

Beneficios de los florecimientos macroalgales para la producción de biofertilizantes

Martin F. Soto-Jimenez^{1§}
María Julia Ochoa-Izaguirre²
Elsa I. Bojorquez-Mascareño¹

¹Instituto de Ciencias del Mar y Limnología-Universidad Nacional Autónoma de México. Calzada de la Azada s/n, Centro, Mazatlán, México. ²Facultad de Ciencias del Mar-Universidad Autónoma de Sinaloa. Paseo Claussen s/n, Col. Los Pinos, Mazatlán, Sinaloa, México. CP. 80000. (mochoa@uas.edu.mx; aidet.sinaloa@yahoo.com).

§Autor para correspondencia: martin@ola.icmyl.unam.mx.

Resumen

En el presente ensayo se propone una alternativa para la producción de biofertilizantes a partir del aprovechamiento de los florecimientos macroalgales que se están suscitando en las lagunas costeras de Sinaloa. Las comunidades aledañas a las costas pueden obtener un beneficio económico al cosechar adecuadamente parte de la biomasa resultante de dichos florecimientos. La biomasa macroalgal extraída podría ser usada para la producción de biofertilizantes, con los siguientes beneficios: a) mitigar el daño ecológico provocado por los florecimientos macroalgales a los ecosistemas costeros eutrofizados; b) el uso de fertilizantes orgánicos en campos agrícolas permite reciclar N y P, evitando así, la aplicación de mas fertilizantes sintéticos, los cuales son los principales responsables de los florecimientos macroalgales; c) los biofertilizantes a base de macroalgas además de contener, N y P, contienen un conjunto de micronutrientes y sustancias con el potencial de beneficiar a los cultivos y mejorar los suelos; d) se contribuye al secuestro de carbono y a la reducción de gases de efecto invernadero en la atmósfera; y e) beneficios económicos en el aprovechamiento de una materia prima, hoy en día, de bajo valor o sin valor comercial. Tales biofertilizantes se utilizarían para producir frutos y vegetales de los denominados orgánicos, los cuales tienen una alta plusvalía y su demanda va en aumento en México y en el mundo. Esta es una alternativa enfocada en la producción de biofertilizantes para su utilización en la agricultura orgánica y producción de frutos de alto valor económico, los cuales pueden ser acreditados como orgánicos y al mismo tiempo, contribuir al mejoramiento de los suelos y del estado de salud de los ecosistemas costeros.

Palabras clave: agricultura orgánica, eutrofización, lagunas costeras, Sinaloa.

Recibido: agosto de 2019

Aceptado: octubre de 2019

Uso de fertilizantes sintéticos

A partir de que los químicos Carl Bosch y Fritz Haber desarrollaran el proceso Haber-Bosch, fue posible sintetizar amoníaco (NH_3) de manera industrial, mediante la reacción entre nitrógeno molecular (N_2) y metano (CH_4) a altas temperaturas y presiones. Este proceso pronto detonó la producción de fertilizantes sintéticos, y asociado a la producción de plaguicidas, el desarrollo de sistemas de irrigación y los avances tecnológicos para la mecanización del cultivo, permitieron un crecimiento exponencial en la agricultura en la década de los 1940's.

Con la denominada revolución verde, la agricultura pasó de ser una actividad artesanal y poco productiva, a una actividad intensiva, altamente mecanizada y fertilizada. Hoy en día, la producción global de cereales se estima en 2 498 millones de toneladas, con un consumo de fertilizantes de 186.9 millones de toneladas. En 2018, la demanda mundial de fertilizantes se proyectó en 200.5 millones de toneladas: 60% N+23% P_2O_5 +17% K_2O .

En México, la agricultura también experimentó un crecimiento acelerado, impulsado por el aumento de la superficie cultivada de riego, incremento de la frecuencia de las cosechas y el aumento en los rendimientos. Actualmente, la agricultura se practica en 32.41 millones de hectáreas, con 79% de temporal y 21% de riego (INEGI, 2017). La agricultura de temporal es dependiente de las lluvias, permite un cultivo por año, es de baja intensidad, poco productiva y de menor impacto ambiental. La agricultura de riego utiliza un sistema de riego artificial (por gravedad o rodado, goteo, aspersión), permite al menos dos cultivos al año, es altamente mecanizada y fertilizada y por supuesto, más productiva, pero de mayor impacto ambiental. El consumo de fertilizantes en México se estima en unos 4 millones de toneladas por año, con una tasa de crecimiento anual de 3-5% (FAO, 2015).

De acuerdo con Calderón-Salazar (2017), el campo mexicano es poco competitivo en el contexto internacional y no permite la autosuficiencia alimentaria; más de 80% del arroz, 31% del maíz y 65% del trigo que se consume en México es importado. La falta de competitividad se debe a que en los últimos 35 años la infraestructura, tecnología, calificación de la mano de obra, organización de la producción, vinculación de mercados y estructuración del sistema financiero se ha rezagado, aunado al hecho de que el Tratado de Libre Comercio de América del Norte ha sido desfavorable para el agro mexicano.

