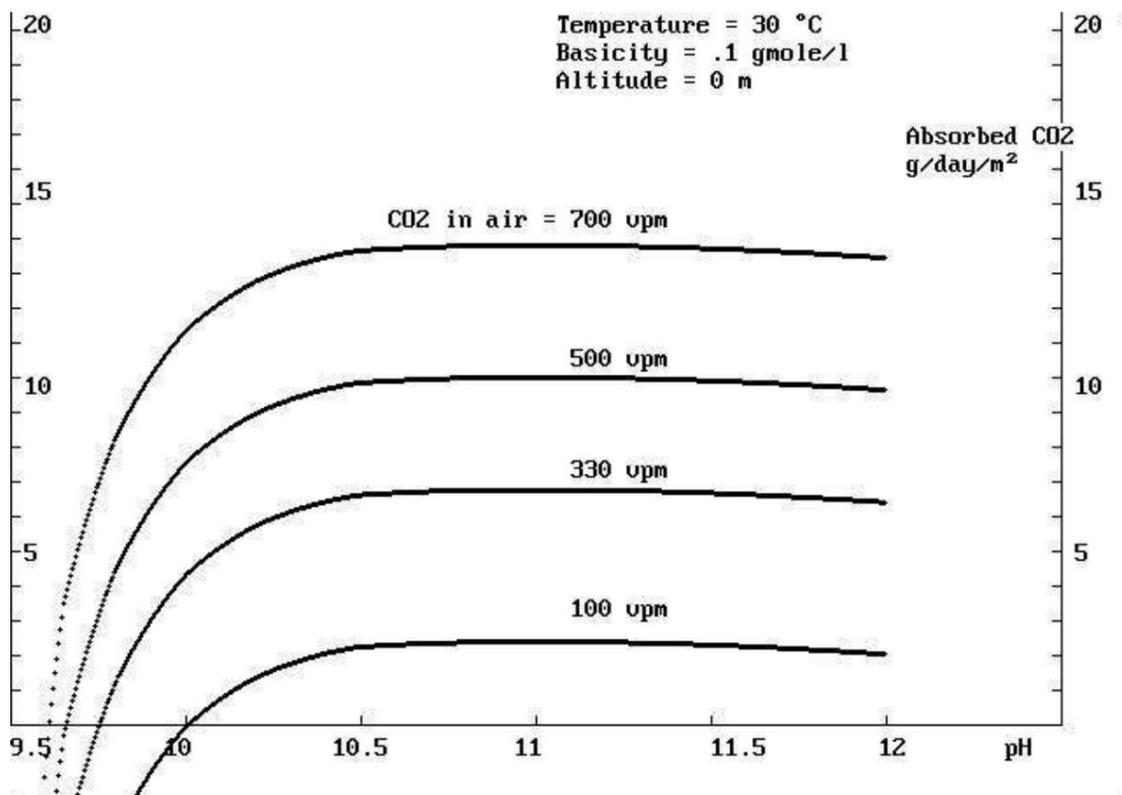
Fig.4 Fotosíntesis vs. salinidad



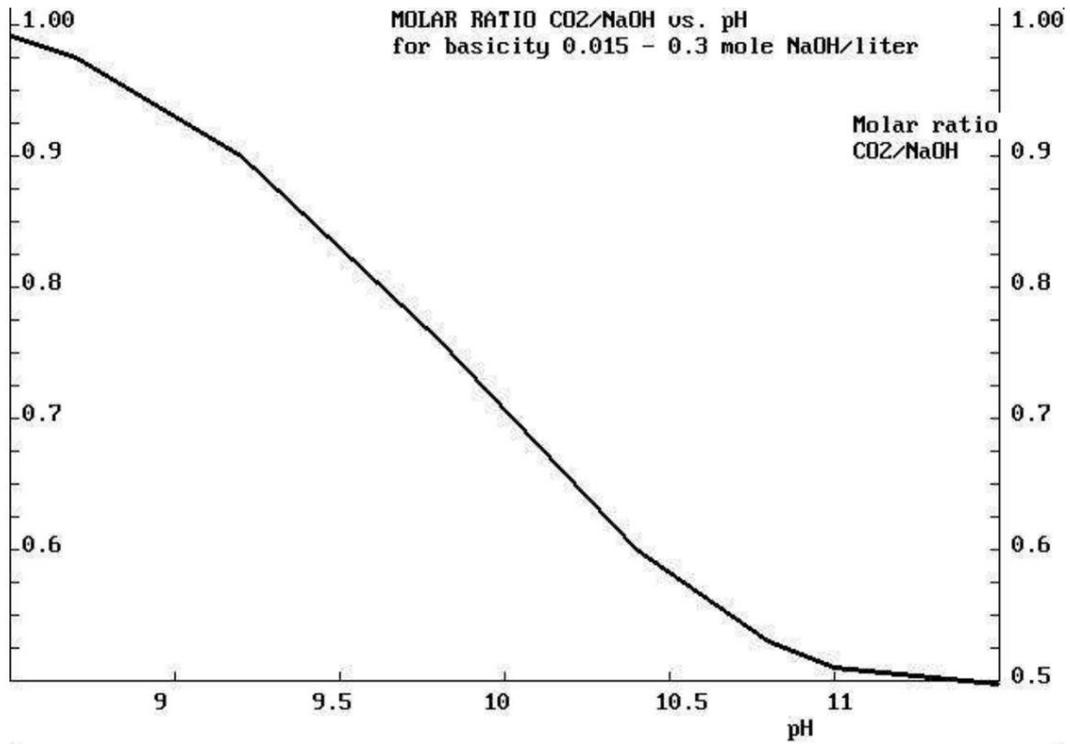
Higo. 5 Fotosíntesis vs. velocidad de agitación



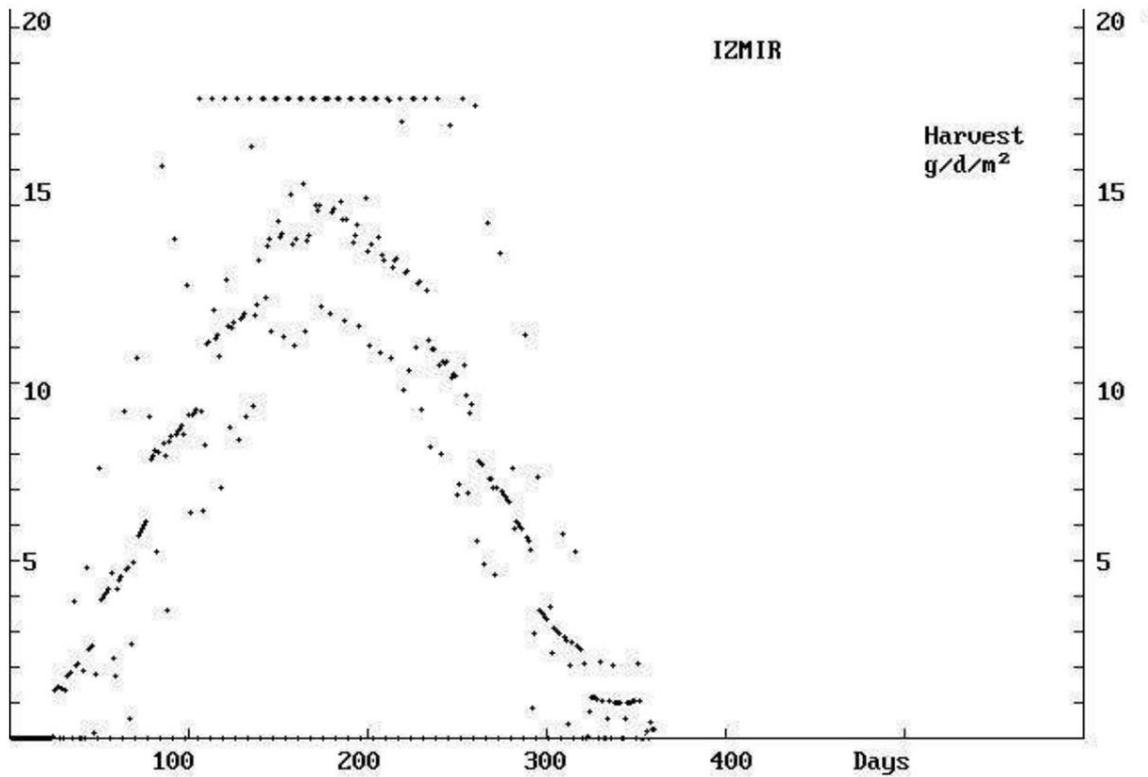
Higo. 6 Respiración bajo vs. la temperatura



