



¿Conservar fitoplancton vivo?

Cepario de microalgas del CIBNOR

*Conserving live phytoplankton?
CIBNOR Culture collection of microalgae*

Resumen

Las microalgas son organismos microscópicos que viven principalmente en ambientes acuáticos y se encuentran libres o asociadas formando colonias, agregados o cadenas. El ser organismos fotosintéticos las coloca en la base de la trama trófica marina, además se ha calculado que producen la mitad de la biomasa y del oxígeno terrestre. Los usos que el humano le da a estos organismos son muy diversos: como alimento vivo, en la producción de nutraceuticos, pigmentos carotenoides, biocombustibles

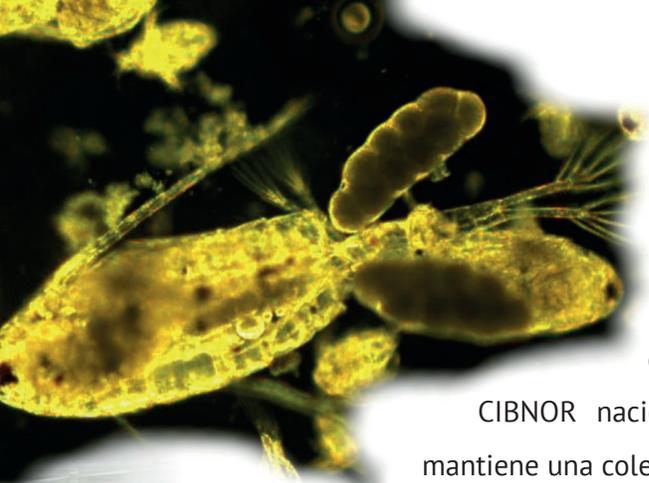
Recursos Naturales y Sociedad, 2016. Vol. 2 (2): 40-55.
<https://doi.org/10.18846/renaysoc.2016.02.02.02.0003>

María Concepción Lora Vilchis^{1*}, Marte Virgen Félix¹, Francisco Omar López Fuerte^{1,2}, Bertha Olivia Arredondo Vega¹, Gopal Murugan¹.

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, B. C. S. 23096, México.

² Universidad Autónoma de Baja California Sur. Departamento Académico de Economía, Laboratorio de Sistemas Arrecifales. Carretera al Sur Km 5.5, El Mezquitito, La Paz, B. C. S., 23080. México.

* Autor de correspondencia: cony04@cibnor.mx



y moléculas de interés farmacológico e industrial. Contemplando este potencial, el cepario de microalgas del

CIBNOR nació desde 1996 y actualmente mantiene una colección de microalgas constituida por 156 cepas de siete grupos: Chlorophyceae, Rhodophyceae, Eustigmatophyceae, Prymnesiophyceae, Bacillariophyceae, Dynophyceae y Cyanophyceae. El principal objetivo del cepario es mantener cepas de microalgas vivas con disponibilidad para diversos usuarios: ya sea en investigación científica, educación, industria, biotecnología, y el ser un referente taxonómico. El objetivo de este trabajo es presentar un panorama general de la formación y trabajo que se realiza en el cepario de microalgas del CIBNOR, los problemas encontrados en cada etapa, los retos y los resultados obtenidos, así como las perspectivas a futuro.

Palabras clave: colección de microalgas, aislamiento, purificación de microalgas, identificación taxonómica.

Abstract

Microalgae are microscopic organisms that live mainly in water and are found individually as single or associated cells forming colonies, chains or aggregates. As photosynthetic organisms, they are at the base of marine food webs. It has been estimated that they produce half of the biomass and oxygen on Earth. The uses that humans have made of these organisms are various such as live food, and as producers of nutraceuticals, antioxidant pigments, biofuels, and molecules of pharmacological and industrial interest. CIBNOR microalga collection exists since 1996 and maintains 156 strains of seven groups, which are Chlorophyceae, Rhodophyceae, Eustigmatophyceae, Prymnesiophyceae, Bacillariophyceae, Dynophyceae, and Cyanophyceae. The main objectives of the

microalga culture collection is to maintain strains of living microalgae and make them available for different uses, such as scientific, educational, and industrial research, and as taxonomic reference. A general overview on the creation of CIBNOR microalga collection, the work and problems encountered at each stage, the results obtained so far, and the future prospects are discussed in this study.

Keywords: microalgae collection, isolation, microalgae cleaning, taxonomic classification.

Introducción

Microalga es un término muy práctico que agrupa organismos microscópicos por lo general unicelulares, incluye tanto células procariotas como eucariotas que pueden tener tamaños diversos, que van desde el picoplancton de menos de dos micrometros hasta el microplancton que puede medir cientos de micrometros (Barsanti y Gualtieri, 2014). Estos organismos tienen la

característica de realizar fotosíntesis oxigénica; es decir, transforman la energía luminosa en energía química o materia orgánica y liberan oxígeno como producto de desecho. Según Guiry (2012) el número de especies de algas descritas es 43,918, lo que constituye el 61 por ciento del total de especies y estima que más de un 70% de las que falta por describir son diatomeas. Las microalgas forman parte de una gran variedad de ecosistemas que van desde marinos y dulceacuícolas, hasta desiertos y oasis, aguas termales, nieve y hielo (Fig. 1). En el medio marino las microalgas son responsables de más de la mitad de la producción primaria, por lo que son la base de las cadenas alimenticias marinas, además se calcula que producen la mitad del oxígeno atmosférico en nuestro planeta (Falkowski y Raven, 2008). Su gran diversidad genética y metabólica aunado a un alto grado de especialización, se refleja en una gran diversidad de moléculas que pueden producir, algunas de ellas con aplicaciones biotecnológicas bien definidas que actualmente ya se encuentran en el mercado (Gushina y Harwood, 2006; Odjadjare *et al.*, 2015).