Una explicación a la falta de competitividad es el alto costo de los fertilizantes sintéticos que representan el 60% en los cultivos de temporal y 30% en los de riego (Aguado-Santacruz, 2012; INEGI, 2017). En 2017, el precio de lista de los fertilizantes granulados varió de \$8 002.00 por tonelada para urea granulada a \$13 015.00 pesos por tonelada para nitrato de amonio, y los fertilizantes líquidos de \$7 831.00 pesos por tonelada para nitrato de amonio+urea a \$10 750.00 pesos por tonelada para amoníaco anhidro (Secretaría de Fomento Agropecuario, 2018). Más de 85% del volumen de fertilizantes consumidos se importan. De acuerdo con la Encuesta Nacional Agropecuaria (INEGI-SAGARPA, 2014), 75.7% de los productores agrícolas menciona que los altos costos de los insumos y servicios son el principal problema que enfrentan. Otro problema es la pérdida de cosechas por causas climáticas y biológicas.

Problemas ambientales por el uso de fertilizantes sintéticos

Además del alto costo de los fertilizantes, solo entre 20 y 40% de lo aplicado es aprovechado por las plantas de cultivo y hasta 60% se evapora a la atmósfera en emisiones gaseosas de amoníaco, óxido nítrico y nitroso, mientras que 20% se escurre a los cuerpos de agua (amonio, nitratos) o se infiltra hacia los mantos freáticos (nitratos) (GeoHab, 2006; Páez-Osuna *et al.*, 2007; Howarth, 2008). La pérdida de nitrógeno trae asociada contaminación ambiental por la emisión de gases de efecto invernadero, con potencial de lluvia ácida, eutrofización de los ecosistemas costeros y la contaminación de los mantos freáticos con nitratos.

Esta contaminación resulta a su vez en efectos negativos a la salud de las personas y de los ecosistemas. Uno de los problemas de afectación ambiental más serios es el proceso conocido como eutrofización costera, que se define como un enriquecimiento de nutrientes en el agua, especialmente nitrógeno o fósforo y materia orgánica, que resulta en el abatimiento de oxígeno en las aguas y condiciones de anoxia en los sedimentos, reduce la transparencia del agua, y genera perturbaciones en los ciclos biogeoquímicos del C, N y P. Entre los efectos ecológicos de la eutrofización se incluyen cambios en la abundancia y composición de la comunidad fitoplanctónica y macroalgal, alteraciones en la calidad y diversidad del hábitat, mortalidad de peces e invertebrados, y variaciones en la estructura de la cadena alimenticia (GeoHab, 2006; Páez-Osuna *et al.*, 2007; Canter, 2018).

Florecimientos macroalgales en lagunas costeras

El incremento en la frecuencia y magnitud de los florecimientos macroalgales en los sistemas costeros alrededor del mundo, tales como las lagunas costeras y estuarios, es considerado el mayor problema ambiental de los ambientes marinos (Valiela *et al.*, 1997; Orth *et al.*, 2006; Teichberg *et al.*, 2010; Barbier *et al.*, 2012). Las costas de México no han quedado ajenas a esta problemática. Diversos trabajos científicos han documentado la existencia de los problemas ambientales y la pérdida de la calidad del agua por el enriquecimiento de nutrientes en la zona costera (Soto-Jiménez *et al.*, 2003a, 2003b; Páez-Osuna *et al.*, 2007).

Los cada vez más frecuentes, intensos y extensos episodios de mareas rojas y florecimientos de macroalgas son una consecuencia del incremento de la eutrofización en aguas costeras. Los florecimientos macroalgales son recurrentes en diferentes áreas costeras de Sinaloa en distintas épocas (Figura 1), derivado del aporte excesivo de nutrientes de actividades agrícolas y pecuarias, desechos urbanos e industriales, quema de combustibles fósiles, y la ocurrencia de procesos naturales de lixiviación de suelos (Piñón-Gimate *et al.*, 2009; Ochoa-Izaguirre y Soto-Jiménez, 2013; 2015).

Los florecimientos macroalgales se destacan por la abundancia de una o dos especies que desplazan a otras especies de macroalgas del ecosistema, causando un desequilibrio en las redes tróficas y produciendo una serie de alteraciones ecológicas. El detrimento de la calidad del agua se traduce en consecuencias negativas para la biota y en pérdidas económicas por daño a pesquerías de múltiples especies que emplean los ambientes costeros como sitio de reproducción y crianza. Además, resultan en pérdida del atractivo turístico ya que se producen olores indeseables durante su descomposición y mal aspecto en los sitios donde se generan y acumulan.

