

MICROALGAS Y CIANOBACTERIAS: *bioeconomía circular para el logro de una salud global*

Las microalgas son fundamentales en la transformación de las estrategias agrícolas hacia la sostenibilidad, conforme al “Pacto Verde” de la Unión Europea, que busca reducir el uso de insumos químicos. Destaca la nueva regulación europea que incluye biofertilizantes y bioestimulantes, especialmente de origen biológico y se resalta el papel clave de las microalgas en mejorar el desarrollo de plantas y la salud del suelo, conocido como “algalización”. A pesar de desafíos en la producción de biomasa algal, se exploran soluciones como el uso de efluentes residuales. En conclusión, los biofertilizantes basados en microalgas ofrecen una alternativa sostenible para una agricultura más competitiva y alineada con objetivos ambientales.

CARLOS RAD

Grupo de Investigación en Compostaje UBUCOMP. Universidad de Burgos

JORGE MIÑÓN MARTÍNEZ

CEO aGrae solutions S.L.

Una nueva estrategia en la fertilización de los cultivos

Es evidente que la agricultura como base de la alimentación humana ha realizado con éxito el reto de adaptarse a un crecimiento exponencial de la población mundial. Si la población en el mundo se estimaba en 2.500 millones de personas en 1950, en el pasado año 2022 se superaron los 8.000 millones y nuestra agricultura sigue garantizando la suficiencia alimentaria de forma global. Esto ha sido posible gracias a la intensificación en el uso de la tierra, la mecanización agraria, el uso cada vez más importante de insumos químicos y la mejora genética de nuestros cultivos. Las previsiones de crecimiento demográfico, si bien están experimentando una cierta ralentización, prevén alcanzar los 10.400 millones al final de

esta centuria según proyecciones de la Naciones Unidas (<https://www.un.org/en/global-issues/population>, consultado 4 diciembre 2023). Mantener estos ritmos de crecimiento en la producción de alimentos es el mayor reto que afronta la sociedad humana en el presente siglo, todo ello en un contexto donde las materias primas base de la fertilización química empiezan a dar síntomas de su finitud, el suelo agrícola se expande imparable en la conquista de zonas de alto valor ecológico, hay serias señales de degradación de nuestros sistemas productivos, a lo que se suma el hecho de vivir en un contexto de cambio climático que amenaza la estabilidad de buena parte de nuestra producción agraria.

Un nuevo paradigma en la fertilización basado en potenciar los sistemas biológicos del suelo se está abriendo paso en nuestra agricultura, especialmente

en la agricultura europea. Términos como agricultura ecológica, regenerativa o de conservación, biofertilizantes o bioestimulantes son mencionados con creciente frecuencia por la comunidad de productores y comercializadores de productos, especialmente los de mayor valor añadido. La clara apuesta de la Unión Europea por un “Pacto Verde” de ambiciosos objetivos medioambientales, que impulsa toda una transformación productiva hacia un horizonte que minimice nuestra huella ambiental en el planeta, está teniendo y tendrá importantes consecuencias en la agricultura (**Figura 1**). Apuestas como una reducción progresiva en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) hasta conseguir la neutralidad climática en 2050 es un reto ambicioso, mucho más tras los débiles compromisos que están siendo asumidos en la Conferencia de las Partes (COP 28)

