

Los bioestimulantes, ¿van a revolucionar la fertilización del futuro?

Su uso es cada vez mayor, estimándose su crecimiento entre el 10 y el 12% anual en Europa

Un aspecto que podría marcar la diferencia en la mejora de la sostenibilidad de las explotaciones agrarias es el uso de la fertilización orgánica (estiércol, compost, etc.) en detrimento del uso de la fertilización de síntesis mineral. De hecho, en los últimos años, la tendencia a utilizar la fertilización orgánica ha aumentado, tanto de forma exclusiva, por ejemplo, en parcelas en producción ecológica, como combinada con la fertilización mineral. En esta situación, el uso de bioestimulantes puede mejorar la capacidad de las plantas para absorber nutrientes, hecho que puede llevar a una reducción en la cantidad de fertilizantes necesarios para conseguir la misma producción y con la misma calidad, lo cual puede ser beneficioso desde una perspectiva de sostenibilidad tanto económica como medioambiental. A la vez, al reducir la cantidad de fertilizantes aplicados se disminuye el riesgo de la contaminación del suelo y del agua, especialmente debido a los nitratos y fosfatos, que pueden causar eutrofización y dañar los ecosistemas acuáticos.

Por otro lado, el uso excesivo de fertilizantes químicos puede dañar la estructura y la microbiota del suelo. Al emplear bioestimulantes y reducir la cantidad de fertilizantes químicos, se promueve la salud del suelo, lo que a su vez mejora la productividad a largo plazo.

Jordi Cabrefiga¹ y Maria Boix².

¹ Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA). Programa de Protecció Vegetal Sostenible.

² Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA). Programa de Cultivos Extensivos.

El reto al que se enfrenta la agricultura en un futuro inmediato, ante el panorama de aumento demográfico y cambio climático, es el de adoptar métodos de producción más eficientes y a su vez sostenibles con el medio natural. El papel de los fertilizantes es clave para abordar este nuevo enfoque. Sin embargo, la fertilización mineral es la que tiene un mayor impacto en la huella de carbono, ya que su fabricación y uso en agricultura representan la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero que produce un sistema agrícola. El uso de bioestimulantes puede frenar esta tendencia.



Descripción de los bioestimulantes

Los bioestimulantes vegetales son productos fertilizantes que contienen sustancias y/o microorganismos cuya función, una vez aplicados en la planta, fomentan el crecimiento y el desarrollo de ésta y mejoran su eficiencia metabólica aumentando, así, el rendimiento y calidad del cultivo. Así, independientemente del contenido de nutrientes del producto, un bioestimulante debe tener los efectos que se afirman en la etiqueta del producto, y por ello, al menos debe mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes, la tolerancia a los estreses abióticos, los rasgos de calidad y/o el suministro de los nutrientes confinados al suelo.

Hay que tener presente que los bioestimulantes no son nutrientes, sino que lo que hacen es fomentar la utilización de los nutrientes aportando, además, ciertas



Plantas de tomate tratadas con diferentes productos bioestimulantes.

ventajas a las plantas. Sin embargo, existe una importante falta de conocimiento en la investigación y en la industria de los bioestimulantes, así que no se puede postular con precisión la acción de muchos de ellos. Aunque ha habido un avance

relevante en la búsqueda de estos componentes, todavía queda mucho por determinar, así que es necesario continuar estudiando estos productos para encontrar los métodos y momentos de aplicación más adecuados y óptimos según los diferentes cultivos. Además, queda pendiente determinar los mecanismos de acción de muchos bioestimulantes.

Tipologías de bioestimulantes

Los bioestimulantes pueden ser de diferentes tipologías incluyendo microorganismos o diferentes sustancias de origen natural, y tienen en común que activan las plantas a nivel fisiológico para mejorar su desarrollo, crecimiento y resistencia frente al estrés.