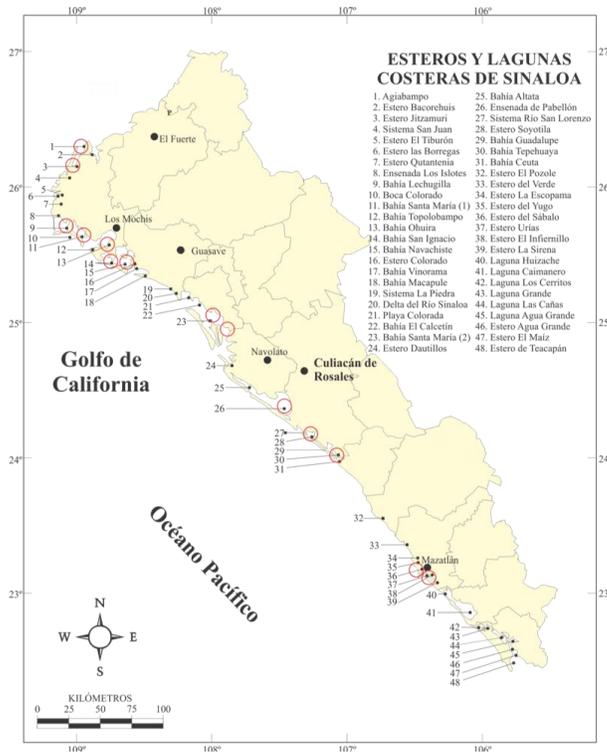


Figura 1. Cuerpos de aguas costeros de Sinaloa con ocurrencia de florecimientos macroalgales observados en nuestros recorridos (en círculo rojo).

Beneficios de las macroalgas como biofertilizantes

Las macroalgas han sido utilizadas durante siglos como alimento y fertilizantes naturales en muchas regiones costeras del mundo (Zemke-White y Ohno, 1999; McHugh, 2003; Craigie, 2011; Wijesekara *et al.*, 2011). El establecimiento del proceso de Haber-Bosch para la elaboración de los fertilizantes químicos sintéticos ocasionó que se perdiera el interés por estos productos naturales. Actualmente, el uso de fertilizantes orgánicos a partir de las algas ha cobrado un mayor interés debido a que se ha observado que el valor de las macroalgas como fertilizantes radica, no solo en su contenido de N y P, sino por que incluyen una amplia gama de elementos trazas esenciales (p. ej. Ca, Mg, S y algunos oligoelementos como B, Cu, Fe, Mn, Mo, y Zn), aminoácidos, vitaminas, auxinas y fitohormonas de tipo citoquininas y giberelinas, que mejoran la calidad de los cultivos (Thirumaran *et al.*, 2009; Khan *et al.*, 2009; Kim, 2011; Kurepin *et al.*, 2014; Seghetta *et al.*, 2016).

La Figura 2 esquematiza los beneficios potenciales del uso de biofertilizantes en un cultivo típico de tomate en Sinaloa. En resumen, este complemento orgánico utilizado como fertilizante basal permite una mejor germinación de las semillas, un incremento en el desarrollo de la raíz, una planta de estabilización más rápida y uniforme, un aumento en la absorción de nutrientes, una explotación más eficiente de los nutrientes. Además, resulta en mejoras de la composición del tejido, mayor resistencia a heladas y sequías y una recuperación más rápida, una mayor resistencia a las enfermedades, plagas (por hongos e insectos) y sequías, y una mayor vida útil (Arioli *et al.*, 2015; Du Jardin, 2015).

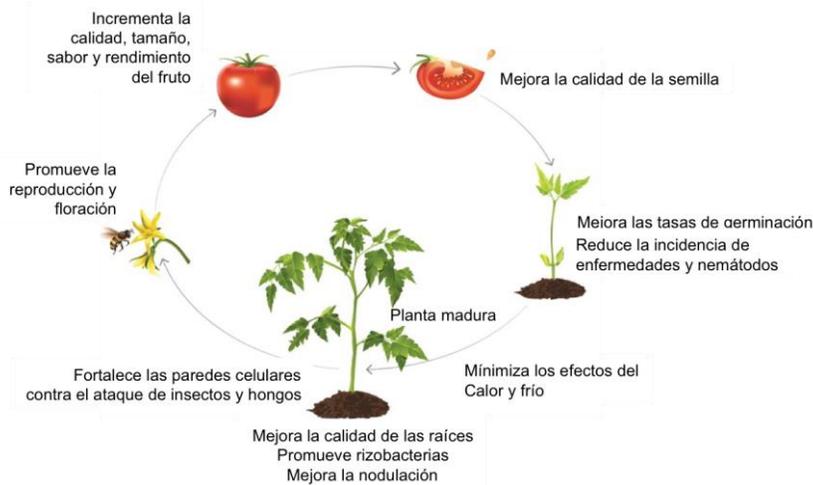


Figura 2. Esquematación de los beneficios de potenciales del uso de biofertilizantes en el cultivo de tomate en Sinaloa.

Las macroalgas son biodegradables, no tóxicas, no contaminantes y no representan ningún peligro para el ser humano, animales o aves; incluso, en algunos países del oriente (China, Japón y Corea) son altamente consumidas como alimento humano (Hong *et al.*, 2007). Con base a este conocimiento, es posible disminuir el daño ecológico causado a los ecosistemas costeros, aprovechando la biomasa de las macroalgas y de esta manera obtener un beneficio económico al cosechar adecuadamente la biomasa resultante de tales florecimientos para su uso como fertilizantes orgánicos.

Otro beneficio ambiental de utilización de biofertilizantes a partir de macroalgas es su capacidad para el secuestro de CO₂ y la consecuente captación de gases de efecto invernadero de la atmósfera, esto debido a que aumenta las capacidades naturales del suelo y de los cultivos para el secuestro de carbono, comparado con el fertilizante sintético. Por otro lado, se reduce la dependencia de la fijación industrial de nitrógeno y la quema de combustibles fósiles.