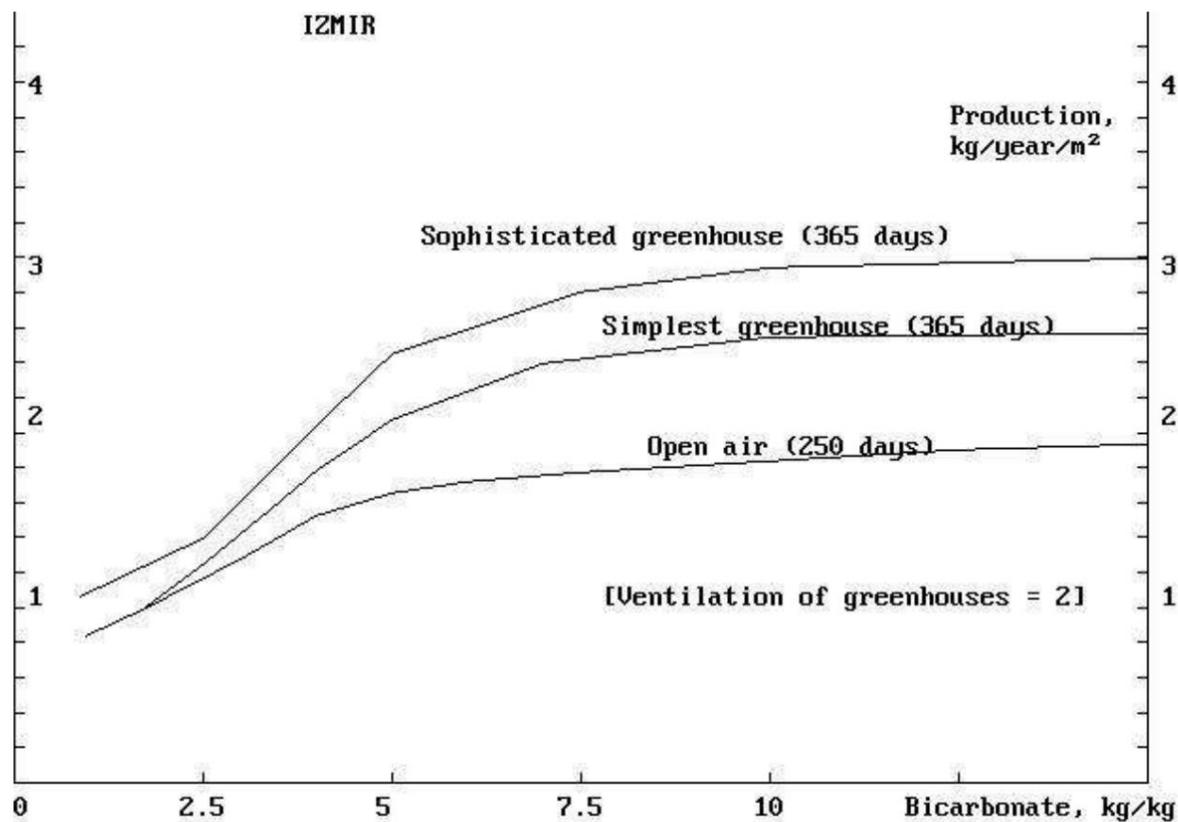
Higo. 7 Consumo de CO2 vs. pH



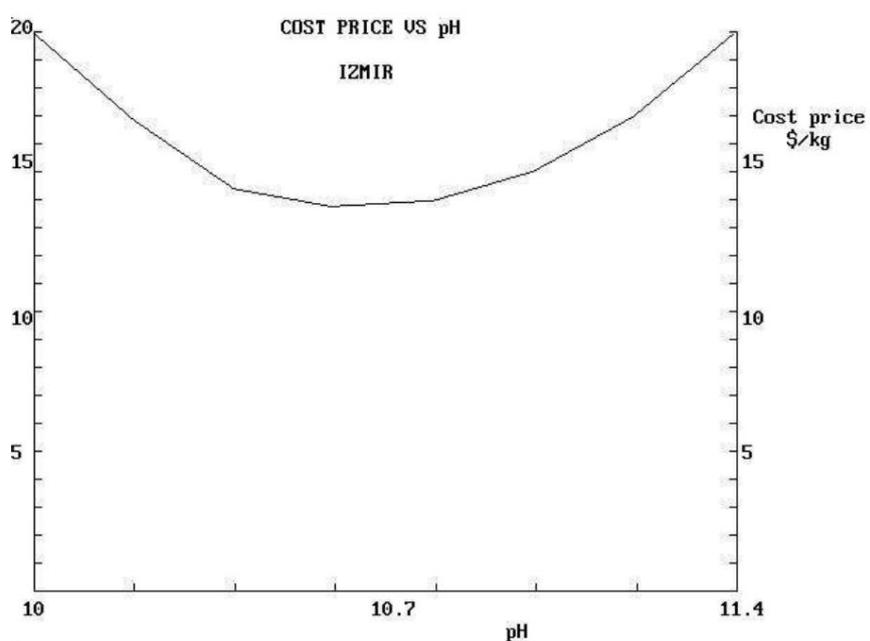
Higo. 8 CO₂/relación molar básica vs. pH



Higo. 9 Producción diaria



Higo. 10 Producción vs. consumo de bicarbonato



Higo. 11 Precio de costo vs. pH con bicarbonato (@ 0,8 \$/kg)

