

BIOESTIMULANTES: *entre la evidencia científica y las falsas promesas*

El auge de los bioestimulantes en el sector agrario responde a las normativas de sostenibilidad de la Unión Europea. No obstante, a pesar del impulso de estrategias como "De la granja a la mesa", algunos agricultores se muestran escépticos, con productos que no cumplen sus promesas de resultados espectaculares.

ROSA PORCEL¹, PATRICIA BENITO^{1,2}, JOSÉ M. MULET¹

¹Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas (IBMCP), Universitat Politècnica de València-Consejo Superior de Investigaciones Científicas

²Caldic Ibérica, S. L. U., Barcelona

Los bioestimulantes son sustancias de origen natural capaces de reforzar la capacidad de las plantas para hacer frente a condiciones ambientales adversas, sin actuar como fertilizantes ni ejercer un efecto directo sobre plagas o patógenos.

La agricultura se encuentra hoy ante una problemática compleja de abordar. Lo que durante décadas funcionó bajo un modelo de predictibilidad climática y uso intensivo de insumos químicos, hoy se tambalea ante una realidad innegable: el impacto combinado del cambio climático y la presión de la actividad humana. No se trata solo de que "haga más calor", sino de que estamos observando un cambio en las fechas de brotación, floración y maduración que está desplazando los calendarios de producción y cosecha en muchas zonas. Estamos presenciando una alteración profunda de los ecosistemas que pone en jaque nuestra seguridad alimentaria.

Las plantas, a diferencia de los animales, no pueden desplazarse para buscar sombra o agua. Están ancladas a un suelo que, debido a las prácticas agrícolas intensivas y al calentamiento global, se vuelve cada vez más hostil.

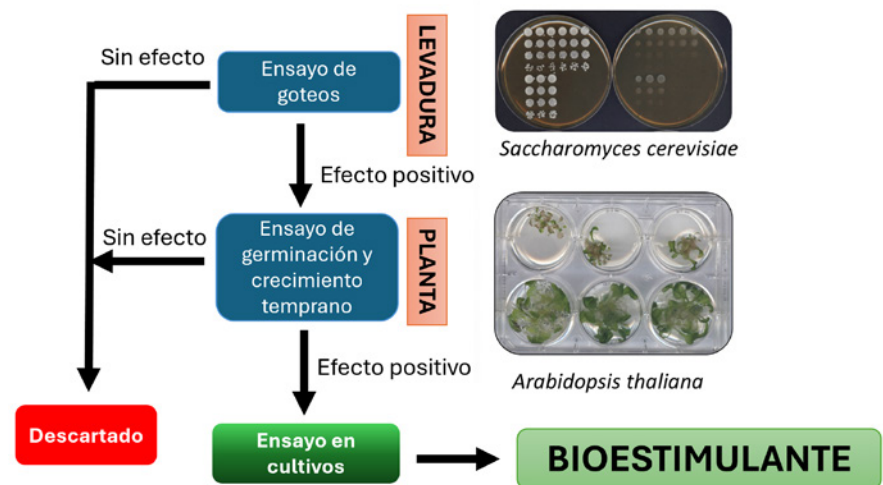


FIGURA 1

Procedimiento para evaluar la capacidad bioestimulante de un extracto mediante ensayos *in vitro* utilizando la levadura de panadería *Saccharomyces cerevisiae* y la planta modelo *Arabidopsis thaliana*.

El aumento de la salinidad es uno de los asesinos silenciosos del campo: la intrusión de agua marina en acuíferos y la evaporación excesiva dejan tras de sí sales que bloquean las raíces, impidiendo que la planta absorba nutrientes. Para complicarlo, conviene mencionar que un suelo salino es difícil de recuperar. A esto se suma la sequía, que ya no es un evento esporádico, sino una condi-

ción estructural en muchas regiones. Sin agua, la fotosíntesis se detiene, y con ella el crecimiento y la producción. Si añadimos las altas temperaturas, el resultado es un "golpe de calor" vegetal que afecta a su metabolismo y acelera su envejecimiento. En términos económicos, esto se traduce en cosechas más pobres, frutos más pequeños y una pérdida drástica de rentabilidad para el agricultor.