Avances en investigación en México

Distintos investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de la SAGARPA y del Centro de Biotecnología Genómica del Instituto Politécnico Nacional han contribuido al desarrollo de biofertilizantes en México. La mayor parte de sus avances han sido en el aprovechamiento de microorganismos vivos, mismos que han probado en diferentes cultivos y en distintas regiones del país (Contreras-Cornejo *et al.*, 2009; Aguirre-Medina *et al.*, 2009; Grageda-Cabrera *et al.*, 2012; Aguado-Santacruz, 2012; Zermeño-González, 2015). Los primeros estudios del potencial uso de las macroalgas como biofertilizantes en México fueron realizados en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro desde los 1980s, en colaboración con la empresa Palau Bioquim, SA de CV (Canales-López, 1997; 2000). Tras años de observaciones, estudios e investigaciones, experimentos y pruebas, en 1990 finalmente se logró tener el primer producto comercial a base de extracto de algas marinas en México ALGAENZIMS^{MR} (<http://www.palaubioquim.com.mx>).

Más recientemente, investigadores del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional, en colaboración con la empresa canadiense Acadian Seaplants Limited, han realizado diversas pruebas con extractos de distintas especies de macroalgas que incluyen a *Ulva lactuca*, *Caulerpa sertularioides*, *Padina gymnospora* y *Sargassum liebmannii* como bioestimulante de la germinación y crecimiento de tomate (*Solanum lycopersicum*) y plantas de frijol (Hernández-Herrera *et al.*, 2014; 2016; Castellanos-Barriga *et al.*, 2017).

En lo que respecta al avance de nuestras investigaciones, nos hemos centrado en evaluar el potencial de los florecimientos macroalgales en las lagunas costeras de Sinaloa para la elaboración de biofertilizantes. A la fecha, hemos recabado información sobre la formación de florecimientos macroalgales, los sitios y épocas de aparición, sus biomasas y variaciones en el tiempo. Se han identificado nueve especies de macroalgas formadoras de florecimientos: *Ulva expansa*, *U. lobata*, *U. intestinalis*, *U. clathrata*, *Codium amplivesiculatum*, *Caulerpa sertularioides*, *Gracilaria vermiculophylla*, *Spyridia filamentosa* y *Cladophora* sp.

Los ecosistemas asociados a los valles agrícolas del Fuerte y de Guasave y a la zona urbana de Mazatlán, son de los más afectados. Las fotografías mostradas en las Figura 3 y 4 dan evidencia de florecimientos macroalgales de diversas especies en distintos ecosistemas de costeros de Sinaloa. Destacan las especies *Spyridia filamentosa* y *Codium amplivesiculatum* en un estero del Complejo Lagunar Ohuira-Topolobampo, el florecimiento de *Codium amplivesiculatum* y el arribazón de *Cladophora* sp., en el Sistema Lagunar Navachiste, y los florecimientos de *Ulva clathrata* y *Gracilaria vermiculophylla* en el Estero de Urías, en Mazatlán.

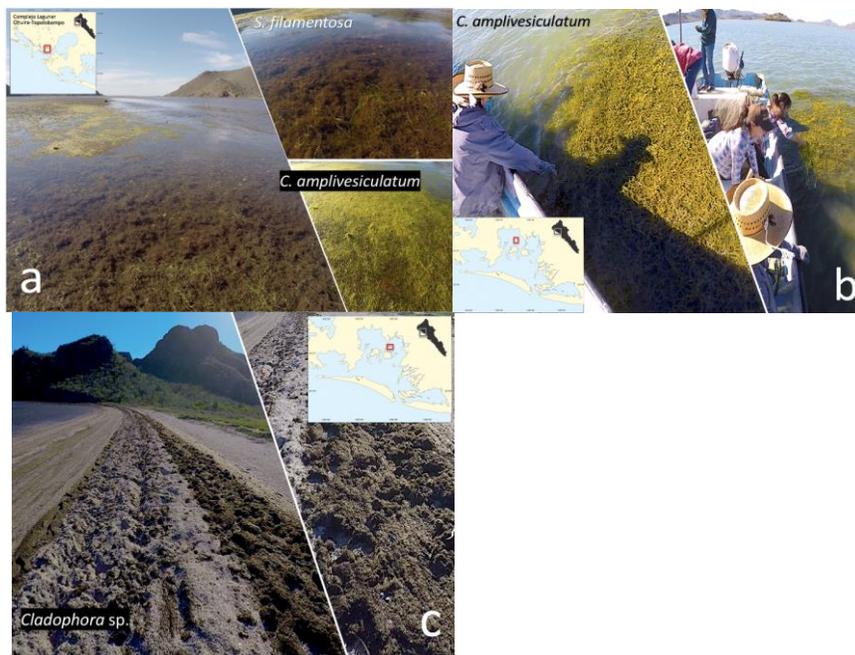


Figura 3. Florecimientos de las especies. a) *Spyridia filamentosa* y *Codium amplivesiculatum* en un estero del Complejo Lagunar Ohuira-Topolobampo, Ahome, Sinaloa (marzo 2017); b) *Codium amplivesiculatum* en el Sistema Lagunar Navachiste, Guasave, Sinaloa (marzo 2017); y c) arribazón de *Cladophora* sp. en el Sistema Lagunar Navachiste, Guasave, Sinaloa (marzo, 2017).