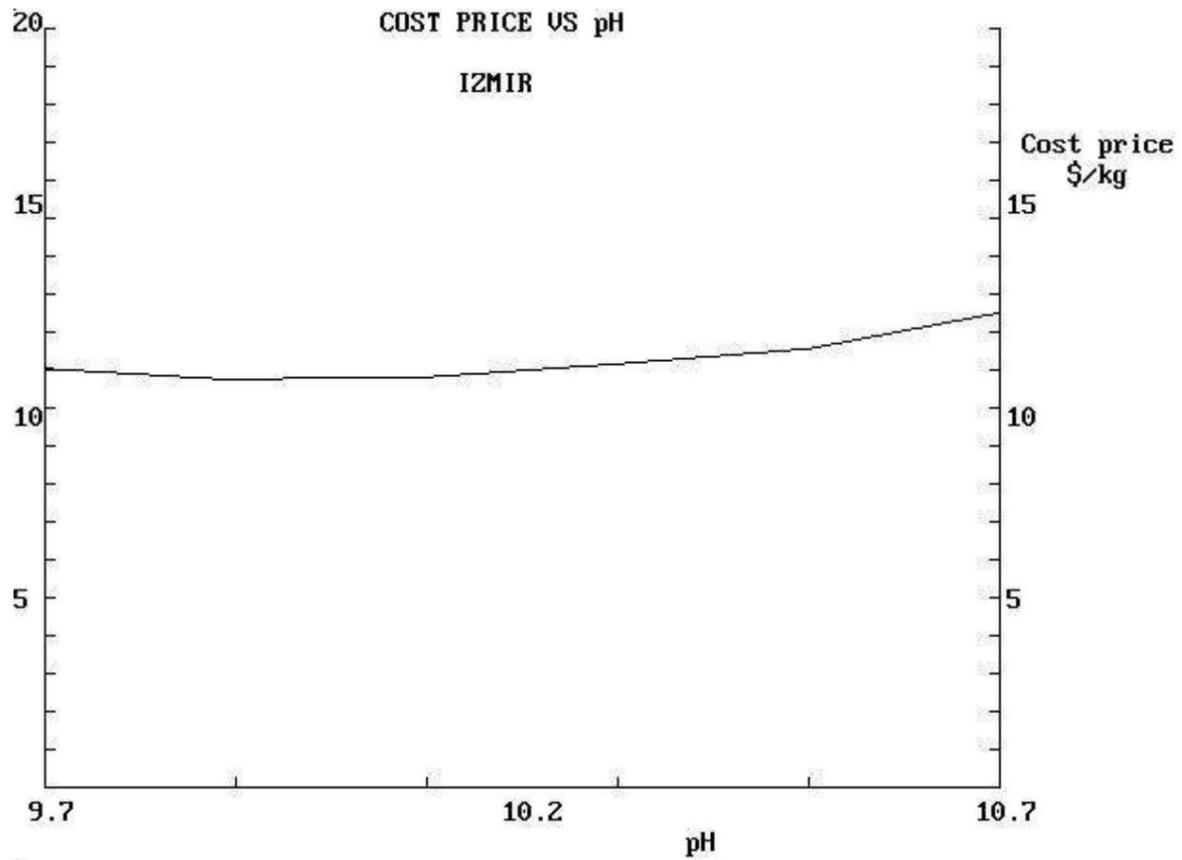
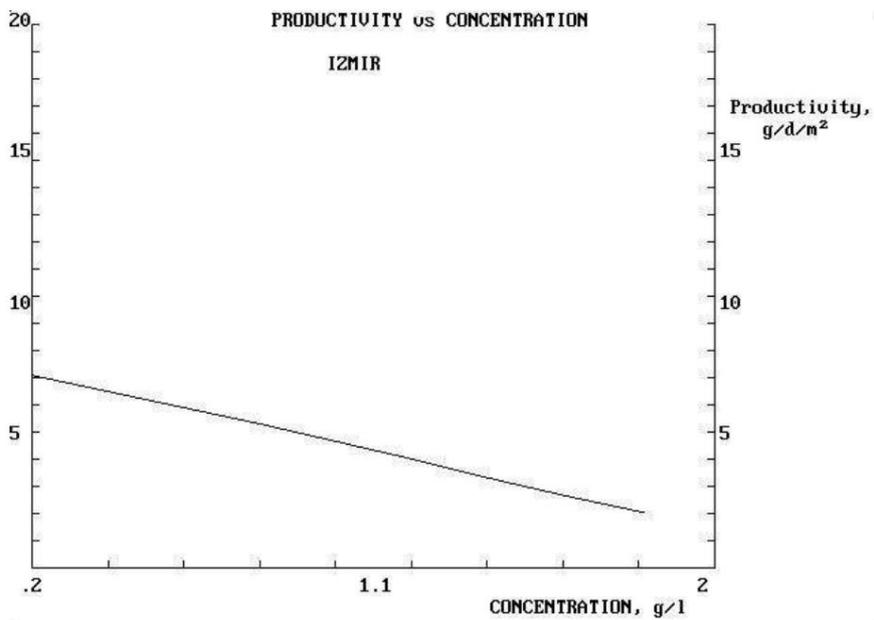
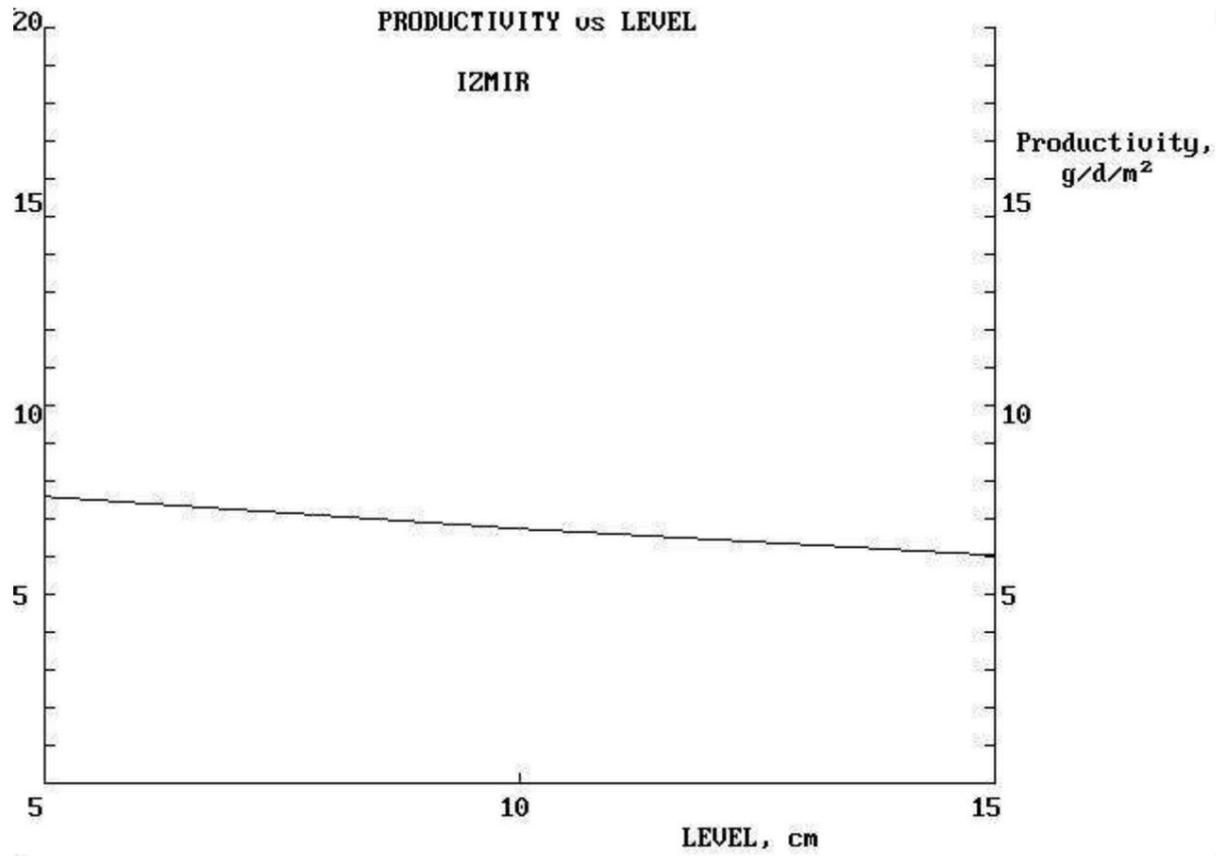