Figura 1. Fotografías de fitoplancton en: a) Río Ebro, España, b) Pequeño lago en la Cantera Oriente, UNAM, Cd. de México, c) Estanques de mareas del CIBNOR, La Paz, B. C. S. México.

El estudio de las microalgas se ha vuelto un tema de gran interés, en parte debido a la búsqueda de alternativas más amigables y sustentables para enfrentar la crisis ambiental y de los energéticos

derivados del petróleo (Khatoon y Pal, 2015). Al igual que las plantas al realizar fotosíntesis, las microalgas captan bióxido de carbono que es uno de los gases causantes del fenómeno atmosférico conocido como efecto invernadero.

Uno de los principales usos de las microalgas es el servir como alimento vivo en acuicultura; entre las principales especies empleadas en esta industria están las flageladas *Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri* y *Tetraselmis suecica*; las diatomeas: *Chaetoceros calcitrans*, *Chaetoceros muelleri*, *Thalassiosira pseudonana* y *Skeletonema costatum*, y la eustigmatofita *Nannochloropsis oculata*. Estas células son el alimento principal de la mayoría de las especies de moluscos bivalvos, de moluscos gasterópodos y crustáceos durante la fase larval; y del zooplancton que alimenta a peces (Muller – Feuga 2000; Muller–Feuga et al., 2003; Guedes y Malcata, 2012) (Fig. 2).

Otros ejemplos de uso de microalgas son las cianobacterias del género *Arthrospira* mejor conocido como Spirulina (nombre comercial), que ha servido de alimento a humanos en diferentes lugares y épocas, a las que se les reconoce por su potencial nutritivo ya que tiene un alto contenido de proteínas (mayor al 50% del peso seco) y antioxidantes (Vonshak, 1997). Las cepas de la clorofita *Parietochloris incisa*, la diatomea *Phaeodactylum tricornutum*, y el dinoflagelado *Cryptothecodinium cohnii*, que se emplean en la producción de ácidos grasos esenciales de la serie omega 6 y omega 3 tales como los ácidos: araquidónico (20:4n-6), eicosapentaenoico (20:5n-3) y docosahexaenoico (22:6n-3) respectivamente (Martins et al., 2013).

Algunas cepas de microalgas pueden adaptarse a estímulos de estrés tales como un exceso de irradiancia y/o déficit de nutrientes, mediante la producción de compuestos lipídicos o carbohidratos que

pueden incrementar hasta en un 70 % de su peso seco (Metzger y Largeau, 2005); estas especies se denominan oleaginosas y algunas de ellas se han propuesto como posibles productoras de biodiesel (Han et al., 2015; Medipally et al., 2015).

Otro ejemplo de respuesta a estímulos estresantes es la producción de los pigmentos carotenoides antioxidantes astaxantina y beta-caroteno por las microalgas *Haematococcus pluvialis* y *Dunaliella salina* respectivamente (Fig. 2); estos pigmentos son empleados en la producción de alimentos balanceados para peces y crustáceos (Khatoon y Pal, 2015; Tran et al., 2014; Park et al., 2014), pero su uso se está ampliando a otras industrias (de otros alimentos, farmacéutica y nutracéutica). Los estímulos estresantes empleados son una alta irradiancia y déficit de nitrógeno para *H. pluvialis* (Jian et al., 2011) y deficiencia de nutrientes y alta osmolaridad para *D. salina* (Jin y Melis, 2003). Como productoras de

moléculas de interés farmacéutico, las microalgas representan un gran potencial pues producen una gran diversidad de compuestos y comparada con las plantas vasculares su complejidad estructural es menor, además de que se pueden cultivar en terrenos no agrícolas e incluso con agua marina (Valverde *et al.*, 2016).

Cualquier investigación que requiera del uso de microalgas debe contar con una cepa, es decir, una variedad de la especie con características determinadas que se propaga por clonación para producir copias idénticas. Las colecciones de microalgas son una de las fuentes más comunes de éstas, ya que su