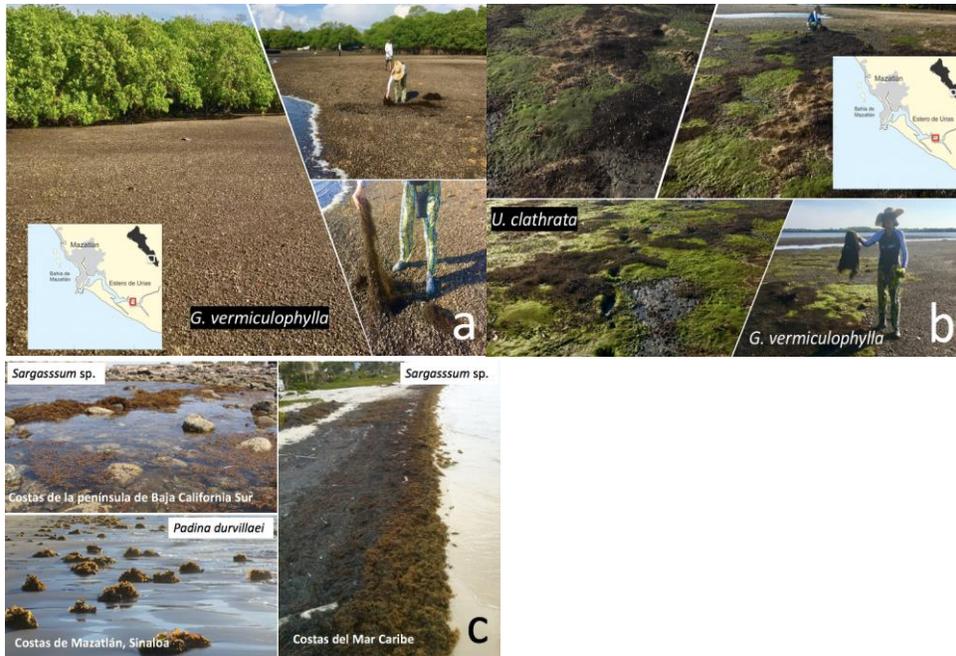


Figura 4. Florecimientos de las especies a) *Gracilaria vermiculophylla* en Estero de Uriás, Mazatlán, Sinaloa (abril 2017); e) las especies *Ulva clathrata* y *Gracilaria vermiculophylla* en Estero de Uriás, Mazatlán, Sinaloa (octubre 2017); y c) arribazones costeras de *Sargassum* sp. en las costas de la Bahía Concepción, BCS, *Padina durvillaei* en Playa norte, Mazatlán, Sinaloa y *Sargassum* sp., a las costas del Caribe Mexicano (mayo, 2018).

Los florecimientos y sus biomásas presentan importantes cambios espaciales y estacionales, relacionados a los cambios en las concentraciones de nutrientes y las condiciones fisicoquímicas de temperatura, salinidad e irradiación solar en las aguas (Green-Ruiz *et al.*, 2009). A su vez, el grado de enriquecimiento de nutrientes presenta variaciones espacio-temporal en respuesta a la magnitud de las descargas que reciben los distintos ecosistemas (Ochoa-Izaguirre *et al.*, 2002; Piñón-Gimate *et al.*, 2008). Sin embargo, no solo al interior de las lagunas costeras se presentan florecimientos macroalgales, sino que también se incluyen sitios en el litoral de los estados de Sinaloa, Sonora y Baja California Sur.

Por ejemplo, se presenta la formación de grandes florecimientos y arribazones de *Padina durvillaei* y *Sargassum* sp., en las costas de Mazatlán, Sinaloa y de la península de Baja California Sur, dentro del Golfo de California (Figura 4c). De acuerdo con Godínez-Ortega (2009), existen alrededor de 100 especies de algas para el consumo humano o animal que pueden ser explotadas en México, representando una producción de 250 mil toneladas por año. A pesar de tener un gran potencial de explotación, son pocos los estudios hechos en México sobre el uso de macroalgas. Se han reportado grandes arribazones de sargazo en el caribe mexicano (Figura 4c), las cuales representan un serio problema para la Riviera Maya no solo por cuestiones estéticas y olores desagradables propios de su descomposición, sino también por su afectación a la economía y biodiversidad.

Además, hemos recabado información de la composición química de las macroalgas y sus variaciones taxonómicas, espaciales y temporales. Todas las macroalgas estudiadas presentan una alta calidad nutricional en términos de aminoácidos y su contenido de minerales; sin embargo, las

especies *G. vermiculophylla*, *U. expansa*, *U. lobata* y *C. amplivesiculatum* presentan una mejor composición química. La composición química de las poblaciones de macroalgas estudiadas varió con la temporada de muestreo, con una mayor acumulación de nutrientes en el invierno.

Cambios en la composición química de poblaciones de macroalgas en México han sido reportadas previamente (Castro-González *et al.*, 1996; Peraza-Yee, 2011; 2014; Di Filippo Herrera, 2014). Finalmente, se ha avanzado en el desarrollo de técnicas para la producción de los biofertilizantes a partir de las macroalgas, garantizando la mayor eficiencia de extracción y la mejor calidad en términos de concentración de compuestos benéficos.

Salvo cuestiones técnicas pendientes por afinar, el procesamiento de la macroalga fresca requiere de molienda, hidrólisis ácida y alcalina bajo temperaturas controladas y regulación de pH, filtración y centrifugación, secado y molienda a polvo y estabilización del producto final. Esto permite obtener productos con diferentes presentaciones y formas de aplicación, incluyendo polvos, líquidos, suspensiones y geles.

Impactos de la explotación de los florecimientos en la producción de biofertilizantes

Se observó que el uso de macroalgas para producir biofertilizantes no es novedoso, pero si el aprovechamiento de los florecimientos macroalgales inducidos antropogénicamente. Los florecimientos son más frecuentes, se extienden por periodos más largos, el área que abarcan es mayor y aparecen en más sitios. El uso de biofertilizantes producidos a partir de florecimientos de macroalgas en las lagunas costeras fomentará la agricultura orgánica y ambientalmente amigable, ya que permite el reciclaje de los nutrientes y también la producción de alimentos orgánicos.

La demanda de productos orgánicos, a nivel mundial y nacional, está aumentando y la perspectiva para el futuro es que este tipo de agricultura será cada vez más importante. En nuestra propuesta, el biofertilizante obtenido a partir de macroalgas de ecosistemas naturales (materia orgánica sin tratar), y su aplicación en cultivo de plantas, permite certificar que se trata de un cultivo ecológico (producto biodegradable y benéfico para los suelos) y que los frutos son orgánicos.

De acuerdo con lo establecido en normas nacionales e internacionales como la UE No. 2092/1 (Unión Europea), USDA/NOP regla final (Estados Unidos de América) y el JAS Estándares Agrícolas de Japón para Productos Agrícolas Orgánicos (Japón), el biofertilizante cumple con los estándares para ser considerado fertilizante orgánico. Además, el uso de tales biofertilizantes permite cumplir con los lineamientos para la operación orgánica de las actividades agropecuarias, por lo que los frutos producidos pueden cumplir con las normas establecidas en la Ley de Productos Orgánicos y ostentar el sello 'Orgánico SAGARPA México'.

Conclusiones

La sociedad esta tomando conciencia de los impactos ambientales que las actividades humanas producen a los ecosistemas y de la producción de bienes y servicios en forma sustentable. Por otro lado, la demanda de frutos y alimentos de origen orgánico está incrementado, asimismo, la demanda de fertilizantes orgánicos. La producción de biofertilizantes; a partir, de los florecimientos macroalgales, es una alternativa sustentable y económicamente viable que abona en esa dirección.

Entre las limitaciones del aprovechamiento de los florecimientos de macroalgas, se pueden citar: a) las variaciones espacio-temporales de los florecimientos macroalgales, en relación a las especies, la biomasa, y contenido nutricional, lo cual dificulta la producción de biofertilizantes con características y calidad estandarizada; b) la presencia de contaminantes químicos y microbiológicos cuando los florecimientos proceden de sitios que presentan contaminación ambiental; c) las dificultades para la extracción de las lagunas costeras; y d) la presencia en el mercado de productos de origen chino de muy bajo costo pero sin una calidad garantizada.

Agradecimientos

Financiamiento de los proyectos UNAM-PAPIIT IN206409, PROFAPI2015/198 y PROMEP/103.5/12/481, a Y. Montaña-Ley, H. Bojorquez-Leyva y a un nutrido grupo de estudiantes que nos han apoyado en los trabajos de campo y de laboratorio durante los pasados cinco años.

Literatura citada

- Aguado-Santacruz, G. 2012. Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura. INIFAP/SAGARPA. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato, México. ISBN: 978-607-425-807-3.
- Aguirre-Medina, J. F.; Irizar, G. M. B.; Peña, R. M. A.; Durán, P. A.; Grajeda, C. O. A. y Cruz, C. F. J. 2009. Micorriza INIFAP^{MR}. Biofertilizante para la agricultura/mejor nutrición/mayor crecimiento de raíz. Hoja desplegable. www.inifap.gob.mx.
- Arioli, T.; Mattner, S. W. and Winberg, P. C. 2015. Applications of seaweed extracts in Australian agriculture: past, present and future. *J. Appl. Phycol.* 27(5):2007-2015.
- Barbier, E. B.; Hacker, S. D.; Kennedy, C.; Koch, E. W.; Stier, A. C. and Silliman, B. R. 2012. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological monographs.* 81(2):169-193.
- Calderón-Salazar, J. A. 2017. Privilegia a transnacionales el TLCAN, desfavorable para el agro mexicano. *Gaceta UNAM* Núm. 4. 856 <http://www.gaceta.unam.mx/20170306/el-tlcan-desfavorable-para-el-agro-mexicano/>.
- Canales-López, B. 1997. Las algas en la agricultura orgánica. Consejo Editorial del Estado de Coahuila. 323 p.
- Canales-López, B. 2000. Enzimas-algas: posibilidades de su uso para estimular la producción agrícola y mejorar los suelos. *Terra Latinoam.* 17(3):271-276.
- Canter, L. W. 2018. Environmental impact of agricultural production activities. CRC Press.
- Castellanos-Barriga, L. G.; Santacruz-Ruvalcaba, F.; Hernández-Carmona, G.; Ramírez-Briones, E. and Hernández-Herrera, R. M. 2017. Effect of seaweed liquid extracts from *Ulva lactuca* on seedling growth of mung bean (*Vigna radiata*). *J. Appl. Phycol.* 29(5):2479-2488. Doi: 10.1007/s10811-017-1082-x.
- Castro-González, M. I.; Pérez-Gil, R.; Pérez-Estrella, S. and Carrillo-Domínguez S. 1996. Chemical composition of the green alga *Ulva lactuca*. *Cienc Mar.* 22:205-213.
- Contreras-Cornejo, H. A.; Macías-Rodríguez, L.; Cortés-Penagos, C. and López-Bucio, J. 2009. *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 149:1579-1592.