El clima extremo no solo debilita al cultivo, sino que fortalece a sus enemigos. El aumento de las temperaturas globales actúa como un catalizador para muchas plagas agrícolas. Los ciclos reproductivos de insectos y ácaros se aceleran: donde antes había dos generaciones por temporada, ahora puede haber cuatro. Además, las plantas estresadas emiten señales químicas que, paradójicamente, las hacen más atractivas para ciertos patógenos, mientras que sus mecanismos naturales de defensa se ven comprometidos por la falta de energía. En definitiva, estamos viendo frutos y cosechas en fechas distintas a las tradicionales, pero esto va acompañado de un aumento de riesgos (heladas tardías sobre floraciones adelantadas, golpes de calor, falta de agua, nuevas plagas) que obligan a cambiar variedades, fechas de siembra, manejo del riego y sistemas de protección para mantener rendimientos y calidad.

Ante este panorama desolador, la respuesta no puede ser "más de lo mismo". El uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos y plaguicidas químicos ha llegado a un límite ambiental insostenible. Por ello, la Unión Europea ha dado un paso al frente promoviendo el Pacto Verde Europeo. Dentro de este marco, la estrategia "De la granja a la mesa" (*Farm to Fork*, F2F por sus siglas en inglés) es la hoja de ruta que busca transformar el sistema alimentario. Sus objetivos son ambiciosos: reducir en un 50% el uso de insumos agrícolas de origen químico para el año 2050. Y no olvidemos que, según la FAO, debemos aumentar la producción de alimentos un 70% en el mismo periodo. Entonces, ¿cómo pueden los agricultores mantener la producción con menos herramientas en un entorno cada vez más difícil? Producir más (¡o al menos lo mismo!) con menos, ¿es posible?

Los bioestimulantes como herramienta útil

En este contexto, los bioestimulantes se perfilan como una opción prometedora. A diferencia de los fertilizantes tradicionales, cuya función es alimen-

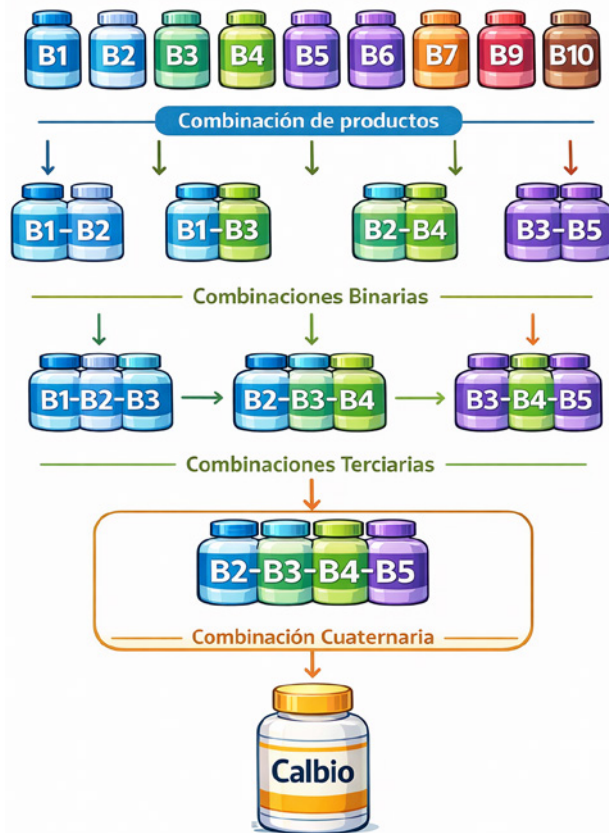


FIGURA 2
Formulación de Calbio® mediante un método combinatorio para evaluar la capacidad bioestimulante combinada de varios extractos.

tar directamente a la planta, los bioestimulantes actúan sobre su fisiología. Según el *European Biostimulants Industry Council* (EBIC), se trata de sustancias y/o microorganismos que, aplicados a las plantas o a la rizosfera, estimulan procesos naturales con el fin de mejorar la absorción y el uso de nutrientes, aumentar la tolerancia al estrés abiótico y mejorar la calidad del cultivo. En esencia, un bioestimulante debe ser de origen natural y actuar modulando las respuestas fisiológicas de la planta, sin aportar nutrientes ni ejercer un control directo sobre patógenos.