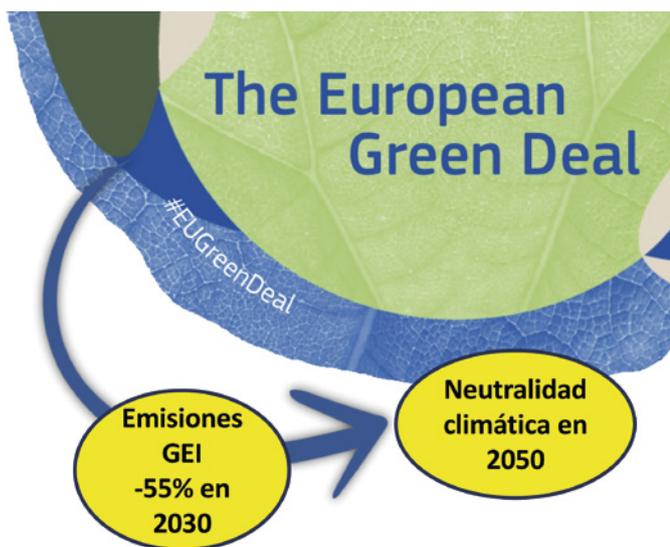


FIGURA 1
Retos del Pacto Verde Europeo en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

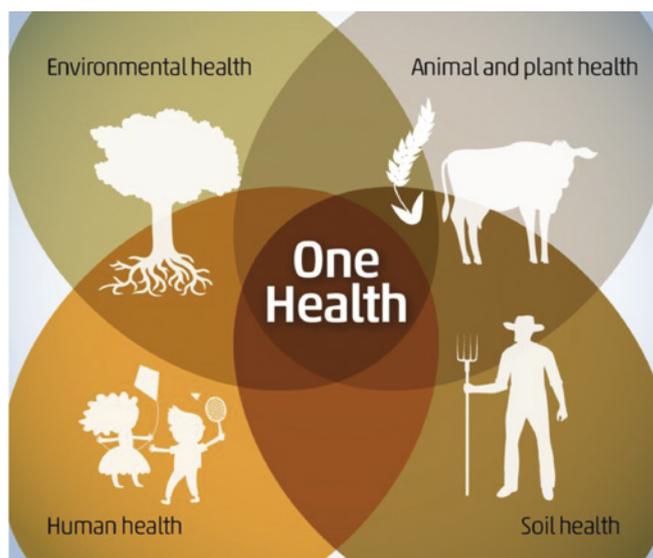


FIGURA 2
El concepto global de “Una Salud” formulado por la FAO como garantía para satisfacer la salud humana, la producción agrícola y ganadera, ambiental y del suelo al mismo tiempo³

que se está celebrando este mes de diciembre en Qatar.

Especial impacto tienen en nuestra agricultura algunas medidas que acompañan a este “Pacto Verde” y que se están implementando, con el cercano horizonte de 2030 como objetivo, dentro de las estrategias denominadas “De la Granja a la Mesa” o de “Biodiversidad”. En ellas se marcan objetivos concretos como son la reducción en un 20% de la fertilización inorgánica, la eliminación de la contaminación de aguas subterráneas por exceso de N o P, eliminar en un 50% el uso de los plaguicidas, especialmente aquellos de mayor ecotoxicidad, la transformación en superficies de producción ecológica del 25% de nuestra superficie agraria, entre otros. Objetivos todos ellos que pueden cambiar notablemente nuestras formas de producción, pero que no han de ser vistas como nuevas dificultades que se añaden a un panorama incierto, son también oportunidades para avanzar en una agricultura más sostenible y competitiva que contribuya de forma decisiva a los logros ambientales, también a una visión más circular de nuestra economía.

En este contexto hay que recordar la entrada en vigor en julio de 2022 de una nueva reglamentación europea en materia de fertilizantes¹ que recoge de forma clara no solo los productos biofertilizantes, sino también los productos bioestimulantes, ya sean de origen vegetal o microbiano, algo que no está presente en la actual reglamentación del Estado Español. Son precisamente estos productos de origen biológico, junto a los fertilizantes orgánicos, los elementos llamados a jugar un papel clave en este proceso de transición. Recuperar los nutrientes que están presentes en nuestros efluentes y en los residuos orgánicos generados en la actividad doméstica, agraria y agroalimentaria para elaborar fertilizantes de calidad, que contribuyan a cerrar los ciclos naturales de macro y microelementos en el sistema de producción, se convierte no solo en una cuestión de circularidad económica, sino también en una forma de obtener suelos más saludables, objetivo indispensable para lograr una salud global del planeta, algo que la FAO señala como uno de los pilares fundamentales de un concepto holístico como es “Una Salud”

(*One Health* en inglés) (Figura 2). En este sentido, en el seno de la Unión Europea se encuentra en avanzado estado de discusión la nueva Directiva de Monitoreo del Suelo y Resiliencia, documento que sentará las bases para dotarnos de un conjunto armonizado de indicadores de la salud del suelo a escala continental².