- Craigie, J. S. 2011. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *J. Appl. Phycol.* 23(3):371-393.
- Di Filippo-Herrera, D. A. 2014. Variación de la composición química y actividad biológica del alga café *Sargassum horridum* (Setchell & NL Gardner, 1924) de la Bahía de La Paz, BCS, México. Tesis doctoral. Instituto Politécnico Nacional (IPN)-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas).
- Du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Sci. Hort.* 196:3-14. 10.1016/j.scienta.2015.09.021.
- FAO. 2015. Food and agriculture organization world fertilizer trends and outlook to 2018. Food and Agriculture Organization of The United Nations-Rome, 2015. <http://www.fao.org/3/a-i4324e.pdf>.
- GEOHAB, 2006. Global ecology and oceanography of harmful algal blooms, harmful algal blooms in eutrophic systems. Glibert, P. (Ed.). IOC and SCOR, Paris and Baltimore. 74 p. <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002188/218805e.pdf>.
- Godínez-Ortega, J. L. 2009. Las algas, desconocidas y sub aprovechadas en el país. *Gaceta UNAM* 4(139):10-16.
- Grageda-Cabrera, O. A.; Díaz-Franco, A.; Peña-Cabriales, J. J. y Vera-Nuñez J.A. 2012. Ensayo impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(6):1261-1274.
- Green-Ruiz, C. R.; Alonso-Rodríguez, R.; López-Aguilar, K.; Páez-Osuna, F.; Ramírez-Jauregui, C.; Ramírez-Reséndiz G.; Ruelas-Inzunza J. R.; Ruiz-Fernández A. C.; Soto-Jiménez, M. F. y Tripp-Quezada L. 2009. Atlas de contaminantes: Lagunas Costeras de Sinaloa.
- Hernández-Herrera, R. M.; Santacruz-Ruvalcaba, F. and Ruiz-López, M. A. 2014. Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *J. Appl. Phycol.* 26:619-629. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0078-4>.
- Hernández-Herrera, R. M.; Santacruz-Ruvalcaba, F.; Zañudo-Hernández, J. and Hernández-Carmona, G. 2016. Activity of seaweed extracts and polysaccharide-enriched extracts from *Ulva lactuca* and *Padina gymnospora* as growth promoters of tomato and mung bean plants. *J. Appl. Phycol.* 28:2549-2556. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0781-4>.
- Hong, D. D.; Hien, H. M. and Son, P. N. 2007. Seaweeds from Vietnam used for functional food, medicine and biofertilizer. *J. Appl. Phycol.* 19:817-826. <https://doi.org/10.1007/s10811-007-9228-x>.
- Howarth, R. W. 2008. Coastal nitrogen pollution: a review of sources and trends globally and regionally. *Harmful Algae.* 8(1):14-20.
- INEGI. 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Actualización del Marco Censal Agropecuario 2017. <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/agro/amca>.
- INEGI-SAGARPA. 2014. Encuesta nacional agropecuaria. Información relevante boletín de prensa Núm. 328/1510. Aguascalientes, Ags. 1-2 pp.
- Khan, W.; Rayorath U. P.; Subramanian, S.; Jithesh, M. N.; Rayorath P.; Hodges, D. M.; Critchley, A. T.; Craigie, J. S.; Norrie, J. and Prithiviraj, B. 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *J. Plant Growth Regul.* 28:386-399.
- Kim, S. K. 2011. Handbook of marine macroalgae: biotechnology and applied phycology. John Wiley & Sons.
- Kurepin, L. V.; Zaman, M. and Pharis, R. P. 2014. Phytohormonal basis for the plant growth promoting action of naturally occurring biostimulators. *J. Sci. Food Agric.* 94(9):1715-1722. 10.1002/jsfa.6545.
- McHugh, D. J. 2003. A guide to the seaweed industry. FAO fisheries technical paper 441. Rome: Food and Agricultural Organisation of the United Nations.

- Ochoa-Izaguirre, M. J. and Soto-Jiménez, M. F. 2013. Evaluation of nitrogen sources in the coastal ecosystem of Urías, Gulf of California, by using stable isotope in macroalgae. *Cienc. Marinas*. 39(4):413-430.
- Ochoa-Izaguirre, M. J. and Soto-Jiménez, M. F. 2015. Variability in nitrogen stable isotope ratios of macroalgae: consequences for the identification of nitrogen sources. *J. Phycol.* 51:46-65.
- Ochoa-Izaguirre, M. J.; Carballo, J. L. and Páez-Osuna, F. 2002. Qualitative changes in macroalgal assemblages under two contrasting climatic conditions in a subtropical estuary. *Bot. Marina* 45(2):130-138.
- Orth, R. J.; Carruthers, T. J.; Dennison, W. C.; Duarte, C. M.; Fourqurean, J. W.; Heck, K. L.; Hughes, A. R.; Kendrick, G. A.; Kenworthy, W. J.; Olyarnik, S. and Short, F. T. 2006. A global crisis for seagrass ecosystems. *Bioscience*. 56(12):987-996.
- Páez-Osuna, F.; Ramírez-Resendiz, G.; Ruiz-Fernández, A. C. y Soto-Jiménez, M. F. 2007. Contaminación de nitrógeno y fósforo en Sinaloa: fuentes, flujos, efectos y opciones de manejo. *Serie lagunas Costeras*. 304 p.
- Página web: <http://www.palabioquim.com.mx>. 2018.
- Peraza-Yee, M. M. 2011. Contenido de proteínas en macroalgas del Golfo de California. Tesis de Licenciatura. ITMAZ. 79 p.
- Peraza-Yee, M. M. 2014. Caracterización química de macroalgas *Ulva expansa*, *Ulva lobata*, *Colpomenia tuberculata*, *Padina durvillei* y *Gracilaria vermiculophylla* recolectadas en el Litoral de Mazatlán (Bahía y Estero De Urías). Tesis Maestría en Ciencias. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología-Universidad Autónoma de México (UNAM). 110 p.
- Piñon-Gimate, A.; Serviere-Zaragoza, E.; Ochoa-Izaguirre, M. J. and Paez-Osuna, F. 2008. Species composition and seasonal changes in macroalgal blooms in lagoons along the southeastern Gulf of California. *Bot. Marina*. 51(2):112-123.
- Piñón-Gimate, A.; Soto-Jiménez, M. F.; Ochoa-Izaguirre, M. J.; García-Pagés, E. and Páez-Osuna, F. 2009. Macroalgae blooms and $\delta^{15}\text{N}$ in subtropical coastal lagoons from the Southeastern Gulf of California: Discrimination among agricultural, shrimp farm and sewage effluents. *Marine Pollution Bulletin*. 58 (8):1144-1151.
- Secretaría de Fomento Agropecuario. 2018. <http://www.sefoa.gob.mx>.
- Seghetta, M.; Hou, X.; Bastianoni, S.; Bjerre, A. B. and Thomsen, M. 2016. Life cycle assessment of macroalgal biorefinery for the production of ethanol, proteins and fertilizers -A step towards a regenerative bioeconomy. *J. Cleaner Production*. 137:1158-1169.
- Soto-Jiménez, M. F.; Paez-Osuna, F. and Bojorquez-Leyva, H. 2003a. Nutrient cycling at the sediment-water interface and sediments at Chiricahueto marsh: a subtropical ecosystem associated with agricultural land uses. *Water Res.* 37:719-728.
- Soto-Jiménez, M. F.; Páez-Osuna, F. and Ruiz-Fernández, A. C. 2003b. Organic matter and nutrients in an altered subtropical marsh system, Chiricahueto, NW México. *Environ. Geol.* 43:913-921.
- Teichberg, M.; Fox S. E.; Olsen, Y.; Valiela I.; Martinetto, P.; Iribarne, O.; Yuriko-Muto, E.; Petti, M. A. V.; Corbisier, T. N.; Soto-Jiménez, M. F.; Páez-Osuna, F.; Castro, P.; Freitas, H.; Zitelli, A.; Cardinaletti, M. and Tagliapietra, D. 2010. Eutrophication and macroalgal blooms in temperate and tropical coastal waters: nutrient enrichment experiments with *Ulva* spp. *Global Change Biol.* 16(9):2624-2637.
- Thirumaran, G.; Arumugam, M.; Arumugam, R. and Anantharaman, P. 2009. Effect of seaweed liquid fertilizer on growth and pigment concentration of *abelmoschus esculentus* (I) medikus. *American-Eurasian J. Agron.* 2(2):57-66.

- Valiela, I.; McClelland, J.; Hauxwell, J.; Behr, P. J.; Hersh, D. and Foreman, K. 1997. Macroalgal blooms in shallow estuaries: controls and ecophysiological and ecosystem consequences. *Limnology and Oceanography*. 42(5 II):1105-1118.
- Wijesekara, I.; Pangestuti, R. and Kim, S. K. 2011. Biological activities and potential health benefits of sulfated polysaccharides derived from marine algae. *Carbohydrate Polymers*. 84(1):14-21.
- Zemke-White, W. L. and Ohno, M. 1999. World seaweed utilisation: an end-of-century summary. *J. Appl. Phycol.* 11(4):369-376. 10.1023/A:1008197610793.
- Zermeño-González, A. 2015. Biofertilización de vid en relación con fotosíntesis, rendimiento y calidad de frutos. *Agrociencia*. 49(8):875-887.