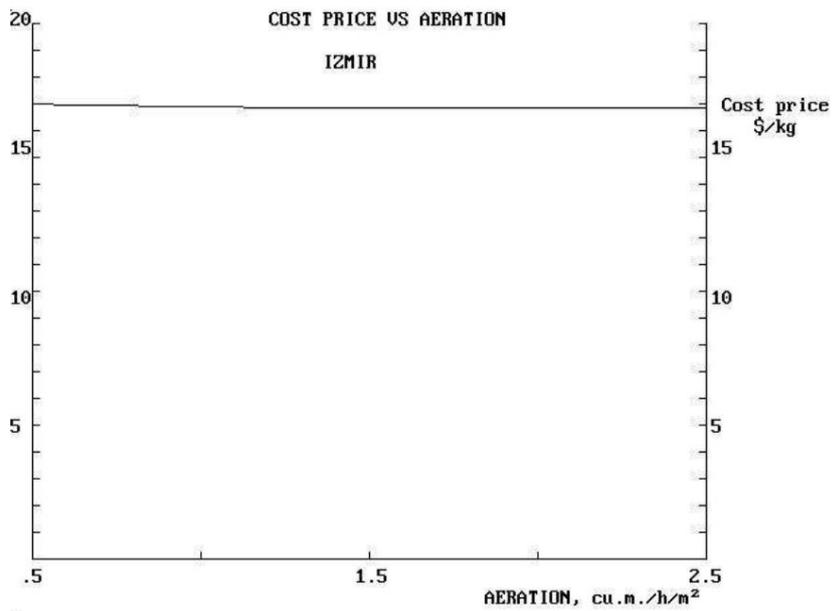
Fig.12 Precio de costo vs. pH con CO2 (@ \$2/kg)



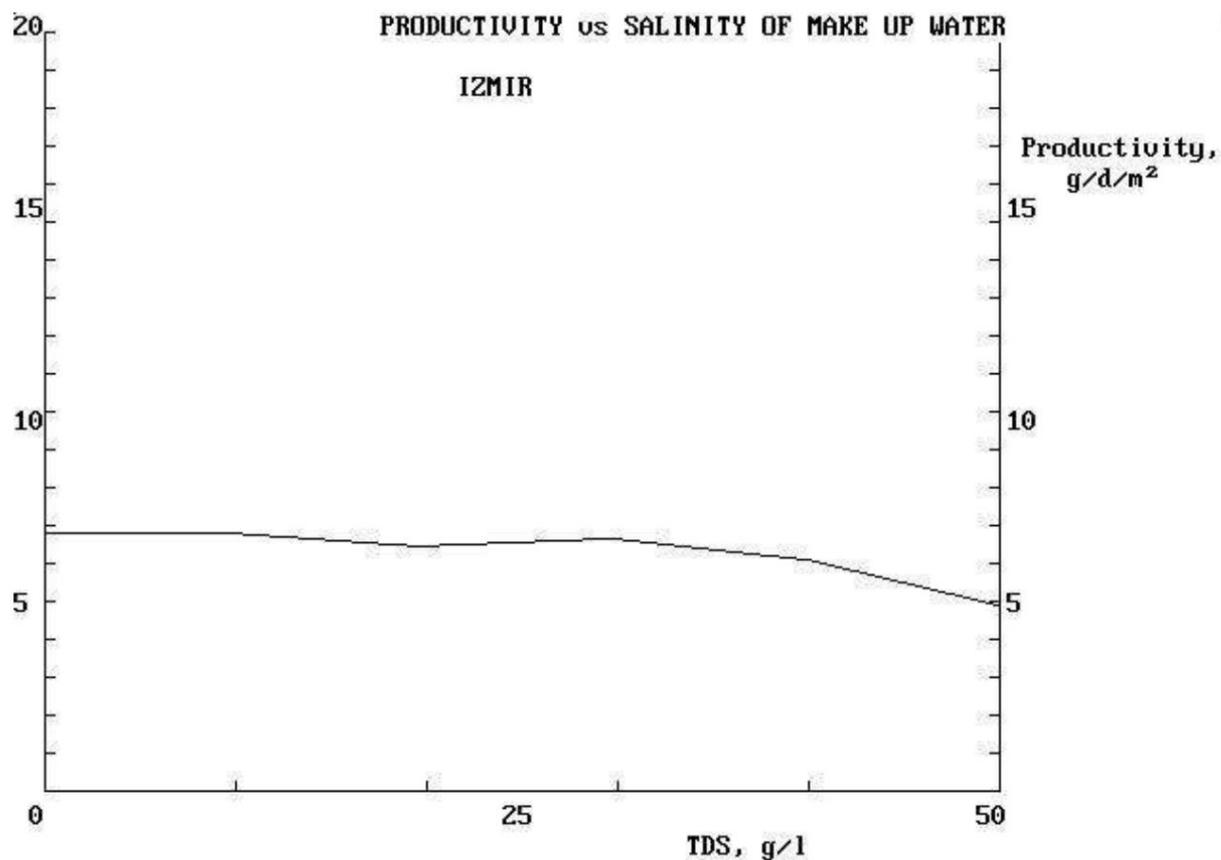
Higo. 13 Productividad vs. concentración de biomasa



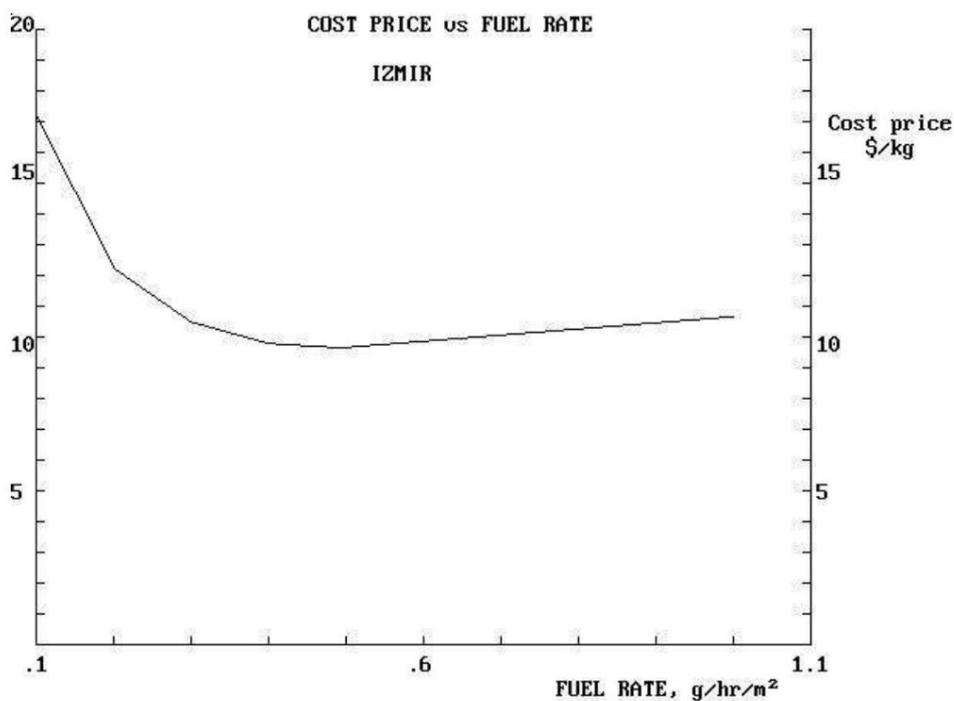
Higo. 14 Productividad vs. nivel del tanque