Biofertilizantes basados en microalgas y cianobacterias

Los biofertilizantes, por definición, son preparados que contienen microorganismos vivos que mejoran el desarrollo de las plantas, más allá de su contenido en elementos nutritivos. Eso quiere decir, que tienen capacidad de generar sustancias que estimulan el crecimiento vegetal, mejoran su capacidad de adquisición de nutrientes, su funcionamiento fisiológico o su resistencia frente a condiciones ambientales adversas. No obstante, no sólo la planta se ve beneficiada por la aplicación de biofertilizantes, también la salud del suelo se ve mejorada al incrementarse el contenido de materia orgánica (MOS), la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la capacidad

¹ Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019

² https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_23_3637 (consultado 4 diciembre 2023).

³ Roland Vargas. Food and Agricultural Organization and Global Soil Partnership

de retención de agua, la estructura, la formación de agregados estables y la capacidad tamponante del suelo pues algunos microorganismos, en especial las microalgas y cianobacterias, son excelentes productores de mucílagos u otros polisacáridos que son vitales para cementar y estabilizar los minerales del suelo y que forman parte de sus paredes celulares.

Clorofitas y cianofitas son microorganismos fotoautótrofos, estas últimas también fijadoras biológicas de nitrógeno atmosférico, que se caracterizan por tener un rápido crecimiento y una alta capacidad de adaptarse a condiciones ambientales adversas. No en vano, son las cianobacterias organismos pioneros en la colonización de suelos degradados de zonas áridas, donde la creación de costras biológicas es una forma de estabilizar la superficie edáfica, permitiendo la posterior colonización de este por briofitos y plantas superiores. Se estima que existen entre 22.000 y 26.000 especies diferentes de estos microorganismos, si bien, sólo unas pocas, que incluyen a los géneros *Spirulina*, *Chlorella*, *Nostoc*, *Anabaena*, *Haematococcus*, *Dunaliella*, *Botryococcus*, *Porphyridium*, *Scenedesmus*, *Nitzschia*, *Isochrysis*, *Schyzochytrium*, y *Phaeodactylum*, son utilizadas con un propósito biotecnológico, orientado a las aplicaciones médicas, alimentarias, agronómicas o ambientales. En la **Figura 3** se muestran imágenes de algunas especies de microalgas y cianobacterias aisladas del suelo y que son utilizadas por nuestro grupo de investigación para su uso en biotecnología agroalimentaria.

El uso de cultivos de microalgas y cianobacterias en agricultura es un fenómeno conocido y utilizado desde los años 70 del siglo pasado y que se le denomina “algalización”. Este pro-