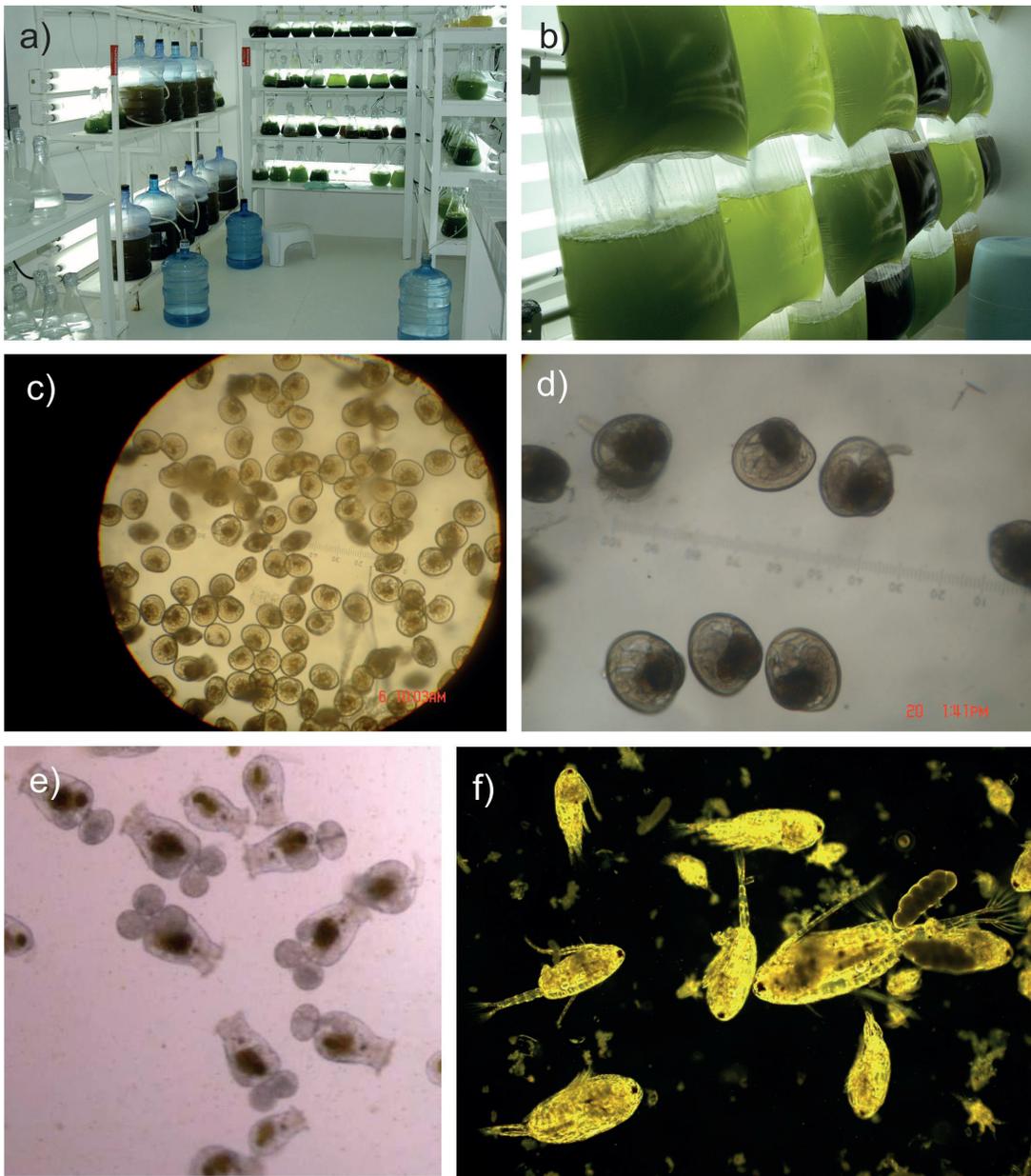


Figura 2.- Cultivo de microalgas para la acuicultura de moluscos y zooplancton. a) producción de inóculos de microalgas, b) escalamiento de microalgas en bolsa de 40 L, c) larvas véliger de *Lyropecten subnodosus*, d) larvas pedivéliger de *Lyropecten subnodosus*, e) *Brachionus plicatilis*, rotíferos empleados como alimento vivo para peces, f) *Pseudodiaptomus euryhalinus*, copépodos empleados como alimento para peces.

función principal es mantener este material vivo, el cual puede posibilitar un suministro constante de cepas para investigación en diferentes campos, *e. g.* biología, fisiología, taxonomía, así como para el escalamiento y producción de biomasa para diversas aplicaciones en diferentes campos de la Biotecnología (Lorenz *et al.*, 2005; Cadoret *et al.*, 2012).

Antecedentes

El cepario de Microalgas del CIBNOR se inició en 1996 por iniciativa del Biol. Francisco Magallón Barajas, con el fin de apoyar a los trabajos de los investigadores del Programa de Acuicultura del CIBNOR. La Dra. Bertha Olivia Arredondo Vega fue la responsable académica durante el período de 1996 a 2005. En ese tiempo, las cepas fueron compradas a colecciones internacionales como UTEX y CCMP o donadas por investigadores. Posteriormente se adquirieron cepas de otras colecciones (CSIRO, IFREMER, CICESE) e instituciones (por

convenio UABC-CIBNOR). En este periodo se obtuvieron apoyos de CONABIO para equipar el cepario, para trabajar en el aislamiento y mantenimiento de cepas de microalgas nativas de la región y, hasta 2004, se albergaron 56 cepas (48 eucariotas y 8 procariotas) (Fig. 3).



Figura 3. Colección de microalgas del CIBNOR en el 2003.

En 2005 y 2007 se incorporaron la Dra. María Concepción Lora Vilchis y el Q.F.B. Marte Virgen Félix como responsable académica y responsable técnico del cepario, respectivamente.

Posteriormente con el apoyo de la Secretaría de Energía (SENER) y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) (2012-2016), se incorporaron nuevas cepas aisladas del medio natural, por lo que actualmente la colección alberga 156 cepas de los grupos: Chlorophyceae, Rhodophyceae, Eustigmatophyceae, Prymnesiophyceae, Bacillariophyceae, Dynophyceae y Cyanophyceae, de ambientes diversos: agua dulce, salobre y marina (Fig. 4).

El formar una colección de cepas de microalgas vivas, plantea diferentes preguntas, entre las primeras y más importantes está el

determinar el propósito de la colección, ¿qué tipo de cepas se van a mantener? y ¿con qué objetivos?

Una vez definido el propósito, surgen varios cuestionamientos más: ¿cómo se obtendrán las cepas?, ¿cómo se realizarán el aislamiento, el mantenimiento, la purificación, y la identificación taxonómica?

Una vez resueltas estas interrogantes, surgen otras preguntas acerca de los recursos económicos, ¿de dónde provendrá el financiamiento para el mantenimiento de las cepas de la colección?, ¿las nuevas tendencias en investigación a nivel del CONACyT reconocerán la importancia de las colecciones?, con relación a la Colección de Microalgas del CIBNOR, ¿cuáles son las perspectivas?

A continuación se dará un panorama general de las posibles respuestas a estas preguntas.