Higo. 15 Precio de costo vs. ventilación



Higo. 16 Productividad vs. salinidad del agua de reposición (salinidad máxima = 40)



Higo. 17 Precio de costo vs. tasa de combustible (propano a 1 \$/kg como única fuente de carbono y tasa de ventilación = 0,1 m/h)

Tabla 1 Ejemplo de datos

Tabla 2 Ejemplo de datos meteorológicos

Tabla 3 Ejemplo de resultados

Fig.1 Fotosíntesis vs. la temperatura

Higo. 2 Fotosíntesis vs. pH

Higo. 3 Fotosíntesis vs. intensidad de luz

Higo. 4 Fotosíntesis vs. salinidad

Higo. 5 Fotosíntesis vs. velocidad de agitación

Higo. 6 Respiración bazo vs. la temperatura

Higo. 7 Consumo de CO₂ vs. pH

Higo. 8 CO₂/base vs. pH

Higo. 9 Producción diaria

Higo. 10 Productividad vs. consumo de bicarbonato

Higo. 11 Precio de costo vs. pH con bicarbonato (@ 0,8 \$/kg)

Higo. 12 Precio de costo vs. pH con CO₂ (@ \$4/kg)

Higo. 13 Productividad vs. concentración de biomasa

Higo. 14 Productividad vs. profundidad o nivel de cultura

Higo. 15 Productividad vs. ventilación bazo Fig. 16

Precio de costo vs. salinidad (sales disueltas totales) del agua de reposición

Higo. 17 Precio de costo vs. tasa de combustible con propano a 1 \$/kg como única fuente de carbono y tasa de ventilación = 0,1 m/h

CULTIVO

ARTESANÍA

DE ESPIRULINA

(Resumen de la versión en inglés)
28/08/2005

PISTA

PRÓLOGO
CLIMATICOS

STANDS
MEDIO DE CULTIVO
COSECHA

FACTORES
INOCULACIÓN

COMO ALIMENTAR EL CULTIVO ATENCIÓNES DEL CULTIVO
CONSERVACIÓN SECADO CONSUMO

ANEXO
CONCENTRACIÓN SALINIDAD ALCALINIDAD
pH HUMEDAD

PRÓLOGO

El presente no es un nuevo libro sobre la espirulina; hay excelentes libros para responder a las siguientes preguntas:

- ¿Qué es la espirulina (*Arthrospira platensis*)?
- ¿dónde vive naturalmente? - ¿cómo fue descubierto en los años 1960? - ¿Cuál es su composición nutritiva? - ¿a qué normas de calidad debe responder? - ¿Cómo se produce industrialmente la lata? - ¿Porqué se le predice un futuro brillante?

Consultar por ejemplo: "Microalga Spirulina, Superalimento del Futuro", de Robert Henrikson, Ediciones Urano (1994).

El único objetivo de este manual resumido es de aportar mi experiencia práctica en el cultivo de la espirulina en pequeña escala a quienes así lo necesitan.

Si algunos términos técnicos les parecen difíciles de comprender, pueden consultar un manual de química para alumnos de colegio que podrá aclararlos.

En la práctica, cultivar espirulina no es más difícil que cultivar tomates.

STANDS

La espirulina vive en agua a la vez salada y alcalina, contenida en un recipiente (o estanque) resistente a la corrosión; Poco importa su forma, salvo los ángulos que deben ser redondeados para facilitar la agitación y limpieza de los rincones. Generalmente utilizamos estanques con bordes de 40 cm (el doble de la profundidad normal del cultivo).

Los estanques pueden tener una superficie de 1 m² - es lo que corresponde a la necesidad de espirulina de una persona - pero los de 5, 10, 20 hasta 40 m² son más económicos. Las dimensiones de su sobretodo limitadas por la necesidad de agitar el estanque.

El fondo del estanque debe tener un hoyo y una ligera pendiente

para facilitar el desaguë.

Es preferible tener dos estanques que uno solo grande por razones prácticas (transvase de uno al otro para limpiarlo por ejemplo).

Un método para realizar económicamente estos estanques utiliza plásticos de 0,5 mm de espesor (PVC, EVA), de calidad alimentaria de preferencia; los laterales están soportados por un muro de ladrillos o una estructura de madera o tubos metálicos o PVC. Si hay termitas en la región, se recomienda colocar bajo el plástico una delgada capa de ceniza y una capa de arena seca.

El hormigón es un buen material para los estanques, pero necesita albaniles experimentados. La calidad del revocado es muy importante. Antes de agregar el medio de cultivo es recomendable pintar la superficie del estanque con dos manos de pintura común a la cal.

Un invernadero sobre los estanques ofrece muchas ventajas a condición de que pueda ser aireado y sombreado.

La agitación de los estanques se puede hacer a mano con escoba, una vez cada hora o dos horas (mas frecuente si el sol es fuerte). Si tiene electricidad, puede usar pequeñas bombas de acuario para agitar los estanques (una potencia media de 1 W/m² es suficiente).

Los estanques industriales son agitados con paletas, pero esta es una técnica considerada como un poco difícil de emplear para los pequeños estanques artesanales que son los que aquí nos interesan.

FACTORES CLIMÁTICOS

La temperatura del medio de cultivo es el factor climático de mayor importancia para la rapidez de crecimiento y el calor de la espirulina. Por debajo de 20°C el crecimiento es prácticamente nulo, aunque muchas espirulinas no mueren incluso a 0°C. La temperatura óptima para el aumento es de 37°C. A 42°C, la espirulina está en grave peligro.

La iluminación es fundamental para el aumento de la espirulina (fotosíntesis), pero no se debe mantenerla 24 horas continuas por día. Durante la noche, las reacciones bioquímicas continúan produciendo espirulina, así como la síntesis de proteínas y la respiración. La respiración disminuye la masa de la espirulina (la "biomasa") sobretodo cuando se eleva la temperatura. Desde este punto de vista las noches frescas

son buenas, pero la spirulina no puede soportar una fuerte iluminación al frío (debajo de 15°C). A menos que la iluminación sea un factor esencial, el pleno sol no es ideal para la spirulina: una sombra media es preferible.

Si el suelo es la única fuente de calor para llegar a una buena temperatura, es un problema: por eso es preferible una temperatura ambiente alta.

Un filamento individual de espirulina no puede soportar una exposición prolongada al sol: es destruido por fotólisis. De aquí la necesidad de agitar el cultivo.

La lluvia es beneficiosa para compensar la evaporación del agua, pero es necesario vigilar que no se desborde el estanque.

La lluvia también es beneficiosa para la agitación de la zona y para airear el cultivo, pero está el riesgo del aporte de polvo y hojas en el cultivo.

Notamos que la iluminación y el calentamiento artificial pueden ser utilizados para hacer crecer spirulina. Los tubos de neón convienen para iluminar pero las lámparas ordinarias tienen la ventaja de calentar al mismo tiempo que iluminar.