Estos productos -que incluyen desde extractos de algas y aminoácidos hasta microorganismos beneficiosos- son los aliados perfectos para la nueva agricultura. No sustituyen a la nutrición básica, pero "entrenan" a la planta para que sea más resistente y eficiente. Son, en esencia, la medicina preventiva de los cultivos del siglo

XXI, permitiendo que la agricultura sea no solo una actividad productiva, sino una aliada en la sostenibilidad. Se clasifican en diversas categorías según su composición y modo de acción. Entre los más destacados se encuentran los hidrolizados proteicos y aminoácidos, que influyen en el metabolismo del nitrógeno, el crecimiento y la respuesta al estrés; los extractos botánicos y de algas como *Ascophyllum nodosum*, auténticos cócteles de fitohormonas que activan el crecimiento y la resistencia ante heladas o sequías; y los ácidos húmicos y fúlvicos, que mejoran la estructura del suelo y la captación de nutrientes. También se incluyen biopolímeros como el quitosano y sus derivados, implicados en la activación de mecanismos de defensa, así como ciertos compuestos inorgánicos -fosfitos, silicatos o carbonatos- y elementos beneficiosos no esenciales como el silicio, el selenio o el cobalto, que

actúan como moduladores fisiológicos. Por otro lado, los bioestimulantes microbianos se basan en microorganismos presentes de forma natural en la rizosfera. Entre los autorizados por la Unión Europea se encuentran los hongos micorrízicos arbusculares, como *Rhizophagus* o *Funneliformis*, bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno del género *Rhizobium* y bacterias de vida libre o asociativa como *Azotobacter* o *Azospirillum*. Estos microorganismos contribuyen a mejorar la nutrición mineral, la eficiencia en el uso de nutrientes y la tolerancia al estrés abiótico.

La falta de regulación durante años generó un mercado heterogéneo y poco fiable, lo que alimentó la desconfianza del sector. La situación cambia en 2022, cuando entra en vigor el Reglamento (UE) 2019/1009 sobre productos fertilizantes promovido por la Unión Europea. Es entonces cuando se establece un marco legislativo estricto que, junto con los avances científicos, ha propiciado el desarrollo de formulaciones realmente eficaces. Actualmente la legislación europea exige ensayos rigurosos para autorizar un producto como bioestimulante y limita su uso a los cultivos y condiciones en los que se haya demostrado su eficacia.

Investigación y desarrollo de nuevos bioestimulantes

Nuestro grupo de investigación, ubicado en el Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas (IBMCP), un centro mixto de la Universitat Politècnica de València y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, comenzó a trabajar en bioestimulantes en 2015, cuando el sector aún carecía de una estructura clara. Procedíamos del ámbito de la biología molecular vegetal, con experiencia en el estudio del transporte de iones utilizando sistemas modelo como la levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la planta *Arabidopsis thaliana*. Nuestro bagaje previo permitió plantear una estrategia alternativa para evaluar la eficacia de posibles bioestimulantes en condiciones controladas de laboratorio, sometiendo los sistemas modelo



FIGURA 3
Ensayo de invernadero con bioestimulantes en tomate bajo condiciones óptimas y de estrés salino.

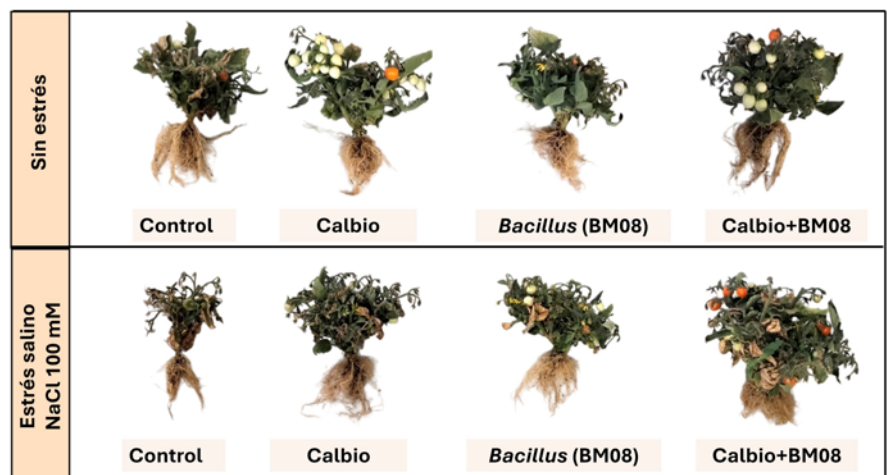


FIGURA 4 A
Comparación de tamaño en plantas de tomate no tratadas, tratadas con el bioestimulante Calbio®, una bacteria promotora del crecimiento vegetal y la combinación de Calbio® con la bacteria en condiciones sin estrés y con estrés salino.

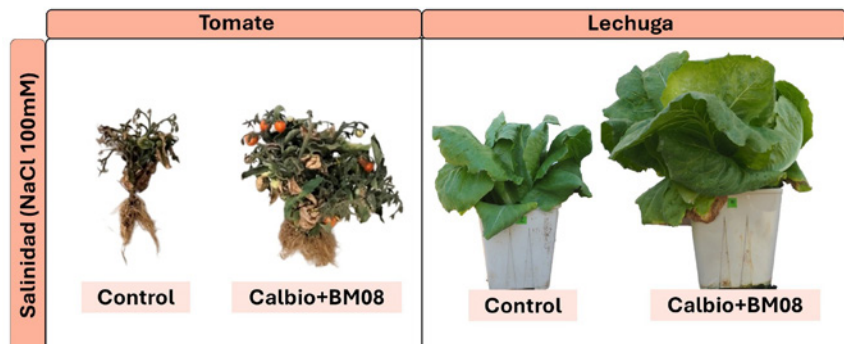


FIGURA 4 B
Comparación de tamaño en plantas de tomate y lechuga no tratadas y tratadas con la combinación de Calbio® y una bacteria promotora del crecimiento vegetal en condiciones de estrés salino.

a distintos tipos de estrés (frío, calor, sequía o salinidad). Este enfoque permitió un cribado rápido y económico de candidatos con mayor probabilidad de éxito en ensayos de campo (Saporta *et al.* 2019). Era un buen momento, puesto que las empresas sabían que la ley se iba a implantar en algún momento y querían saber qué productos de su catálogo iban a poder autorizarse (porque funcionaban) y cuáles no. Posteriormente, decidimos ir un paso más allá y emplear esta metodología para diseñar nuevas formulaciones. Partiendo de distintas materias primas que cumplían individualmente la definición de bioestimulante, se evaluaron combinaciones de dos, tres o cuatro componentes con el objetivo de identificar efectos sinérgicos superiores a los de cada componente por separado (Benito *et al.* 2022). A partir de esta estrategia se desarrolló

el producto Calbio®, en colaboración con la empresa Caldic Ibérica, que combina cuatro extractos naturales.

Del laboratorio al cultivo, ¿funciona nuestro bioestimulante?

Una vez obtenida la formulación, se realizaron ensayos en invernadero con cultivos de alto interés agronómico, como tomate y lechuga. El producto se evaluó tanto de forma individual como en combinación con dos bioestimulantes microbianos: una bacteria promotora del crecimiento y un hongo micorrízico arbuscular. Uno de los trabajos científicos clave que sustenta el desarrollo del bioestimulante se centró específicamente en el cultivo de tomate, utilizado como sistema agronómico de referencia para validar los resultados obtenidos previamente en laboratorio (Benito *et al.* 2025).

En primer lugar, las plantas de tomate se cultivaron en condiciones de invernadero y se sometieron a tratamientos de salinidad, uno de los estreses más frecuentes en la agricultura mediterránea. El bioestimulante se aplicó de forma individual y en combinación con una bacteria promotora del crecimiento vegetal. A lo largo del experimento se analizaron parámetros de crecimiento, biomasa aérea y radicular, producción, así como indicadores fisiológicos asociados al estrés. Los resultados mostraron que la aplicación del bioestimulante por sí sola mejoraba significativamente el crecimiento del tomate frente a plantas no tratadas, especialmente en condiciones salinas. No obstante, el efecto más acusado se observó cuando el bioestimulante se aplicó junto con la bacteria, lo que puso de manifiesto una clara interacción positiva entre

NERGETIC
COMPLETE



DZ+

NSAFE®
FIRST BIO-INHIBITOR



El primer producto del mercado
que incorpora la tecnología NSAFE®.

Fertiberia
TECH

ambos componentes. Las plantas tratadas con la combinación presentaron un mayor desarrollo, mejor estado fisiológico y una mejor tolerancia al estrés salino.

Para entender las bases de esta respuesta, el estudio incorporó análisis hormonales y moleculares. Se observó que el bioestimulante aplicado de manera individual activaba respuestas dependientes del ácido abscísico, una hormona clave en la adaptación al estrés hídrico y salino. Sin embargo, cuando se combinaba con la bacteria, el mecanismo de acción cambiaba de forma notable y pasaba a estar mediado por citoquininas, hormonas relacionadas con la división celular y el mantenimiento del crecimiento incluso en situaciones adversas. Este resultado indicaba que el bioestimulante no solo actuaba directamente sobre la planta, sino que también potenciaba la actividad beneficiosa del microorganismo.

Este estudio en tomate demostró que la combinación racional de bioestimulantes no microbianos y microorganismos puede generar efectos sinérgicos reales, superiores a los obtenidos con cada componente por separado.

En los ensayos llevados a cabo con lechuga llevados a cabo en la Fundación Cajamar en Paiporta (Benito *et al.* 2024) con los mismos tratamientos y condiciones, observamos un comportamiento similar. Además, cuando aplicamos micorrizas en ambos ensayos, vimos que el producto potencia, de nuevo, el efecto de la micorriza y esto se traduce en mayor actividad fotosintética y producción de giberelinas, lo cual deriva en el desarrollo de estrategias fisiológicas efectivas que permiten a estos cultivos lidiar con el estrés salino e incrementar la producción en condiciones adversas, que, al final, es nuestro objetivo.

Ensayos en campo y perspectivas

La eficacia del producto se confirmó posteriormente en ensayos de campo realizados en la finca Sinyent (Polinyà de Xúquer), en colaboración con AVA-ASAJA, utilizando brócoli como

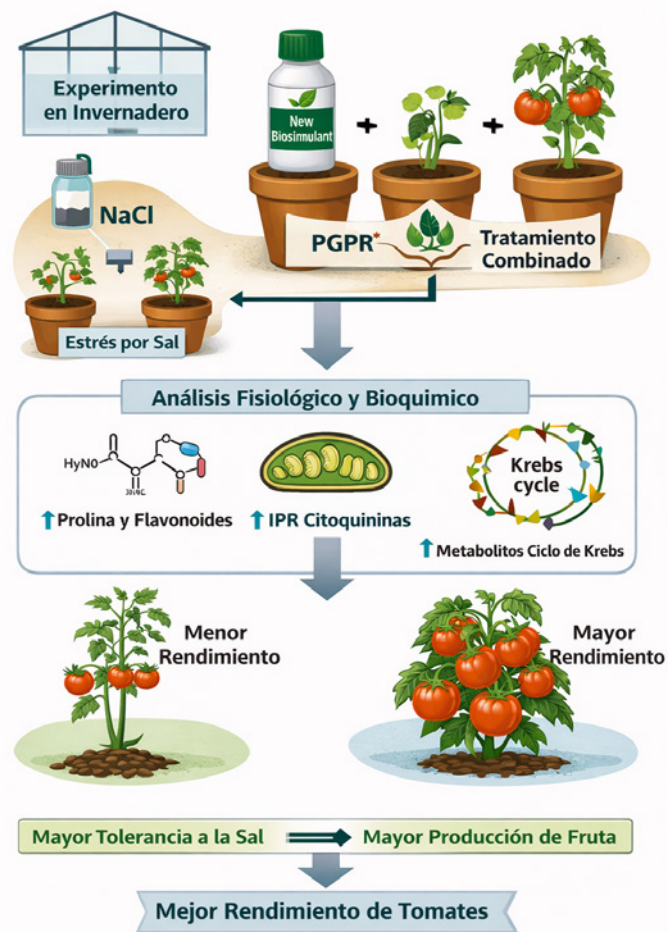


FIGURA 5

Esquema resumen del posible mecanismo de acción de Calbio® aplicado junto con la bacteria promotora del crecimiento vegetal en plantas de tomate sometidas a estrés salino.

cultivo modelo bajo condiciones de sequía y salinidad. Los resultados fueron nuevamente positivos y confirmaron que el mecanismo de acción del bioestimulante aplicado de forma individual está conservado y se basa en la vía del ácido abscísico. Actualmente, el producto se está evaluando en condiciones de campo, solo o en combinación con microorganismos, en distintos cultivos (pimiento, cebolla, tomate, berenjena y aguacate) y en escenarios de estrés hídrico o baja fertilización, con el objetivo de ampliar su rango de aplicación. Esperamos tener resultados en breve y entonces sabremos si el bioestimulante o la combinación resulta útil en estos nuevos cultivos y condiciones de crecimiento.

Conclusiones

Más allá del avance del conocimiento básico, uno de los objetivos de la investigación científica es generar soluciones prácticas para los problemas que enfrenta el sector agrario. El desarrollo de este bioestimulante es el resultado de varios años de investigación rigurosa y orientada a su aplicación real en campo. Cuando el producto llegue al mercado, contará con una sólida base científica que respalda su uso tanto en agricultura convencional como ecológica, ya que fue concebido con este propósito desde su fase inicial.

Bibliografía

Queda a disposición del lector interesado en el correo electrónico: roporrol@upv.es



Bioestimulantes SIPCAM

Los entrenadores personales de tus cultivos



TUS CULTIVOS SIEMPRE EN PLENA FORMA



- Entrena a tus cultivos para resistir más.
- Alcanza el máximo rendimiento en tus cosechas.
- Máxima prevención de enfermedades y situaciones de estrés.
- Salud y resistencia para tus frutos.
- Nutrición sostenible para una mejor salud vegetal.