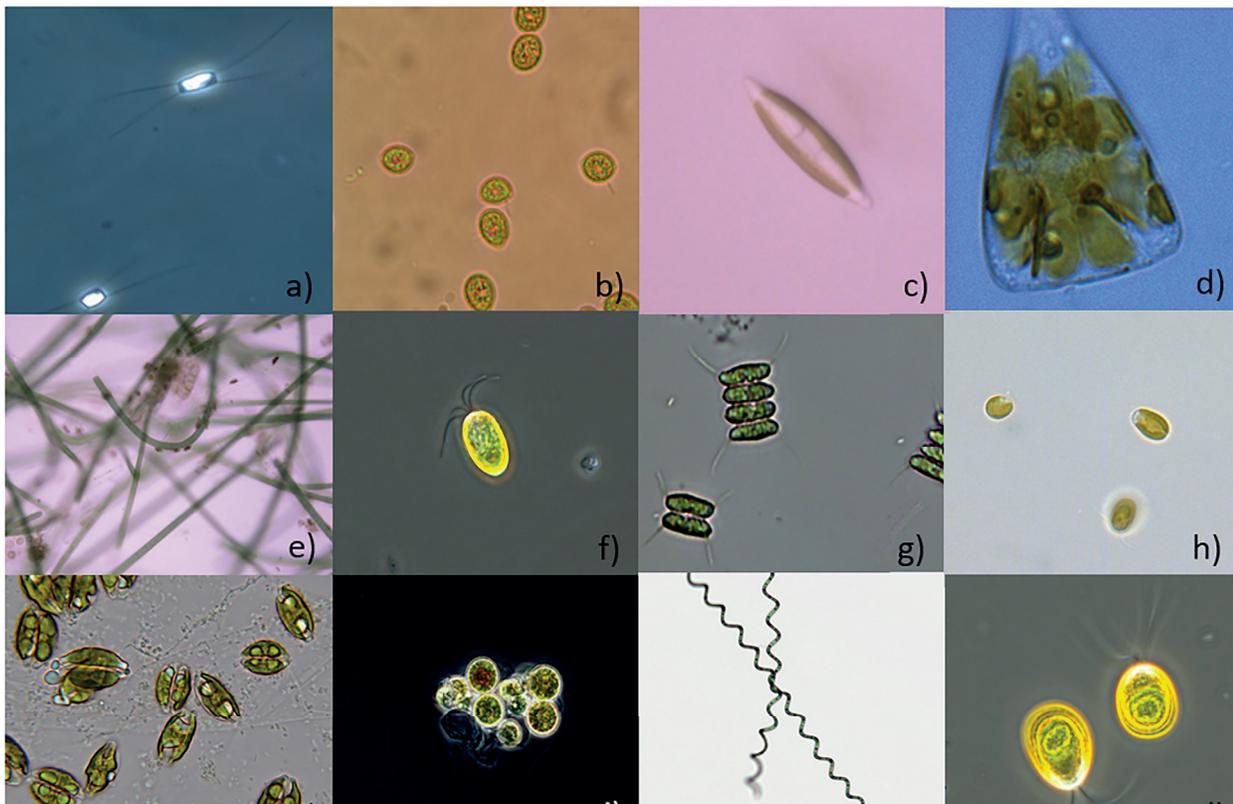


Figura 4. Fotografías al microscopio de microalgas. a) *Chaetoceros calcitrans*, contraste de fases, b) Chlorophyta, luz blanca, c) diatomea pennada, luz blanca, d) *Licmophora* sp., luz blanca, filtro verde, e) cianobacterias filamentosas, luz blanca, f) *Tetraselmis suecica* contraste de fases, luz blanca, g) *Desmodesmus communis*, luz blanca, h) *Isochrysis* sp., luz blanca, i) *Amphora* sp., Luz blanca, j) *Haematococcus pluvialis*, contraste de fases, k) *Arthrospira platensis* (Spirulina), luz blanca, l) *Dunaliella tertiolecta*, contraste de fases.

Objetivos del Cepario de Microalgas del CIBNOR

Al igual que otros ceparios de microalgas, el propósito es mantener cepas formalmente identificadas (taxonómicamente u operativamente) en condiciones adecuadas para proporcionarlas a quien las solicite para su uso. En primer lugar, el Programa de Acuicultura del CIBNOR tradicionalmente ha requerido del uso de las microalgas como alimento vivo. Sin embargo, actualmente otros laboratorios tanto nacionales como extranjeros de investigación y de producción (empresas en acuicultura)

requieren también de estas cepas para alimentación de sus organismos y han solicitado este apoyo.

Asimismo, de 2008 a la fecha, los proyectos en vinculación con empresas mexicanas se han enfocado sobre la producción de biomasa microalgal rica en diversos componentes, *e.g.*, en proteínas, antioxidantes, pigmentos, lípidos; algunos con uso potencial como complemento alimenticio y nutracéutico, por lo que las investigaciones enfocadas en la evaluación de diferentes parámetros de cultivo para la producción y evaluación de la calidad de la biomasa microalgal, se ha ido fortaleciendo y ha generado interés con empresas mexicanas.

Por otro lado, la ubicación geográfica del CIBNOR le confiere características ambientales particulares dada su proximidad al ambiente marino, además de que los cuerpos de agua dulce son más escasos en nuestro estado (BCS), por lo que el

aislamiento, principalmente de cepas marinas y en menor medida dulceacuícolas, se ha llevado a cabo en forma natural e inevitable. Conforme el conocimiento y la diversidad de cepas de la colección se ha incrementado, se han ampliado los objetivos a diferentes áreas de la investigación científica en biología, fisiología y biotecnología.

Obtención de cepas

La obtención de cepas de microalgas puede hacerse por diferentes vías: por compra a alguna colección, por donación, o por aislamiento del medio natural. En México, la compra de cepas a colecciones internacionales requiere de una importación, previa autorización sanitaria (COFEPRIS), permiso de importación para cepas no tóxicas (SENASICA) y revisión aduanal. Es importante que el traslado se realice en un corto plazo y con el cuidado adecuado, evitando cambios bruscos de temperatura e iluminación que vendrían a

deteriorar e incluso a “eliminar” la cepa.