MEDIO DE CULTIVO

El agua utilizada para hacer el medio de cultivo debe ser limpia o filtrado para eliminar las algas contaminantes.

Beber agua es conveniente. Si contiene demasiado cloro, debe airearse.

Si el agua es muy dura, causa 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.

El agua de mar, muy rica en magnesio, puede ser utilizada pero con precauciones o tratamientos que no están incluidos en este documento.

El medio de cultivo puede obtenerse disolviendo los productos siguientes químicos en el agua:

	<u>g/litro</u>
Bicarbonato de sodio	
Sal	
Nitrato de potasio (o salitre)	8 5 2

Sulfato Dipotásico	1
Fosfato monoamónico	0.1
Sulfato de magnesio (MgSO ₄ .7H ₂ O)	0.2
Solución de hierro (10 g de Fe/l)	0.1
Cal (si el agua es muy poco dura)	0.02

Si se utiliza sal no refinada, no se necesita el sulfato de magnesio.

La solución de hierro se prepara disolviendo 50 g de sulfato de hierro (FeSO₄, 7H₂O) y 50 ml de ácido clorhídrico concentrado en un litro de agua. También se puede 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 amplificaciones dimensiones. Así, además de 8 g de bicarbonato, puedes utilizar una mezcla de 5 g de carbonato de sodio y 1 g de bicarbonato, obteniendo un pH de 10,4.

Ciertos iones pueden ser introducidos en cualquier concentración, sin límite para la salinidad total que no supere los 25 g/l. Se trata de los iones: sulfato, cloruro, nitrato y sodio.

La pérdida de iones fosfato, magnesio y calcio no podrá ser utilizada en concentraciones muy elevadas sin provocar la formación de depósitos minerales y desequilibrios en la fórmula.

La concentración en potasio puede aumentarse a voluntad, salvo que ella no supere 5 veces la concentración de sodio (se trata de concentraciones en peso). Esto permite utilizar la potasa extraída de la ceniza de madera, con la lejía como reemplazante del bicarbonato/carbonato de sodio (es necesario dejar la lejía expuesta al aire suficiente tiempo para que ella se carbonate hasta que su pH baje por debajo de 10.8 antes de utilizarla como base del medio de cultivo). La ceniza utilizada debe ser blanca.

En caso de necesidad (o situación de supervivencia) es posible reemplazar el nitrato, fosfato y sulfato con la orina de personas o animales en buen estado de salud y que no consuman drogas como antibióticos. La dosis es de 4 ml/l de medio.

El nivel normal de medio cultivo en un estanque es alrededor de 20 cm, cualquier cultivar posible con 10 cm hasta 40 cm.

INOCULACIÓN

Saque una simiente (cepa) de espirulina bien espiralada, con pocos o sin filamentos rectos (al menos 50% espiralada). Un concentrado simiente se obtiene fácilmente de un cultivo en buena salud, tomándola de la nata o rediluyendo con medio de cultivo una masa de espirulina fresca cosechada pero no exprimida. A la concentración máxima de 3 g de espirulina (contada en segundo) por litro, la simiente puede conservarse y transportarse durante una semana si se degrada, dependiendo de la condición de que el recipiente esté medio lleno y ventilado al menos dos veces por día. Si la ventilación es continua con ráfagas de aire, la concentración puede descender a 10 g/l.

La inoculación consiste simplemente en mezclar la simiente con el medio de cultivo. Se recomienda mantener un nuevo cultivo inicialmente y en curso de crecimiento (dilución progresiva con medio de cultivo nuevo) con una concentración de espirulina alrededor de 0,3 g/l (muy verde).

Puede esperar un aumento del 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 de cultivo a nivel bajo (no superando 10 cm) y la concentración de espirulina alrededor de 0,3 g/ YO.

Cuando la superficie final del estanque sea el exceso, aumentar el nivel y la concentración del cultivo hasta el nivel exceso y la concentración óptima de 0,4 g/l antes de iniciar la cosecha.

COSECHA

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 par secar el producto, - el
- porcentaje de proteínas está su máximo en la mañana, - la
- filtración es más rápida.

La cosecha incluye esencialmente estos pasos: -

Filtración para obtener una biomasa al 10% de materia seca (1 litro = 100 g de materia seca), - Exprimido para eliminar el medio de cultivo residual y obtener la "espirulina fresca", lista a ser consumida o secada, que contiene alrededor de 20 a 25% de materia seca según las cepas y la salinidad del medio.

La filtración se realiza simplemente grabando a través de un tronco sintético (poliéster o poliamida) 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.

Es posible utilizar un contenedor con bordes rectos recibiendo la capa flotante (si hay), evitando mover el fondo del depósito. La filtración puede acelerar la filmación o el alisado de la malla. Siempre que el mayor parte del agua es colada, la espirulina (la biomasa) se junta formando como una "bola" gracias al movimiento de la malla. Con veces, la bola no puede formarse bien o se pega.

El expreso 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, bloctas, 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, pero con la presión y/o la temperatura aumenta más lentamente para obtener una presión lo suficientemente firme. Aguantar la presión cuando el "jugo" se ve demasiado verde.

Este sistema es más adecuado que el lavado con agua para eliminar los restos del medio de cultivo sin destruir la espirulina, salvo que la expresión es 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.

COMO ALIMENTAR EL CULTIVO

El principio consiste en reponer, luego de cada cosecha, los elementos nutritivos tomados del medio de cultivo por la spirulina cosechada, con el 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 principal elemento nutritivo es el carbono, que el medio de cultivo absorbe espontáneamente del área baja en forma de anhídrido de carbono (CO₂) cuando el pH es superior a 10. Si el área contiene muy poco CO₂, la absorción de este corresponde a una productividad máxima (cuando el pH llega a 11) de 4 g de espirulina por día y por m² de estanque. Es posible inyectar CO₂ adicional para aumentar la productividad, reducir en forma de gas de fermentación alcohólica o una botella de CO₂ líquido: el gas revienta en el medio de cultivo debajo de un plástico con su soporte de madera (con superficie alrededor del 4% de la del estanque) que lo retiene como una campana colgante el tiempo que tarde en disolverse. O mejor el CO₂ se puede introducir en un flujo de cultivo en un tubo o una manguera. Una dosis conveniente de CO₂ es de 1 kg por kg de espirulina producida.

El azúcar puede reemplazar al CO₂ como una fuga de carbono (medio kg de azúcar = 1 kg de CO₂).

La espirulina Adema del carbono consume los nutrientes habituales en la 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 los sucios utilizados. En ciertos casos el agua contiene demasiado calcio, magnesio o hierro, lo cual produce depósitos minerales que tienen inconvenientes veces.

No utilice fertilizantes agrícolas granulados de liberación lenta ("slow release") que contengan muchas impurezas. Use fertilizantes solubles cristalizados para soluciones de nutrientes hortícolas.

En Chile el salitre potásico es la fuente preferida de nitrógeno pero en la mayoría de países la úrea es la fuente de nitrógeno mas económica. La úrea es excelente para la espirulina con la condición de limitar su concentración en el medio a 50 mg/litro. La úrea en exceso puede

transformarse en nitrato o amoníaco. Si en el cultivo se siente un poco el olor de amoniaco no hay peligro pero si el olor es fuerte al menos una parte de la spirulina morirá.