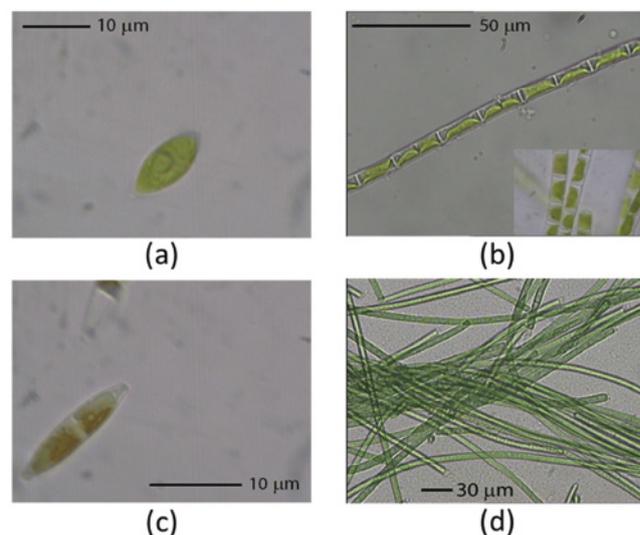


FIGURA 3
Fotografías de algas edáficas: (A) *Oocystis* sp.; (B) *Klebsormidium flaccidum*; (C) *Haslea spicula*; and (D) *Microcoleus vaginatus*⁷

ceso comenzó a utilizarse en el cultivo del arroz en el Asia Oriental, aprovechando los periodos de inundación del suelo, momento en el cual se inoculaba el suelo con cultivos del género *Nostoc* que, gracias a su capacidad fijadora del nitrógeno atmosférico, permitía de esta forma complementar las necesidades de N del cultivo consiguiendo un notable ahorro de fertilizante⁴. Este efecto no solo se reduce a cultivos como el arroz, que requieren una inundación del terreno, sino que se ha experimentado su utilización en cultivos convencionales como el trigo o en horticultura, ya sea mediante la inoculación de sus semillas, como su aplicación directa en forma de cultivo de células vivas o extractos obtenidos a partir de su biomasa celular⁵. La formación de biopelículas por parte de microalgas y cianobacterias en la superficie del suelo o asociada a la raíz de las plantas es además una estrategia que permite a estos microorganismos resistir condiciones ambientales adversas como la deshidratación, el daño físico, el exceso de radiación UV o las altas temperaturas. Los mucílagos que

mantienen unidas sus células permiten además la acumulación de elementos traza, la adsorción de nutrientes o la neutralización de compuestos tóxicos para su metabolismo, como pueden ser xenobióticos o metales pesados que son incorporados al suelo en aplicaciones de plaguicidas, de fertilizantes de síntesis o de enmiendas orgánicas, lo que los convierte en buenos actores para la fertilización y también para la biorrecuperación de suelos y efluentes contaminados.

Microalgas y cianobacterias en la estimulación del crecimiento vegetal

Las microalgas en su metabolismo producen fitohormonas estructuralmente similares, utilizan rutas metabólicas parecidas a las de las plantas y comparten buena parte de su actuación fisiológica, quizás como herencia molecular de las primigenias algas y cianobacterias que poblaron la tierra. Es numerosa la relación de fitohormonas presentes en plantas, que han conseguido ser aisladas a partir de cultivos algales, entre las que se en-

⁴ Prasanna, R., Jaiswal, P., Nayak, S. et al. Cyanobacterial diversity in the rhizosphere of rice and its ecological significance. *Indian J Microbiol* 49, 89–97 (2009). <https://doi.org/10.1007/s12088-009-0009-x>

⁵ Kholssi, R., Lougraimzi, H., Grina, F. et al. Green Agriculture: a Review of the Application of Micro- and Macroalgae and Their Impact on Crop Production on Soil Quality. *J Soil Sci Plant Nutr* 22, 4627–4641 (2022). <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00944-3>

⁶ Ortiz-Moreno, M.L., Solarte-Murillo, L.V., Sandoval-Parra, K.X. Biofertilization with chlorophyta and cyanophyta: an alternative for organic food production. *Acta Biológica Colombiana*. 2020, 25(2):303-313. <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v25n2.77183>

cuentran diferentes auxinas derivadas del ácido 3-indolacético, giberelinas, citoquininas, ácido abscísico o etileno, por lo que ya existen comercializados numerosos biofertilizantes para una amplia variedad de cultivos⁶.

En las plantas superiores, el desarrollo de sistemas fitohormonales más eficientes ha sido una herramienta muy empleada en la mejora genética vegetal para obtener nuevos cultivares con mayor producción o resistencia frente al estrés abiótico, ya sea el exceso de radiación, elevada salinidad, temperaturas extremas, situaciones de anoxia por inundación o la carencia de nutrientes. Es tradicional el uso de formulaciones con fitohormonas en procesos de inducción de la floración, la reparación del daño por heladas o inducción del enraizamiento en agricultura. Es aquí donde se reafirma el papel biofertilizante o bioestimulante de determinadas especies de microalgas y cianobacterias y que puede constituirse en una eficaz herramienta de adaptación de nuestra agricultura a un cambio climático que necesitará no sólo de variedades comerciales más resistentes a condiciones ambientales adversas, sino también de la acción complementaria de este creciente sector biotecnológico, que trabaja ya en la obtención de nuevas especies de algas con mayor capacidad de generación de estos compuestos.

Un aspecto a considerar es que los biofertilizantes o bioestimulantes no generen toxinas ni alérgenos, algo que en el caso de las cianobacterias ha de ser testado con especial precaución, pues puede ser un riesgo biológico que afectaría a la seguridad alimentaria, a los operadores de estos productos y la calidad ambiental de las aguas superficiales. Superadas estas barreras, los biofertilizantes basados en algas pueden constituirse en un recurso de aplicación en agricultura ecológica, no solo por su capacidad de favorecer el crecimiento vegetal, sino también por ser una forma de fertilización que per-



FIGURA 4
Tecnología desarrollada por aGrae solutions. A. Ejemplo de sistema Algal Turf Scrubber. B. Detalle de aplicación de fase líquida de purín para cultivo de algas en el sistema Algal Turf Scrubber. C. Detalle de un biofilm de algas

mite un suministro importante de macro y micronutrientes para una forma de agricultura en creciente expansión.

Producción de biomasa algal

La producción de biomasa de microalgas presenta una serie de retos que limitan su adopción generalizada en la agricultura. Uno de los principales retos es el alto coste de la producción. La tecnología actual de producción de microalgas es intensiva en recursos, como energía, agua y nutrientes. Esto se traduce en un coste de producción elevado, que dificulta la competitividad de las microalgas frente a otras fuentes fertilizantes.

Otro reto es la escalabilidad de la producción. La mayoría de las técnicas de producción de microalgas están diseñadas para plantas de pequeño tamaño. Esto dificulta la producción a gran escala, necesaria para abastecer a una demanda agrícola significativa. Para dar respuesta a las limitaciones anteriores, se están utilizando efluentes residuales para que estas microalgas absorban los nutrientes y a la vez los depuren (Figura 4B). También se están planteando otros sistemas de producción; conocidos como como Algal Turf

Scrubber (Figura 4A) que, con el empleo de energía renovable, o tecnología que reduce el gasto energético en la recolección de esta biomasa (Figura 4C), están consiguiendo reducir los costes de producción. También se están planteando sistemas de cultivo abiertos, de policultivo de algas que según la época del año van generando una sucesión de algas predominantes, aspecto que reduce considerablemente el coste en mantener monocultivos con un limitado rango de crecimiento: temperatura, radiación y salinidad.

Conclusiones

Los biofertilizantes basados en biomasa algal son una alternativa sostenible a los fertilizantes tradicionales. Sin embargo, su adopción por parte de los agricultores se ve limitada por la dificultad de escalar su producción por la industria a costes competitivos, que permitan obtener una unidad fertilizante equivalente más cercana otras fuentes órgano-minerales.

Bibliografía

Queda a disposición del lector interesado en el correo electrónico: redaccion@editorialagricola.com

⁷ Montero, O.; Velasco, M.; Miñón, J.; Marks, E.A.N.; Sanz-Arranz, A.; Rad, C. Differential Membrane Lipid Profiles and Vibrational Spectra of Three Edaphic Algae and One Cyanobacterium. *Int. J. Mol. Sci.* 2021, 22, 11277. <https://doi.org/10.3390/ijms222011277>