La obtención por aislamiento del medio natural es un proceso más largo que requiere de la habilidad y experiencia del aislador. Hay varios métodos de aislamiento; entre los generales se incluye la dilución seriada de la muestra en medio líquido, o sólido, el estriado en agar (Arredondo-Vega y Voltolina (eds.), 2007); los métodos intermedios usan una micropipeta de vidrio para separar células (Andersen y Kawachi, 2005), y entre los muy especializados se encuentra la citometría de flujo (Guillard, 2005). El método de elección dependerá de las características de las células tales como tamaño y forma, de la habilidad e ingenio de quien aisle, ya que pueden emplearse incluso métodos combinados, además de las posibilidades del laboratorio para el uso de equipo sofisticado. La idea es separar una sola célula y de ella partir para formar un clon (Fig. 5). Una vez aisladas, las células se deberán colocar en el medio

de cultivo diluido de elección (del 25 al 50%) de manera que no se estresen por cambios bruscos en su nuevo medio y en condiciones de luz y temperatura adecuadas para su replicación (Guillard, 2005; Lorenz *et al.*, 2005). Una vez que se observa crecimiento, se deberá escalar el cultivo llevándolo a mayor volumen.

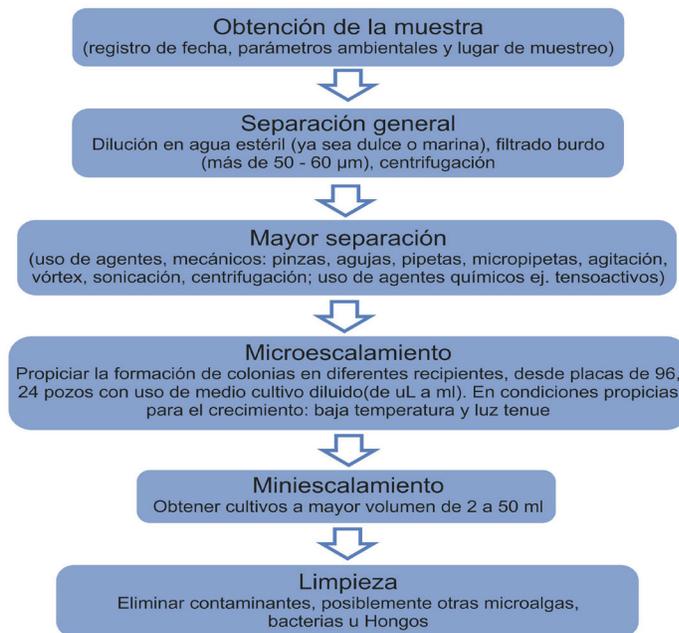


Figura 5. Procedimiento general para aislamiento y purificación de cepas de microalgas.

La recomendación es mantener una proporción del 10 – 20 % de inóculo (Andersen y Kawachi, 2005).

En ocasiones las cepas aisladas no se logran obtener como unialgales, lo cual no se ve de inmediato sino hasta cuando un cultivo se ha desarrollado. En estos casos, lo adecuado es purificarlas o repetir el aislamiento hasta obtener cepas unialgales (o monoespecíficas). Existen diversos métodos para la purificación de cepas que se emplean dependiendo de las características morfológicas y fisiológicas de cada cepa; por ejemplo, diatomeas y cianobacterias pueden eliminarse usando dióxido de germanio y antibióticos, respectivamente; algunos dinoflagelados pueden separarse empleando su respuesta de fototaxis (Guillard, 2005; Kawai *et al.*, 2005).

Mantenimiento de cepas

El cultivo de células de microalgas puede tener varios objetivos, entre ellos producir biomasa y obtener células en etapas de desarrollo específicas en términos morfológicos, fisiológicos y de composición bioquímica. Por ejemplo, para uso en acuicultura (Lorenz *et al.*, 2005) las condiciones de cultivo deben ser óptimas para producir la mayor cantidad de biomasa en el menor tiempo posible con una composición alta en proteínas y ácidos grasos esenciales.

En las colecciones de microalgas un objetivo no es producir gran cantidad de biomasa, sino mantener las cepas vivas en las mejores condiciones fisiológicas y morfológicas. Para tal fin, se requieren condiciones subóptimas para reducir la tasa de crecimiento, de modo que las resiembras se realicen lo más espaciado posible.

Las células se mantendrán tratando de extender al máximo la fase exponencial,

poco antes de entrar a la fase de crecimiento estático o de meseta. En algunos casos las cepas se mantendrán en fase estacionaria pero asegurando que un nuevo cultivo pueda iniciar a partir de éstas células.

Esto se consigue disminuyendo la temperatura y aplicando luz tenue, manteniendo ciclos de luz y oscuridad; lo recomendado es una temperatura de 20°C, una intensidad luminosa de 10 – 30 $\mu\text{mol quanta} / \text{m}^2 / \text{s}$ y un fotoperiodo de 12:12 h.

La periodicidad de resiembra dependerá de cada especie, pero en todas las colecciones este proceso demanda mucho tiempo y atención (Fig. 6). Los periodos de resiembra pueden variar; los más cortos pueden ser de cuatro semanas y los más largos de 3 a 6 meses (Lorenz *et al.*, 2005). Esta rutina permite optimizar los recursos y establecer un programa anual para cada cepa.



Figura 6. Cepario de microalgas del CIBNOR. a) resiembra de microalgas en campana de flujo laminar, b) colección de microalgas del CIBNOR, c) cepas en matraces, colección de microalgas del CIBNOR, d) cepas en tubos de ensaye, colección de microalgas del CIBNOR.

Es importante determinar el medio de cultivo a emplear, ya que éste deberá proporcionar los nutrientes en forma similar al hábitat natural de la cepa; debe ser relativamente fácil de preparar y ser común a muchas cepas, de modo que el trabajo sea manejable. Si el medio es sintético, en muchos casos durante la fase inicial del mantenimiento no se observarán alteraciones en las células; pero conforme pase el tiempo se podrían presentar.