Tiene una fórmula alimenticia clásica por kilogramo de espirulina (seca) cosechada:

Urea 300g
Fosfato monoamónico 50 g
Sulfato dipotásico 40 g
Sulfato de magnesio (SO₄Mg,7 H₂O) 40 g
calorías 10g
Solución de hierro (10 g/l) 50 g

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

ASISTENCIAS CULTURALES

Además de la cosecha y alimentación, un cultivo de espirulina requiere una cuidadosa atención para mantenerla en buen estado.

La agitación es necesaria pero no continuamente. Una vez por día, justo después de la cosecha, es bueno agitar el fondo del estanque para evitar la fermentación anaeróbica de los depósitos orgánicos. La agitación superficial debe realizarse una vez cada dos horas o más frecuentemente si hay gran iluminación.

Si la espirulina se decanta al fondo del estanque (caso anormal pero que se puede producir por ejemplo de una dilución brusca por el agua) es obvio que hay que removerlo frecuentemente para evitar que se fije.

La capacidad fotográfica de la espirulina está saturada por una luminosidad correspondiente a un tercio de pleno suelo. Un oscurecimiento es beneficioso para la salud de la espirulina y también útil para reducir la evaporación del agua, la temperatura (< 40°C) o el pH (< 11). En la práctica, es muy raro que la temperatura del mar suba demasiado en estanques al aire libre, pero el pH puede sufrir mucho si el suministro de carbono es insuficiente.

El nivel de agua en el estanque debe estabilizarse alrededor del

nivel deseado. La evaporación puede compensar agregando agua. Un exceso de lluvia puede ser rectificado vaciando una parte del medio para luego agregar los nutrientes contenidos en el volumen del medio arrojado.

Si se acumula mucho depósito al fondo del estanque, podemos Reduciendo el mediante bombeo o sifón del medio de cultivo cerca del fondo, allí donde encontramos el depósito en mayor cantidad. Luego agregue el medio de cultivo nuevo en cantidad igual al volumen arrojado. Otro método, más radical, para sacar los depósitos consiste en transvasar el cultivo en otro estanque para limpiar el fondo.

En las grandes empresas industriales productoras de espirulina el contenido del medio de cultivo referido a este nutriente, e incluyendo los oligoelementos, se determina por análisis químico, teniendo así la posibilidad de agregar la cantidad exacta de elementos que faltan. Este método resulta demasiado costoso para pequeños cultivos; en estos lo adecuado es renovar parcialmente el medio de cultivo de vez en cuando (por ejemplo 10 % cada mes).

Para evitar la formación de grumos con la Lonar cepa se recomienda mantener el pH por encima de 10,2 así como buen aporte de nitrógeno bajo formado de úrea.

El cultivo es un ecosistema en el cual diversos organismos viven en simbiosis: bacterias adaptadas que se alimentan de desechos orgánicos y zooplancton (como paramecias) que se alimentan de bacterias, transforman las andolas en nutrientes minerales y CO₂ por la espirulina. Las bacterias y el zooplancton también consumen el oxígeno producido por la espirulina, las condiciones locales son favorables para el aumento de la espirulina. Estos procesos son bastante lentos biológicamente, surerte que si el nivel del cultivo es bajo y/o si la productividad en spirulina es elevada, podría haber acumulación de desechos resultando en alta turbiedad y dificultad de cosecha. Para mejorar el medio de cultivo sucio, basta renovarlo parcialmente o bajar la productividad sombreando el estanque o dejando someterse a la concentración de espirulina; la mejoría se produce normalmente en una o dos semanas.

El cultivo puede ser colonizado por pequeños animales que viven a expensas de la espirulina, como larvas de moscas ephidras o mosquitos, rotíferas o amebas (normalmente no tóxicas). Según nuestra experiencia estas invasiones no producen otros efectos molestos que una reducción de la productividad. Para eliminar estos animales físicamente podemos utilizar un colador (para larvas) o para eliminarlos biológicamente podemos aumentar temporalmente la salinidad, el

pH o la temperatura del cultivo. El incremento de la temperatura hasta 42°C parece el más fácil de realizar (con un invernadero) y también muy eficaz. Frecuentemente estos depredadores desaparecen ellos mismos al final de algunas semanas.

Un cultivo que le da a la salinidad o a la concentración en espirulina sus muy bajas puede ser invadido por un alga verde unicelular (comestible): la clorela; Felizmente la clorela cae al fondo del estanque cuando la agitación es apagada, quedando en la oscuridad donde ella muere al cabo de unos días. Lo mismo ocurre con las diatomas. To delete the clorelas se puede hacer una cosecha total y lavar la biomasa con un poco de medio nuevo para eliminar las clorelas de la biomasa, y luego utilizar la biomasa para inocular un medio nuevo.

Algas azul-verdes tóxicas como *Anabaena*, *Anabaenopsis arnoldii* y *Microcystis* no viven en un cultivo de espirulina bien atendido, pero por seguridades se recomienda hacer verificar su ausencia con un microscopio profesional por un microbiólogo una vez por año, y también hacer un análisis de cianotoxinas. Un cultivo de larvas de artemia en agua salada (30 g sal por litro) puede usarse para verificar la ausencia de algas tóxicas: agregar al cultivo de artemia un poco del cultivo de espirulina y observar el comportamiento de las larvas: si al cabo de seis horas o más ellas están siempre llenas de vitalidad, no hay una concentración peligrosa de algas tóxicas. Podemos adquirir huevos de artemia en las tiendas de acuariofilia. Pero ese método no es tan bueno que un análisis de toxinas.

Normalmente las bacterias patógenas habituales no pueden sobrevivir en medio del cultivo cuando el pH está por encima de 9.5 donde está durante la producción. Sin embargo se recomienda tener controles bacteriológicos de espirulina cosechada al menos una vez por año o en caso de epidemia (el vibrio del cólera puede sobrevivir hasta pH 11).

CONSERVACIÓN

Es cierto que la spirulina fresca (la biomasa prensada) es superior a toda otra forma de spirulina tanto del punto de vista organoléptico como por su valor nutritivo y de costo. Se puede conservar dos días en el frigorífico a 7°C o diez días a 1°C. Además se congela fácilmente.

Si no tienes nevera o congelador, la ensalada puede ser una solución. Se añade un 10% de sal fina a la biomasa prensada, asegurando una conservación como de mes, bajo una ligera capa de aceite. El salado modifica el producto: su consistencia

Vuelve más fluída, su color más oscuro (la ficocianina azul es liberada) y el gusto se parece al de la pasta de anchoas.

El secado es el único modo de conservación comercial.

Convenientemente envasada y envasada, la espirulina seca se puede conservar hasta cinco años; pero el secado es costoso y frecuentemente da al producto un gusto y olor que pueden ser juzgados desagradables por el consumidor.

SECADO

En la industria la espirulina es muy seca para atomización en el ámbito a muy alta temperatura, durante un tiempo muy corto; este proceso da un producto de extrema fineza, poca densidad aparente y mal olor. Este proceso es imposible de usar en pequeña escala.

La liofilización es un proceso ideal para la calidad, incluso en pequeña escala, pero de costo tremendo.

El secado solar es usado frecuentemente por los pequeños productores, pero requiere todas las precauciones. Si se utiliza la exposición al suelo directo, que es más rápida, será de muy corta duración si la clorofila se destruirá en la superficie y el producto aparecerá gris o azulado.

Sea cual fuere la fuente de calor, la biomasa a secar debe ser puesta bajo la forma suficientemente delgada para secantes de comenzar a fermentar. Dos fórmulas para ello: la pasta puede ser ser sparcida en capa delgada sobre film plástico o puesta como tallarines en cilindros de pequeño diámetro ("spaghetti" de 1 a 2 mm de diámetro) sobre placa perforada. En la primera fórmula, la zona calentada pasará sobriamente horizontalmente y la película entrará en la segunda, pudiendo atravesar verticalmente la placa perforada. La extrusión es teórica y prácticamente mayor si el diámetro de los tallarines frescos no supera los 2 mm, pero al mismo tiempo hace falta que los cilindros tengan bastante resistencia mecánica para mantener su forma colgante 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 formaron un buen flujo de aire es el factor mas importante para evitar accidentes de secado.

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

La temperatura de secado se limitará a 65°C y la temperatura de

secado a las 6 horas. Si se seca a baja temperatura, como 42°C, es preferible terminar por 15 minutos a 65°C para lograr un buen grado de esterilización y también reducir la humedad del producto al 5% de agua.

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

Las escamas o macollos secos se convierten generalmente en polvo o trozos finos por molido para aumentar su densidad aparente y facilitar su almacenamiento.

CONSUMO

Las personas que dicen que no pueden soportar el gusto ni el olor de la espirulina han estado expuestas, seguramente un día, un segundo producto de calidad mediocre. La espirulina fresca y de buena calidad es neutra, tal que puede sustituir a la mantequilla sobre las tostadas y puede servir para enriquecer prácticamente como alimento; Las deliciosas bebidas heladas pueden ser preparadas mezclando la espirulina, especialmente fresca, con jugo de frutas. La espirulina fresca es una pasta fácil de diluir, mezclar o diluir.

Hay literalmente miles de recetas posibles para usar espirulina fresca, congelada o seca, cruda o cocida.

Nótese que sobre 70°C en presencia de agua el bello color verde de espirulina (clorofila) con veces se vuelve marrón.

ANEXO

COMPARACIÓN DE MUESTRAS DE ESPIRULINA

The main análisis necesario para juzgar la calidad de una muestra de espirulina (contenido en proteínas, hierro, ácido gamalinolénico, y análisis microbiológico) necesita realizarse en un laboratorio, pero algunas pruebas muy simples pueden ser realizadas por el mismo productor, comparando muestras entre ellas. Una muestra de buena calidad puede servir como referencia.

El examen del color, olor y gusto es revelador de diferencias importante. El color verde debe tender más hacia el azul que hacia el amarillo.

Para hacer el examen del pH de una espirulina seca, mezcle 4 gramos de polvo en 100 ml de agua y mida el pH al cabo de dos

minutos y de 24 horas (agitar de tiempo en tiempo): el pH inicial normalmente debe estar alrededor de 8 para bajar a 6 o menos, pero ciertos productos comerciales están largamente fuera de estas cifras (generalmente pH superiores).

Luego de la prueba precedente podemos obtener muy fácilmente una medida comparativa del contenido en ficocianina (pigmento azul muy importante, que constituye una cuarta parte de las proteínas totales). Es suficiente poner una gota de la solución sobre un papel filtro blanco (filtro a café por ejemplo) y dejar secar la mancha: la intensidad del color azul es una medida del contenido en pigmento. Si el pigmento no está bien "sucio", es posible que el mar debido tenga un secado de la espirulina a baja temperatura; start again the prueba luego de haber calentado la muestra seca a 65°C por un minuto.

El contenido en carotenoides (el betacaroteno constituye entre 40 a 50% de los carotenoides totales) puede evaluarse mezclando una muestra de spirulina sec en polvo con dos veces su peso de acetona o alcohol de 90° dentro de un frasco cerrado y agitado. Al cabo de un cuarto de hora, tomar una gota de la solución decantada y ponerla sobre un papel filtro para examinar el color de la mancha formada. La intensidad del color marrón-amarillo es proporcional al contenido de carotenoides. Notamos que el color de la mancha no se guarda más que unas horas y que en las muestras de espirulinas antiguas conservadas sin precaución el contenido prácticamente nulo.

MEDIDA DE CONCENTRACION EN SPIRULINA

AL DISCO DE SECCHI

El "disco de Secchi" es un instrumento compuesto por una barra de 30 cm de ancho, graduada en centímetros (o concentración después de calibrar), teniendo en su extremidad inferior un disco blanco. Permite una medida aproximada de la concentración en espirulina.

Antes de medir, agitar para homogeneizar, luego dejar decantar los depósitos algunos minutos y anotar la profundidad en centímetros, allí justo donde es imposible distinguir el disco.

MEDIDA DE LA SALINIDAD DEL MEDIO DE CULTIVO

Es necesario con la adición de un densímetro para densidades superiores a 1 (urinómetro por ejemplo) y se aplica la siguiente corrección de temperatura:

$$D_{20} = D_T + 0,000325 \times (T - 20)$$

onda:

D₂₀ = Densidad a 20°C

D_T = Densidad a T°C

expresada en g/ml o kg/l.

A partir de la densidad a 20°C, calcular la salinidad total (SAL, en g/l) del medio de cultivo para las fórmulas:

Si $D > 1.0076$: $SAL = 1250 \times (D_{20} - 1.0076) + 10$

Chino: $SAL = 1041 \times (D_{20} - 0,998)$

MEDIDA DE LA ALKALINIDAD DEL MEDIO DE CULTIVO

La prueba se hace por neutralización de una muestra del medio con ácido clorhídrico normal (ácido concentrado del comercio diluido diez veces); el punto final se meditará a pH = 4.

La alcalinidad (= moléculas básicas fuertes por litro) es la relación entre el volumen de ácido utilizado y el volumen de muestra del medio utilizado.

MEDIDA DEL pH DEL MEDIO DE CULTIVO

El pHmetro debe ser ajustado una vez por semana. Soluciones muestras pueden ser compradas, o preparadas como sigue (pH aproximado a 20°C):

pH = 9,7 a 9,9 (según el contenido del aire en CO₂): disolver 3,3 g de carbonato de sodio + 3,3 g de bicarbonato de sodio en un litro de agua desmineralizada; Mantenga la solución en contacto con la atmósfera y agregue regularmente el agua para compensar la evaporación.

pH = 7,2: disolver 5,8 g de fosfato diamónico + 11 g de bicarbonato de sodio en un litro de agua desmineralizada y mantenerlo en un frasco cerrado.

pH = 2,8: vinagre común a 6° (densidad 1,01)

Corrección de temperatura sobre pH: pH
a 20 °C = pH a T°C + 0,00625 x (T - 20)

MEDIDA DE LA HUMEDAD EN LA SPIRULINA SECA

Colocar en un recipiente transparente y hermético (como un tupperware) aproximadamente el volumen nebulizado de espirulina y cámara de aire junto con un termo-higrómetro que se pueda leer de afuera sin abrir. Calentar o enfriar para que la temperatura del mar se enfríe a 25°C. Esperanza de equilibrio de temperatura y humedad.

Hay una correspondencia entre el % de humedad relativa (HR) en la zona y el % de agua en la espirulina, así:

25% HR = 5% agua

32% HR = 6

43% HR = 8

49% HR = 9

Debido a que la espirulina seca se mantiene bien, su% de agua debe estar menos que 9% (es la norma). Los microbios mueren dentro de dos meses en una espirulina al 7% de agua..