Existe una gran diversidad de productos bioestimulantes con efectos diferentes



La mejor solución nutricional para el Olivo

HaifaStim™

Suplementos nutricionales para cultivos de calidad. Maximizan el rendimiento, potencian los procesos de crecimiento y reducen el estrés



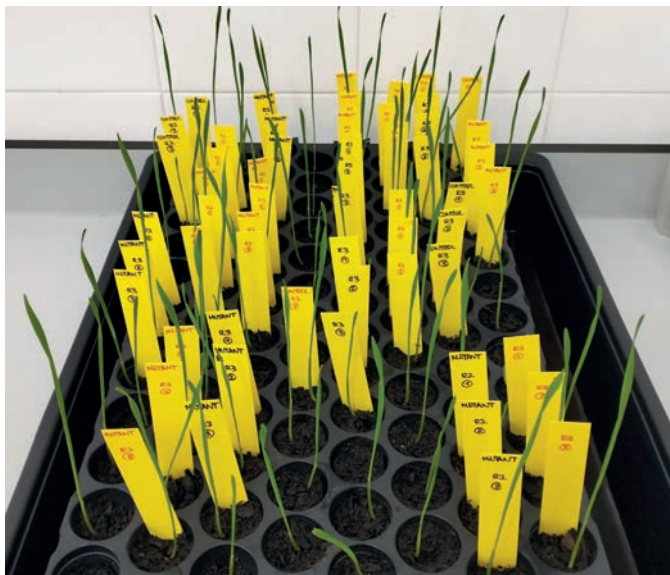
Haifa Bonus™

Fertilizante foliar con efecto prolongado Stop & Go para una óptima absorción.

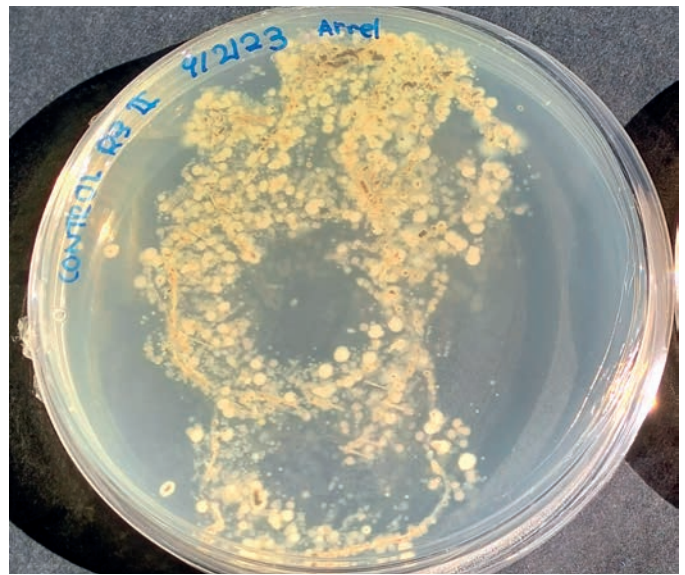


Pioneering the Future.

Haifa Iberia | Telf: 91 591 2138 | E-mail: iberia@haifa-group.com | www.haifa-group.com



Plántulas de trigo obtenidas a partir de semillas tratadas con diferentes bioestimulantes.



Colonias bacterianas obtenidas después de la imprimación de una raíz de trigo en una placa con medio de cultivo.

en función de varios parámetros como el clima, el tipo de suelo o de cultivo. El método de aplicación también es muy variable, pues encontramos productos que se aplican a nivel foliar, pero también los hay que se aplican en la raíz o directamente en la semilla.

A continuación se describen las diferentes tipologías de bioestimulantes.

Ácidos húmicos y fúlvicos

Las sustancias húmicas son constituyentes naturales de la materia orgánica del suelo, resultantes de la descomposición de residuos vegetales, animales y microbianos, pero también de la actividad metabólica de los microbios del suelo que utilizan estos sustratos. Las sustancias húmicas son compuestos heterogéneos, originalmente categorizados según sus pesos moleculares y solubilidad en huminas, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. Las sustancias húmicas y sus complejos en el suelo resultan de la interacción entre la materia orgánica, los microorganismos y las raíces de las plantas.

Cualquier intento de utilizar sustancias húmicas para promover el crecimiento de las plantas y el rendimiento de los cultivos debe optimizar estas interacciones para lograr los resultados esperados. Esto ex-

plica por qué la aplicación de sustancias húmicas (fracciones solubles de ácidos húmicos y fúlvicos) muestra resultados inconsistentes, aunque globalmente positivos, en el crecimiento de las plantas.

Los ácidos húmicos actúan directamente sobre la nutrición de la planta debido a que liberan elementos nutritivos, en especial nitrógeno. En cambio, los ácidos fúlvicos sirven como estimulantes de la raíz, por lo que se utilizan como enraizante en los cultivos. Ambos tipos de ácidos contribuyen a un mejor crecimiento de la planta, aumentan su rendimiento y refuerzan su resistencia.

Hidrolizados de proteínas

Las mezclas de aminoácidos y péptidos se obtienen mediante hidrólisis química y enzimática de proteínas a partir de subproductos agroindustriales, tanto de origen vegetal (residuos de cultivos), como de desechos animales (por ejemplo, colágeno, tejidos epiteliales, etc.). La síntesis química también se puede utilizar para compuestos simples o mixtos. Se ha demostrado que estos compuestos desempeñan múltiples funciones como bioestimulantes del crecimiento de las plantas.

Los efectos directos sobre las plantas incluyen la modulación de la absorción

y asimilación de nitrógeno mediante la regulación de enzimas y actuando sobre la vía de señalización de la adquisición de nitrógeno en las raíces. También se han observado efectos quelantes para algunos aminoácidos, como la prolina, que pueden proteger a las plantas contra los metales pesados, pero también contribuyen a la movilidad y adquisición de micronutrientes.

Los efectos indirectos sobre la nutrición y el crecimiento de las plantas también son importantes en la práctica agrícola cuando se aplican hidrolizados de proteínas a las plantas y al suelo. Se sabe que los hidrolizados de proteínas aumentan la biomasa y la actividad microbiana, la respiración del suelo y, en general, su fertilidad. Se considera que las actividades quelantes y complejantes de aminoácidos y péptidos específicos contribuyen a la disponibilidad y adquisición de nutrientes por parte de las raíces.

Extractos de algas marinas y botánicas

El uso de algas frescas como fuente de materia orgánica y como fertilizante es antiguo en la agricultura, pero recientemente se han registrado sus efectos bioestimulantes. Esto impulsa el uso comercial de extractos de algas y de compuestos pu-

rificados, que incluyen los polisacáridos laminarina, alginatos y carragenatos, así como sus productos de degradación.

La mayoría de las especies de algas pertenecen al *Filum* de las algas pardas: *Ascophyllum*, *Fucus* o *Laminaria*. Se pueden aplicar a nivel radicular o también foliar.

En los suelos, sus polisacáridos contribuyen a la formación de geles, a la retención de agua y a la aireación. Se ha visto que contribuyen a la fijación y al intercambio de cationes, lo que también es interesante para la fijación de metales pesados y para la recuperación de suelos. También se describen efectos positivos a través de la microflora del suelo, con la promoción de bacterias promotoras del crecimiento de las plantas y antagonistas de patógenos en suelos supresivos.

En las plantas, los efectos nutricionales a través del suministro de micro

macronutrientes indican que actúan como fertilizantes, además de otras funciones. El impacto sobre la germinación de las semillas, el establecimiento de las plantas y el crecimiento y desarrollo posteriores está asociado con efectos hormonales que se consideran las principales causas de la actividad de bioestimulación en las plantas de cultivo.

En cuanto a los extractos botánicos, se han descrito sustancias extraídas de plantas que se utilizan en productos farmacéuticos y cosméticos, como ingredientes alimentarios y también en productos fitosanitarios. En comparación con las algas, se sabe mucho menos sobre sus actividades bioestimulantes, pues hasta ahora la atención se ha centrado en sus propiedades pesticidas. Sin embargo, parece haber oportunidades para utilizarlos también como bioestimulantes.

Quitosano y otros biopolímeros

El quitosano es una molécula muy abundante en la naturaleza y se encuentra en los caparazones de crustáceos como los cangrejos, camarones langostas, etc., así como en el esqueleto externo de algunos insectos como los escarabajos e, incluso, en la pared celular de los hongos.

Los efectos fisiológicos de los oligómeros de quitosano en las plantas son el resultado de la capacidad de este compuesto para unirse a una amplia gama de componentes celulares, incluidos el ADN, la membrana plasmática y los constituyentes de la pared celular, pero también para unirse a receptores específicos involucrados en la defensa. Así, se ha descrito que estimula las defensas de las plantas evitando el crecimiento de hongos y bacterias patógenas. Actúa de diferentes maneras, como por ejemplo en la produc-

 Rovensa
Next

 **Wiibio**

El Fórmula 1 de los *Bacillus subtilis*



Bioestimulante que
mejora el desarrollo de la
planta **y potencia la**
microbiota del suelo

CUADRO I

CARACTERÍSTICAS Y EFECTOS DE LOS DIFERENTES BIOESTIMULANTES.

TIPO DE BIOESTIMULANTE	CARACTERÍSTICAS	EFECTOS
Ácidos húmicos y fúlvicos	Formado por la degradación de la materia orgánica	Mejoran la disponibilidad de nutrientes y pueden eliminar el efecto de los metales pesados. Aumentan la cantidad de clorofila. Favorecen la elongación de las raíces e incrementan la biomasa radicular.
Hidrolizados de proteínas	Mezcla de moléculas obtenidas a partir de la hidrólisis de proteínas	Mejoran las defensas contra el estrés oxidativo y otros estreses abióticos. Actúan como reguladores del crecimiento. Incrementan el rendimiento en condiciones de estrés.
Extractos de algas marinas y botánicas	Componentes extraídos de algas marinas y de plantas	Incrementan el transporte de nutrientes de las raíces a los brotes. Mejoran el contenido mineral de los tejidos. Activan el sistema de defensa de la planta contra estreses bióticos y abióticos.
Quitosano y otros biopolímeros	Estos elementos se pueden producir a partir de fuentes naturales o químicamente	Estimulan el flujo de calcio. Mejoran la respuesta a la salinidad, sequía o a altas temperaturas.
Compuestos inorgánicos	Elementos beneficiosos	Aumentan el rendimiento y resistencia de la planta.
Hongos beneficiosos	Diferentes grupos y con diferentes mecanismos de interacción con las plantas	Mayor disponibilidad de nutrientes. Aumentan la acumulación de polifenoles que impiden daños celulares.
Bacterias beneficiosas	Rizobacterias y PGPR	Inducen la tolerancia a los factores de estrés abiótico. Mejoran el uso de diferentes nutrientes, especialmente el fósforo o el nitrógeno. Mejoran la formación de la raíz.

ción de algunas proteínas y enzimas que activan los genes de defensa, mejorando su respuesta a diferentes tipos de estrés como la salinidad, sequía o las temperaturas extremas.

Compuestos inorgánicos

Son elementos químicos que promueven el crecimiento de las plantas y que pueden ser esenciales para determinados taxones, pero no son necesarios para todas las plantas. Los cinco principales elementos beneficiosos para las plantas son: silicio, cobalto, sodio, selenio y lantano, presentes en suelos y plantas como diferentes sales inorgánicas y en formas insolubles. Estas funciones beneficiosas pueden ser constitutivas, como el fortalecimiento de las paredes celulares mediante depósitos de sílice, o expresarse en condiciones ambientales definidas, como el ataque de patógenos en el caso del selenio y el estrés osmótico en el caso del sodio. Se han descrito diferentes efectos de los elementos benéficos, como son la promoción del crecimiento de las plantas, la calidad de los productos vegetales y la tolerancia al estrés abiótico. Esto incluye en la rigidez de la pared celular, la osmorregulación, la reducción de la transpiración por depósitos de cristales, la regulación térmica mediante la reflexión de la radiación, la actividad enzimática por cofactores, la nutrición de las plantas me-



Aplicación de compost en una plantación joven de manzanos.

diantes interacciones con otros elementos durante la absorción y la movilidad, la protección antioxidante, la protección contra la toxicidad de metales pesados, así como la síntesis y señalización de hormonas vegetales.

Hongos beneficiosos

Algunos hongos, como las micorrizas, establecen asociaciones simbióticas con las plantas y mejoran la disponibilidad

de nutrientes para ellas. Por este motivo existe un interés creciente por el uso de micorrizas para promover la agricultura sostenible, considerando los beneficios ampliamente aceptados de las simbiosis para la eficiencia nutricional (tanto para los macronutrientes, especialmente fósforo, como para los micronutrientes), el equilibrio hídrico y la protección de las plantas contra el estrés biótico y abiótico.

Para aprovechar los beneficios de las asociaciones de micorrizas, las prácticas de manejo de cultivos y los cultivares de plantas deben adaptarse a la interacción con los microorganismos. Las principales limitaciones de su uso son la dificultad técnica para propagarlos a gran escala, debido a su carácter biotrófico y, más fundamentalmente, la falta de comprensión de los determinantes de las especificidades del huésped y la dinámica de la población. Además de este efecto en la mejor asimilación de nutrientes, existen evidencias de que también se inducen muchas respuestas de las plantas, incluida una mayor tolerancia al estrés abiótico, la eficiencia en el uso de nutrientes y el crecimiento y morfogénesis de órganos.

Bacterias beneficiosas

Algunas bacterias interactúan favorablemente con las plantas de diferentes maneras mejorando el suministro de nutrientes,

el aumento de la eficiencia en el uso de nutrientes, la inducción de resistencia a enfermedades, la mejora de la tolerancia al estrés abiótico o la modulación de la morfogénesis por reguladores del crecimiento de las plantas.

Con respecto a los usos agrícolas, las bacterias deben considerarse en dos tipos principales: los endosimbiontes mutualistas del tipo *Rhizobium* y las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR). *Rhizobium* y taxones relacionados se comercializan como biofertilizantes, es decir, inoculantes microbianos que facilitan la adquisición de nutrientes por parte de las plantas. En cambio, las PGPR son multifuncionales e influyen en diferentes aspectos: nutrición y crecimiento, morfogénesis y desarrollo, respuesta al estrés biótico y abiótico, e interacciones con otros organismos en los agroecosistemas. Varias de estas funciones generalmente las desempeñan los mismos organismos, algunas son específicas de una cepa y otras dependen de sinergismos dentro de consorcios bacterianos. Los usos agrícolas de las PGPR están limitados por esta complejidad, por las respuestas variables de los cultivares de plantas y los ambientes receptores.

En la normativa actual, el listado de microorganismos que está permitido utilizar como componente de los bioestimulantes microbianos es muy reducido, y únicamente se podrán utilizar como bioestimulantes *Azotobacter* spp., hongos micorrízicos, *Rhizobium* spp. y *Azospirillum* spp. Es posible que en el futuro se amplíe la lista, pero no está previsto por el momento.

Características comunes de los bioestimulantes

La realidad es que existe un amplio abanico de productos comerciales categorizados como bioestimulantes. Debemos tener en cuenta que no todos son iguales



Trigo a punto para la cosecha.

y que los efectos positivos sobre el crecimiento de las plantas varían de acuerdo al tipo de bioestimulante. Además, para una aplicación exitosa se deben considerar la concentración, la etapa de desarrollo de la planta, las condiciones climáticas y los efectos de la dosis.

El **cuadro I** muestra algunos de los efectos beneficiosos más relevantes de cada uno de los bioestimulantes.

Los bioestimulantes ayudan a las plantas a mejorar la absorción de los nutrientes, tener un mayor desarrollo y benefician sus procesos fisiológicos como la fotosíntesis, síntesis de ácidos nucleicos o la absorción de iones, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Por todo esto, producen un incremento de rendimiento económico y productivo, lo que proporcionan una solución a los problemas de la producción agroindustrial, siendo una alternativa sostenible y generando productos innovadores con valor para la agricultura, contribuyendo, de esta forma, a una economía circular.

Situación actual y retos de futuro

Llevamos algunos años con la comercialización de productos denominados bioesti-

mulantes, aunque en muchos casos erróneamente, ya que algunos de ellos no se ha demostrado su efecto estimulante sobre las plantas. Este hecho ha generado cierta desconfianza hacia este tipo de productos, que en muchos casos se vendían como la solución a todos los problemas, y a la hora de la verdad muchos de ellos no cumplían con las expectativas.

En este contexto, la implementación de la nueva regulación debería poner orden con el fin de poder seleccionar los productos que realmente tienen un efecto bioestimulador. Así, una de las novedades más importantes de este reglamento es que establece que los fabricantes que quieran comercializar sus productos como bioestimulantes de plantas y lucir la etiqueta correspondiente deberán pasar un procedimiento de evaluación. En este procedimiento se deberá demostrar que el producto fertilizante cumple los requisitos del reglamento, lo que incluye una demostración de la función bioestimulante mediante ensayos de eficacia. La exigencia de emplear criterios científicos para justificar la acción biológica y funcional de un producto va a contribuir a una mayor transparencia y confianza en la agricultura intensiva.



Vista general de una plantación de manzanos.

En definitiva, todas las sustancias que se quieran comercializar como bioestimulantes van a tener que ser evaluadas y aprobadas por entidades acreditadas por cada Estado miembro. De esta forma se garantiza su composición, funcionalidad, inocuidad sobre la salud y seguridad ambiental. Así, es imprescindible que esta amplia tipología de productos quede perfectamente recogida y claramente ubicada en la reglamentación para que puedan ser puestos en el mercado de una manera segura, competitiva, y aportando garantías y confianza al consumidor.

Otro factor importante respecto a los bioestimulantes, a diferencia de los fertilizantes convencionales, es que su eficacia depende de muchos factores, y el determinante es la propia planta. Este hecho hace que no siempre se obtengan los resultados deseados. Y es que en las condiciones de campo existen muchos parámetros que pueden influir notablemente en la eficacia de este tipo de productos y, por tanto, en los resultados obtenidos.

El tipo de suelo, el contenido de nutrientes, la estructura y otros factores, pueden afectar de manera importante a la eficacia de los bioestimulantes. Además, en el caso de los bioestimulantes biológicos, la supervivencia y colonización de

los microorganismos depende mucho de las condiciones y del momento de aplicación. Hay que caracterizar las situaciones y condiciones óptimas en las que se obtienen los mejores resultados y seguir investigando en esta línea. De hecho, por lo general se ve más efectividad de estos productos en ensayos realizados en climas donde existe una disponibilidad de agua limitada o en suelos de baja calidad y con bajo contenido de nutrientes.

Existe una falta importante de información sobre los bioestimulantes, puesto que todavía no se ha establecido una definición clara que incluya todos los aspectos relevantes de estos productos. Es necesario, pues, continuar estudiando en este sentido para encontrar una caracterización adecuada de estos microorganismos que determine los métodos de acción, los momentos de aplicación óptimos según los diferentes cultivos y las dosis de aplicación. Sobre todo, será relevante evaluar la gestión y metodología de aplicación en función de cada producto y de cada cultivo para tener buenos resultados y beneficios.

Sin embargo, el desafío actual es utilizar este conocimiento y estas herramientas para la caracterización de los bioestimulantes y sus efectos en los diferentes

cultivos y situaciones. En muchos casos la eficacia se basa en estudios realizados en el laboratorio, y el problema aparece al intentar replicar los ensayos en condiciones de campo, donde las interacciones son más complejas y dificultan el desarrollo del efecto deseado.

En este sentido, el desarrollo de bioestimulantes debería seguir un enfoque farmacológico clásico, en el que las sustancias activas o microorganismos candidatos se analizan en condiciones controladas y se sigue un procedimiento gradual para seleccionar candidatos prometedores, pasando del laboratorio a condiciones más realistas. Esto puede ser eficiente, pero la selección rigurosa y gradual de sustancias activas o microorganismos genera altos costes de desarrollo que difícilmente se justifican en sectores del mercado que crean un valor agregado limitado, como en la nutrición vegetal y la agricultura.

Una vía alternativa comenzaría con observaciones de campo y llevaría de regreso al laboratorio para la sistematización de las cuestiones científicas planteadas. Desde un punto de vista más práctico, se están desarrollando nuevos enfoques comerciales cuyo objetivo es amplificar la microbiota benéfica local, en lugar de inocular productos microbianos estandarizados.

En conclusión, el uso bioestimulantes en agricultura requerirá de soluciones adaptadas a diferentes situaciones climáticas y agronómicas. Se deberán definir planes de gestión que optimicen su uso y en combinación con otros fertilizantes con el fin de optimizar los insumos.

Los efectos a más largo plazo también deberían evaluarse e integrarse en el proceso de toma de decisiones en el campo. Será necesaria la participación de todos los actores, desde los agricultores a los organismos oficiales, con el claro objetivo de aprovechar los beneficios de los bioestimulantes para mejorar la sostenibilidad y la rentabilidad de la agricultura. ■