Esto puede reflejar una carencia en algunos nutrientes, por lo que es recomendable emplear algún medio mixto que tenga como base, por ejemplo, agua de mar para cepas marinas e incluso en baja proporción para cepas de agua dulce.

Las cepas se pueden mantener tanto en medio líquido como sólido: la elección del tipo de medio dependerá de la especie, pues algunas por ejemplo las flageladas no crecen bien en placa de agar y algunas diatomeas modifican su morfología tanto, que a

veces pueden parecer cepas diferentes a las cultivadas en medio líquido (Guillard, 2005; Lorenz *et al.*, 2005). En todos los casos, las cepas deberán conservarse por duplicado en cultivos “nuevos” (recién inoculados); los cultivos “viejos” deberán mantenerse por un tiempo suficiente como respaldo, hasta cuando se tenga crecimiento evidente en los cultivos “nuevos”, ya sea en medio líquido o sólido. El buen estado de las cepas se corrobora mediante observaciones visuales del color y brillo característico de los cultivos hasta observaciones periódicas al microscopio. En todos los casos se debe llevar un registro por cepa en la bitácora correspondiente. Todo esto requiere dedicar mucho tiempo y atención por lo que el uso de la liofilización y la ultracongelación se han evaluado como métodos de preservación (Abreu *et al.*, 2012; Imen *et al.*, 2015). Desafortunadamente muy pocas especies han podido preservarse en alguna de estas formas, es por ello que las

investigaciones aún continúan (Guillard, 2005; Abreu *et al.*, 2012).

Identificación taxonómica

El corroborar que las cepas aisladas son unialgales (monoespecíficas) requiere de varias resiembras; una vez confirmado esto se asigna una clave temporal hasta cuando se realice su identificación taxonómica; entonces se asignará una clave definitiva.

Los métodos para determinar la identificación taxonómica pueden ser con base en su morfología y/o su información genética por análisis moleculares. Cuando el tamaño de la célula es mayor a 20 μm y las estructuras de la pared celular utilizadas para la identificación, *e. g.* en diatomeas, el número de estrías en 10 μm , características del rafe, o el tamaño de placas en dinoflagelados armados, etc., son los suficientemente claras al microscopio de luz, este es el primer método de elección; de no ser así se buscará observar los detalles ultraestructurales por medio de microscopía electrónica (Fig. 7).

El análisis molecular es otra metodología para la identificación de especies de microalgas; esta es especialmente necesaria cuando no hay una ultraestructura de la pared celular de la especie con características particulares observables a nivel de microscopía electrónica. En estos casos el uso de marcadores moleculares se ha empleado utilizando diferentes regiones del ADN en los genomas: nuclear, mitocondrial y de cloroplastos. Los caracteres moleculares como la secuencia de ADN

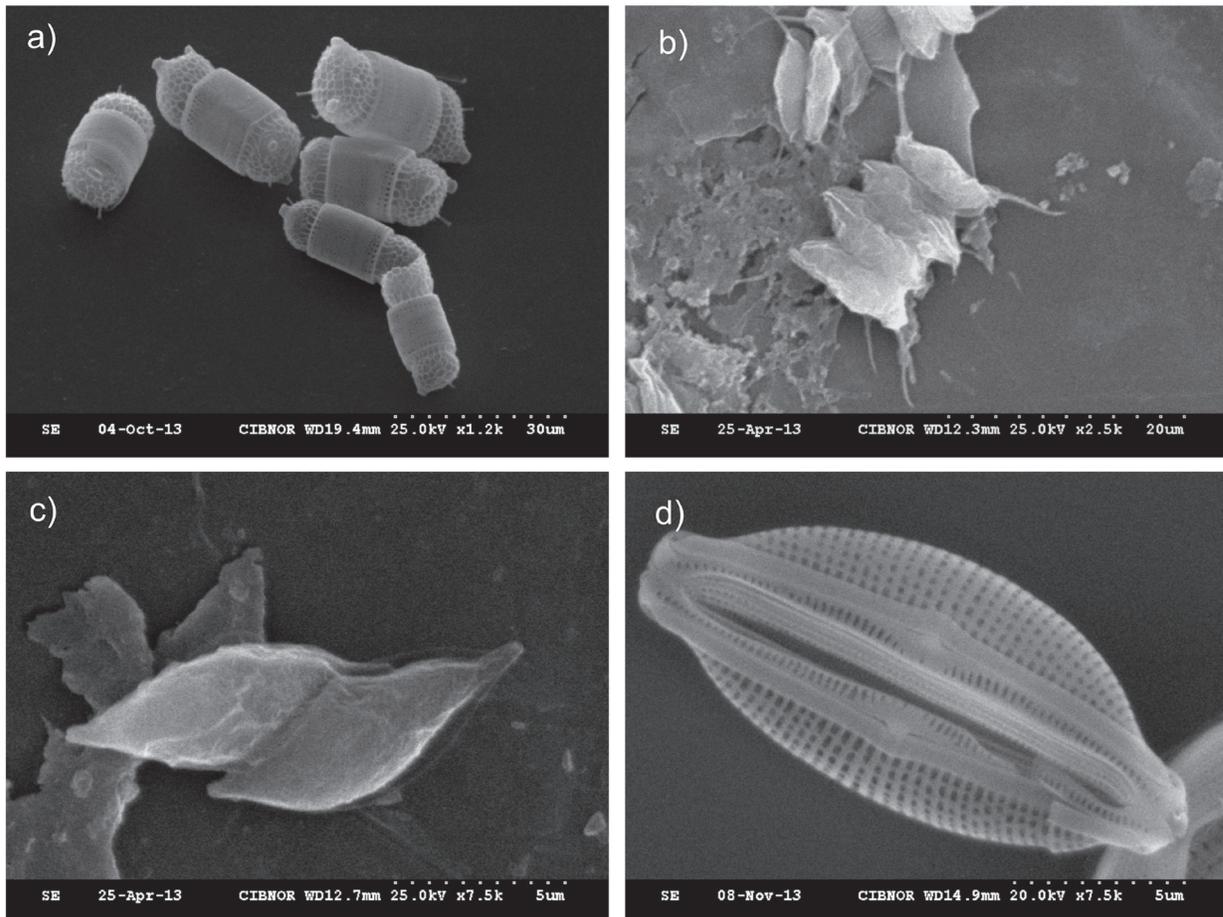


Figura 7. Fotografías al microscopio electrónico de barrido del CIBNOR. a) *Triceratium dictyotum*, b) *Desmodesmus communis*, c) *Scenedesmus* sp. d) *Halamphora coffeiformis*

proporcionan una valiosa información para la determinación de la taxonomía de las especies, debido a la tasa de evolución constante en comparación con los caracteres morfológicos, especialmente en especies muy relacionadas y en especies crípticas que son difíciles de separar. Sin embargo, el solo uso de datos moleculares, puede que no resuelva todos los problemas taxonómicos de las algas. Es importante mencionar que aunque éstos últimos son muy utilizados, no son una solución infalible y requieren de una cuidadosa revisión pues en algunos casos pueden confundir; muchos analistas moleculares no son ficólogos y en ocasiones sus reportes pueden ser erróneos. Por lo anterior el uso apropiado de marcadores genéticos y su combinación con datos morfológicos puede dar una



evidencia más completa para discriminar las especies o géneros específicos.

Cepario de microalgas del CIBNOR; perspectivas a futuro.

Las cepas albergadas en la colección del CIBNOR incluyen a las principales especies de uso en acuicultura marina, otras son objeto de investigación para la producción de: antidiabéticos, ácidos grasos esenciales, antioxidantes, bloqueadores solares, pigmentos, antibióticos, e inhibidores enzimáticos, por diferentes grupos de investigadores, tanto del CIBNOR como de otras partes de México; e incluso en otros países de Latinoamérica. A partir del 2012 con el apoyo del proyecto SENER-CONACYT, se han seleccionado e incorporado cepas con alto potencial productor de lípidos y pigmentos carotenoides tanto de agua dulce como marina. Este proyecto también ha servido para incursionar en los métodos tradicionales (morfométricos) y moleculares para la identificación taxonómica de las cepas aisladas. De esta forma y con apoyo de especialistas como el Dr. Francisco Omar López Fuerte durante su estancia posdoctoral (2015-2016), se ha hecho uso de técnicas de microscopía de luz y electrónica para identificar las diatomeas, y mediante el análisis molecular se ha realizado la caracterización de este y otros grupos de microalgas de la colección con el apoyo del Dr. Gopal Murugan. Actualmente se continúa con la incorporación de cepas nativas de Baja California Sur y otras regiones de México y se pretende que la Colección de Microalgas del CIB sea un referente nacional a corto plazo e internacional a mediano plazo.

Sin embargo, mantener esta colección y hacerla crecer requiere de un apoyo económico que cada vez es más difícil de obtener mediante proyectos. Por lo anterior ha sido necesario adicionar un costo de recuperación para el mantenimiento de las cepas. La información relevante de las cepas que integran la Colección de Microalgas del CIBNOR se puede consultar en:

<http://www.cibnor.mx/investigacion/colecciones-biologicas/coleccion-de-microalgas>

y en

<http://www.biodiversidad.gob.mx/fichas-conabio-war/resources/coleccion/427>

En este proceso de reestructuración de la Colección de Microalgas del CIBNOR, la experiencia del personal encargado de la misma se ha visto reforzada en cuanto a dar asesoramiento, capacitación en el aislamiento y mantenimiento de las cepas, análisis bioquímicos y en apoyar o realizar la identificación taxonómica de otras cepas.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de: SENER-CONAYT (Proy. 152931 “Biorefinería para la producción de biogás, biodiesel e hidrógeno a partir de microalgas y de aguas residuales domésticas”), CONACYT (Estancias Posdoctorales Vinculadas al Fortalecimiento de la Calidad del Posgrado Nacional) por la beca posdoctoral del Dr. Francisco Omar López Fuerte y de CONABIO (Ref. AIC034/97,

DTEP/1288/98. “Apoyo a la infraestructura de las colecciones”) por el apoyo financiero, al Ing. Ariel Cruz responsable del laboratorio de microscopía electrónica del CIBNOR por la toma de fotografías con el microscopio electrónico de barrido del CIBNOR y a los colegas revisores por sus acertadas sugerencias y comentarios. Los Autores agradecemos al Lic. Gerardo Hernández el diseño gráfico editorial y a la Ms.C. Diana Dorantes la revisión del Idioma Inglés del Abstract.

Referencias

- Abreu, L., Borges, L., Marangoni, J. y Abreu, P. C. 2012. *Cryopreservation of some useful microalgae species for biotechnological exploitation*. Journal of Applied Phycology 24: 1579 –1588.
- Andersen, R. A. y Kawachi, M. 2005. *Traditional Microalgae Isolation Techniques*. En: Andersen, R. A. (Ed.) *Algal Culturing Techniques*. Elsevier Academic Press. Phycological Society of America. Burlington, MA 01803, USA. 83 - 100 pp.
- Arredondo Vega, B. O. y Voltolina, D. (Eds.) 2007. *Métodos y herramientas analíticas en la evaluación de biomasa microalgal*. Publicaciones CIBNOR. ISBN 968 5715 51, 97 pp.
- Barsanti, L. y Gualtieri, P. 2014. *Algae. Anatomy, Biochemistry and Biotechnology*. CRC Press. Taylor and Francis Group. Boca Raton, FL. USA. 345 pp.
- Cadoret, J. P., Garnier, M. y Saint-Jean, B. 2012. *Microalgae, Functional Genomics and Biotechnology*. Advances in Botanical Research 64: 285–341.
- Falkowski, P. G. y Raven, J. A. 2008. *Aquatic Photosynthesis*. Blackwell Scientific, Oxford, UK 1997. 597 pp.
- Guedes, A. C., y Malcata, F. X. 2012. *Nutritional value and uses of microalgae in aquaculture*. INTECH Open Access Publisher.
- Guillard, R. R. L. 2005. *Purification Methods for Microalgae*. En: Andersen, R. A. (Ed.) *Algal Culturing Techniques*. Elsevier Academic Press. Phycological Society of America. Burlington, MA 01803, USA. 117-132 pp.
- Guiry, M. D. 2012. *How many species of algae are there?*. Journal of Phycology 48: 1057-1063.
- Guschina, I. A. y Harwood, J. L. 2006. *Lipids and lipid metabolism in eukaryotic algae*. Progress in Lipid Research 45: 160–186.
- Han, S. F., Jin, W. B., Tu, R. J., y Wu, W. M. 2015. *Biofuel production from microalgae as feedstock: current status and potential*. Critical Review in Biotechnology 35(2): 255–268.
- Imen, S., Emadi, A., Maryam, E. A., Touria, B., Kira y S., Hareb, A. J. 2015. *Cryopreservation of microalgae from desert environments of Qatar*. Journal of Applied Phycology 27(6): 1-8
- Jian, L., Daling, Z., Jianfeng, N. Songdong, S. y Guangce, W. 2011. *An economic assessment of astaxanthin production by large scale cultivation of Haematococcus pluvialis*.

- Biotechnology Advances 29 (6): 568 – 574.
- Jin, E. S. y Melis, A. 2003. *Microalgal biotechnology: Carotenoid production by the green algae Dunaliella salina*. Biotechnology and bioprocess engineering 8: 331-337.
- Kawai, H., Motomura, T. y Okuda, K. 2005. *Isolation and Purification Techniques for Macroalgae*. En: Andersen, R. A. (Ed.) *Algal Culturing Techniques*. Elsevier Academic Press. Phycological Society of America. Burlington, MA 01803, USA. 133-143 pp.
- Khatoon, N. y Pal, R. 2015. *Microalgae in Biotechnological Application: A Commercial Approach*. En: Bahadur, B., Rajam, M. V., Sahijram, L. Y Krishnamurthy, K. V (Eds.). *Plant Biology and Biotechnology Volume II: Plant Genomics and Biotechnology*. Springer, New Delhi, India. 27-47 pp.
- Lorenz, M., Friedl, T. y Day, J. G. 2005. *Perpetual Maintenance of Actively Metabolizing Microalgal Cultures*. En: Andersen, R. A. (Ed.) *Algal Culturing Techniques*. Elsevier Academic Press. Phycological Society of America. Burlington, MA 01803, USA. 145-156 pp.
- Martins, D. A., Custódio, L., Barreira, L., Pereira, H., Ben-Hamadou, R., Varela, J. y Abu-Salah, K. M. 2013. Alternative sources of n-3 long – chain polyunsaturated fatty acids in marine microalgae. *Marine Drugs* 11: 2259-2281.
- Medipally, S.R., Yusoff, F.M., Banerjee, S. y Shariff, M. 2015. *Microalgae as Sustainable Renewable Energy Feedstock for Biofuel Production*. BioMed Research International, ID 519513. 13pp. doi: 10.1155/2015/519513 .
- Metzger, P. y Largeau, C. 2005. *Botryococcus braunii: a rich source for hydrocarbons and related ether lipids*. *Applied Microbiology and Biotechnology* 66: 486–496.
- Muller-Feuga, A. 2000. *The role of microalgae in aquaculture: situation and trends*. *Journal of Applied Phycology* 12: 527–534.
- Muller-Feuga, A., Moal, J., Kaas, R. 2003. *The microalgae of aquaculture*. En: Støttrup, J. S. y McEvoy, L. A. *Live feeds in marine aquaculture*. Blackwell Publishing. Oxford, OX4 2DQ, UK. 206-252 pp.
- Odjadjare, E. C., Mutanda, T., y Olaniran, A. O. 2015. *Potential biotechnological application of microalgae: a critical review*. *Critical Reviews in Biotechnology*, 1-16.
- Park, J. C., Choi, S. P., Hong, M. E., y Sim, S. J. 2014. *Enhanced astaxanthin production from microalga, Haematococcus pluvialis by two-stage perfusion culture with stepwise light irradiation*. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 37: 2039–2047.
- Tran, D., Doan, N., Louime, C. Giordano, M. y Portilla, S. 2014. *Growth, antioxidant capacity and total carotene of Dunaliella salina DCCBC15 in a low cost enriched natural seawater medium*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 30:317–322.
- Valverde, F., Romero-Campero, F. J., León, R., Guerrero, M. G. y Serrano, A. 2016. *New challenges in microalgae biotechnology*.

European Journal of Protistology. En: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejop.2016.03.002> .

Vonshak, A. (ed.) 1997. *Spirulina platensis (Arthrospira)*: Physiology, Cell-biology and Biotechnology. Taylor & Francis, Inc. 1900 Frost Road, Suite 101 Bristol, PA 19007-9925 USA, 1977. 233 pp.

Cita de este artículo

Lora Vilchis M. C., M. Virgen Félix, F. Omar López Fuerte, B. O. Arredondo Vega, G. Murugan . 2016. ¿Conservar fitoplancton vivo? Cepario de microalgas del CIBNOR. Recursos Naturales y Sociedad, Vol. 2 (2): 40-55. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2016.02.02.02.0003>

Sometido: 25 de Junio de 2016

Revisado: 18 de Agosto de 2016

Aceptado: 10 de Septiembre de 2016

Editor asociado: Dr. Pedro Cruz Hernández

Idioma Inglés Abstract: Ms.C. Diana Dorantes

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández García