

Nuevas estrategias de bioestimulación bacteriana en cultivos de frutos rojos para la mejora cuantitativa y cualitativa de la producción agrícola

José David Flores Félix¹, Rocío Roca Couso², Paula García Fraile^{2,3,4}, Raúl Rivas González^{1,3,4}.

1. CICS-Health Sciences Research Centre, Universidade da Beira Interior, Avd. Infante D. Henriques, Covilhã, Portugal

2. Departamento de Microbiología y Genética. Universidad de Salamanca. Edificio Departamental de Biología. Avda. Doctores de la Reina s/n. 37007 Salamanca

3. Instituto de Investigación en Agrobiotecnología (CIALE), Salamanca, Spain. 4. Unidad Asociada USAL-IRNASA (CSIC), Salamanca, Spain.

La producción de estos cultivos está marcada por las exigencias de los consumidores, que debido a que el consumo ocurre en crudo principalmente, suelen demandarse prácticas de cultivo más respetuosas con el medioambiente y con una menor aplicación de fitoquímicos, por lo que suelen adherirse a prácticas de cultivo integrado o agricultura ecológica.



Introducción

Uno de los aspectos diferenciales del sistema agrícola español es la diversidad de cultivos que lo integran. Entre ellos, algunos cultivos destacan por su alto valor productivo y su interés para la exportación. Un ejemplo de ello son los frutos rojos, cuya producción es en gran medida destinada a mercados exteriores, principalmente europeos. Además, como consecuencia del clima característico de España, se posibilita una producción adelantada frente a otros mercados más septentrionales. Por esta razón el cultivo de frutos rojos puede ser considerado un recurso estratégico para la agricultura española. En la actualidad se calcula que en España se destinan alrededor de 13.000 ha. al cultivo de berries con un aumento anual de alrededor del 10% en la superficie cultivada. Si bien, aunque el 95% de esta superficie se encuentra en la provincia de Huelva, otras regiones presentan potencial para su desarrollo como ha ocurrido en el país vecino, Portugal, donde los cultivos de frambuesa y arándano se extienden por las zonas interiores del país con un clima mediterráneo subhúmedo. En Portugal la superficie destinada a este tipo de cultivos se ha multiplicado por cinco hasta llegar a las 5.000 ha.

La producción de estos cultivos está marcada por las exigencias de los consumidores, que debido a que el consumo ocurre en crudo principalmente, suelen demandarse prácticas de cultivo más respetuosas con el medioambiente y con una menor aplicación de fitoquímicos, por lo que suelen adherirse a prácticas de cultivo integrado o agricultura ecológica. Por esta razón, es preciso emplear nuevas estrategias para reducir la aplicación de insumos, además de maximizar los recursos edáficos y el potencial genético de la planta para conseguir optimizar la producción agrícola sin redundar en gastos adicionales. Por esta razón, la agricultura actual está inmersa en un proceso de transformación y renovación hacia sistemas agrícolas más integrados en los ecosistemas, desarrollados a través de la incorporación de nuevas técnicas de cultivo y recuperando otras como la rotación de cultivo.

Además, entre los insumos admitidos aparecen los denominados bioestimulantes que aglutinan materias y compuestos de diversa naturaleza como ácidos húmicos, aminoácidos, subproductos industriales, extractos de plantas y algas, y microorganismos beneficiosos. Estos últimos incluyen microorganismos vivos, como hongos o bacterias, capaces de mejorar tanto el desarrollo de la planta a través del aporte de nutrientes, como el aprovechamiento de los recursos edáficos o la producción de compuestos beneficiosos como pueden ser las fitohormonas. Dentro de los hongos, cabe destacar los hongos micorrícicos o micorrizas, caracterizados por incluir diferentes géneros de hongos filamentosos capaces de establecer simbiosis con las plantas de manera más o menos estrecha en función de la especie.

Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal

Por otra parte, dentro de las bacterias, como bioestimulantes de plantas destacan las bacterias promotoras del crecimiento vegetal o PGPB (del inglés *Plant Growth Promoting Bacteria*). Este es un grupo heterogéneo de bacterias cuya característica común es la posesión de mecanismos con lo que inducir mejoras en el crecimiento de las plantas y, por extensión, en la producción de los cultivos donde son aplicadas. Estos mecanismos pueden ser divididos en mecanismos directos e indirectos, en función de su modo de acción. Dentro de los mecanismos directos encontramos acciones como la

fijación de nitrógeno atmosférico en formas asimilables por la plantas; la solubilización de fósforo o potasio, presentes en el suelo en formas insolubles y por tanto no disponibles para las plantas; la producción de fitohormonas como giberelinas o auxinas, que inducen cambios fisiológicos en la planta promoviendo el desarrollo caulinar o radicular, permitiendo alcanzar un mayor volumen de suelo y una mayor disponibilidad de nutrientes y de agua; o la producción de sideróforos, compuestos quelantes del hierro captados por las plantas de manera específica.

En segundo lugar, estas bacterias presentan mecanismos de promoción del crecimiento vegetal indirectos, los cuales inducen mejoras en el desarrollo de la planta mediante la reducción de estreses bióticos y abióticos como pueden ser la producción de biofilms compitiendo con otros microorganismos del entorno de la planta; o la producción de enzimas como la ACC-desaminasa que hidroliza el compuesto precursor del etileno, una fitohormona que induce procesos de senescencia y se sintetiza en condiciones de estrés abiótico, mejorando de esta manera la resistencia de la planta a eventos puntuales de estrés térmico o hídrico, cada vez más frecuentes en los últimos años.

De esta manera, las bacterias PGP actúan sobre los cultivos mediante una actividad multifactorial, no sólo a nivel nutricional mediante la captación, solubilización o movilización de nutrientes, sino optimizando el potencial fisiológico de la planta a través de la producción de metabolitos como fitohormonas o reduciendo la incidencia de las condiciones ambientales que suponen una merma de la producción de la planta. Otro requisito fundamental de estos microorganismos es la inocuidad de las cepas utilizadas, basándose en un riguroso proceso de selección a nivel de laboratorio, seleccionando especies que aseguren un alto nivel de bioseguridad.



Campo de arándanos.

Bioestimulación bacteriana en el cultivo de frutos rojos

En las últimas décadas el estudio de bacterias PGP ha crecido de manera exponencial, tanto en número de especies bacterianas estudiadas como cultivos en los que se evalúa su actividad. Algunos grupos bacterianos como los rhizobia, comúnmente asociados a leguminosas en los que forman nódulos radicales donde fijan nitrógeno atmosférico, han mostrado tener una destacable capacidad para mejorar la producción de cultivos no leguminosos como pimiento, lechuga o tomate. En suma, otros géneros como *Bacillus*, *Paenibacillus* o *Arthrobacter* han sido utilizados con resultados destacables. Además, también se ha ensayado la utilización de bacterias lácticas, por su inocuidad y su alta capacidad para solubilizar fósforo. Las experiencias realizadas en fresa con bacterias de los géneros *Phyllobacterium* y *Rhizobium* han mostrado excelentes resultados en condiciones de invernadero y condiciones de campo.

Los ensayos en invernadero mostraron que la inoculación con estas bacterias ejercía un efecto positivo en las plantas, mejorando parámetros tanto vegetativos como productivos. La aplicación de estas bacterias generaba un incremento cercano al 100% en el número de estolones junto con un aumento en la longitud de los mismos. Además, se incrementó el número de flores y frutos por planta, el tamaño radicular y las plantas inoculadas con bacterias presentaban un mayor desarrollo foliar que las plantas control sin inoculación bacteriana. También se observó que las plantas inoculadas presentaban una productividad mayor no sólo por el incremento en el número de frutos, sino por un incremento en el peso medio de los frutos de entre el 20% y el 30%. A su vez, el análisis elemental de los frutos mostró un incremento en la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio, más destacable en los frutos provenientes de las plantas tratadas con *Phyllobacterium*.

Los resultados en condiciones de campo realizados en las zonas de producción de Huelva, a pesar de mostrar incrementos discretos en la producción total por planta, mostraron que su aplicación producía una mejora considerable en el porcentaje de frutos recolectados en categorías superiores (Fig. 1).

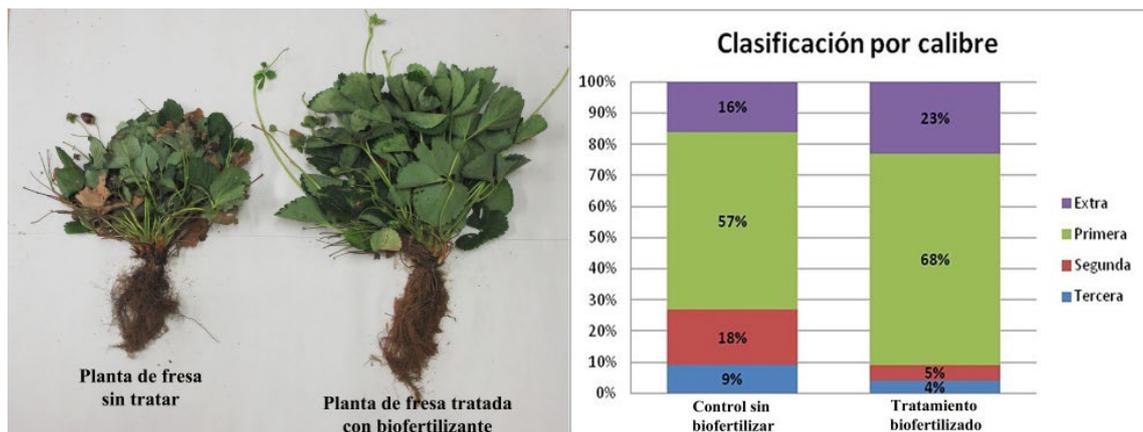


Figura 1. Efecto de la biofertilización bacteriana en plantas de fresa y respuesta de los frutos a la biofertilización.

Desde la Universidad de Salamanca, también han sido realizados ensayos en mora (*Rubus ulmifolius*). Estos ensayos han sido llevados a cabo en condiciones de invernadero para ver el efecto de la inoculación de bacterias PGP tanto en el crecimiento de la planta como en la producción de frutos. Las plantas fueron inoculadas con bacterias rizosférica

y lácticas. Estas últimas en los últimos años ha mostrado tener una importante progresión en la mejora de los cultivos. Un mes después de la inoculación, se midió el desarrollo foliar, el contenido en clorofila y la cantidad de frutos. De todos los tratamientos, fue la inoculación con bacterias lácticas el que mejor resultado generó, mejorando el desarrollo foliar, el contenido en clorofila y duplicando la producción de frutos con respecto a las plantas control (Fig. 2).

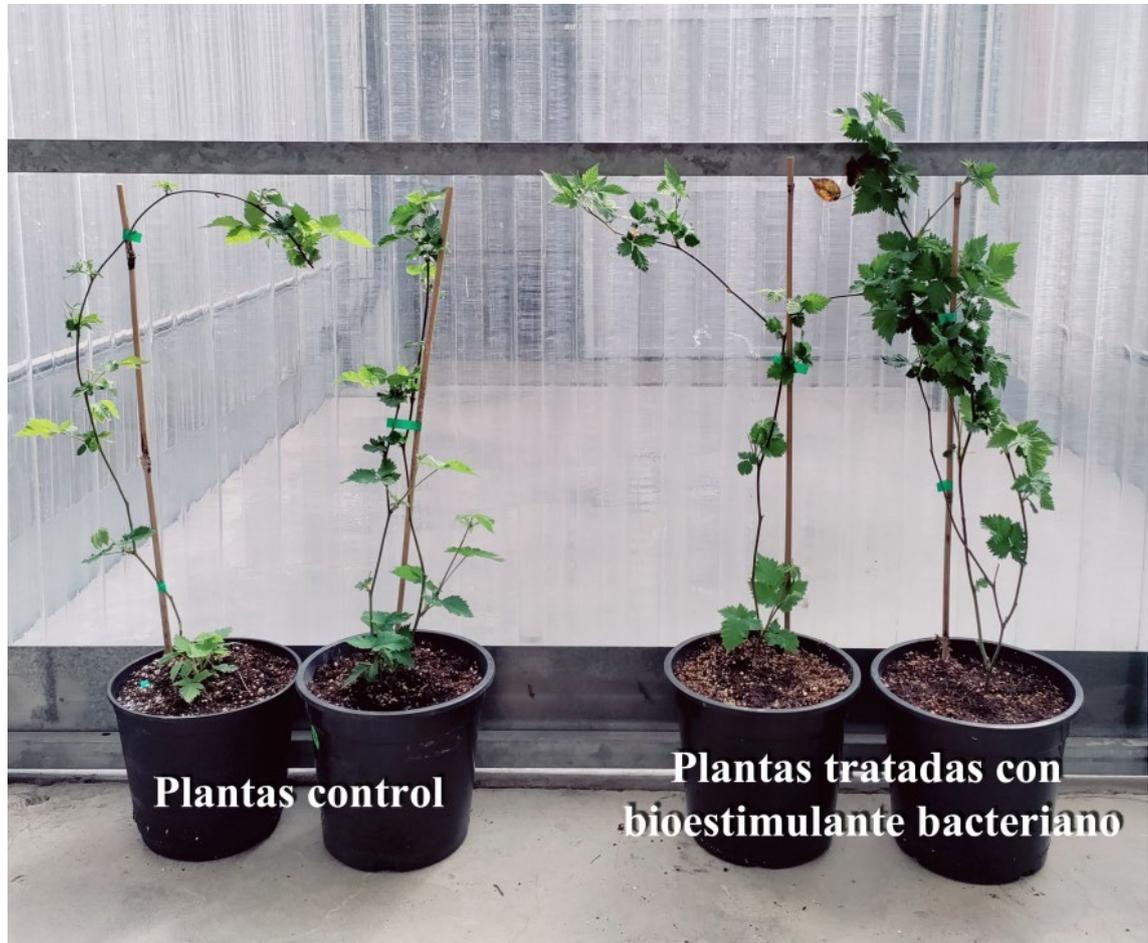


Figura 2. Efecto de la bioestimulación de plantas de mora mediante la aplicación de bioestimulantes bacterianos.

En el caso del arándano, las experiencias realizadas en Portugal, en las regiones de Cova da Beira y Sierra de la Estrella son el resultado de la selección de cepas con alta capacidad de colonización entre más de 300 cepas de bacterias diferentes procedentes de arándanos autóctonos. Estos ensayos demuestran una excelente respuesta del cultivo a la inoculación de las cepas seleccionadas con resultados similares en los ensayos desarrollados en ambas regiones. La inoculación con bacterias pertenecientes a los géneros *Rhizobium* y *Paenibacillus* muestra un aumento en la producción, siendo este último más notable. Aunque algunos resultados muestran una alta variabilidad, la producción media aumenta entre un 20 y un 35% respecto al control sin tratamiento (Fig. 3). Además, la inoculación mostró incrementos de entre el 7% y el 12% en tamaño del fruto de los arándanos inoculados con las bacterias PGP seleccionadas, así como una mejora en el color de los frutos, con tonalidades más oscuras y por tanto más atractivas para el consumidor.

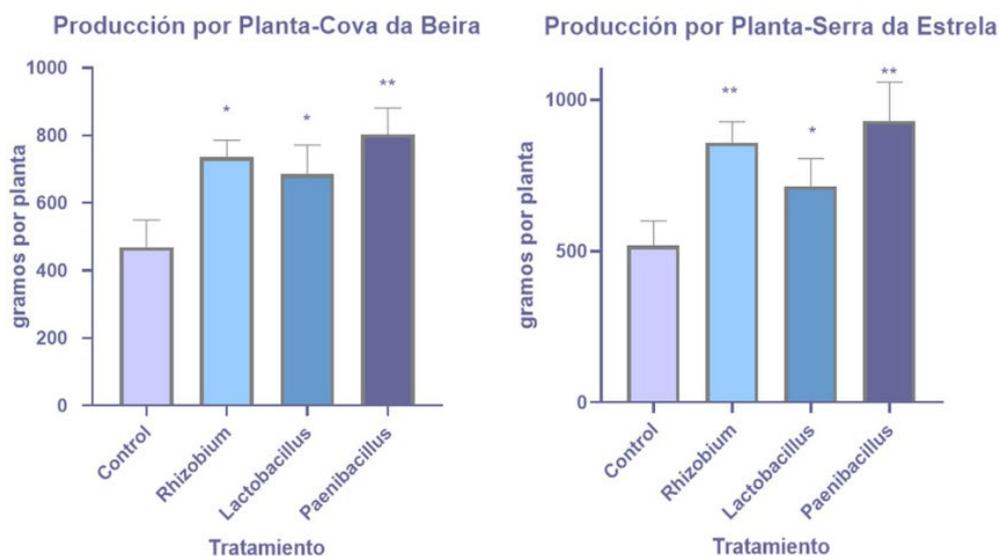


Figura 3. Efecto de la bioestimulación bacteriana en la producción de arándano en ensayos de campo desarrollados en Portugal.

Otro aspecto relevante de los microorganismos es la capacidad que han mostrado para mejorar la producción a nivel cualitativo, incrementando el grado Brix de las frutas, así como la concentración de compuestos bioactivos como son los compuestos fenólicos y las vitaminas, de especial relevancia en el arándano, siendo una de las razones por las que este fruto rojo es tan apreciado. Esta actividad se ha observado asociada a la inoculación de bioestimulantes del género *Rhizobium* y *Phyllobacterium*. Cuando han sido aplicados en cultivos hortícolas como la lechuga y otros cultivos de frutos rojos como la fresa, se observó un incremento en la concentración de compuestos fenólicos coloreados y no coloreados y, en el caso de la fresa, se han descrito incrementos en la concentración de vitamina C de hasta un 120%.

A este respecto, los ensayos realizados en arándanos utilizando bioestimulantes de los géneros *Rhizobium*, *Paenibacillus* y *Lactobacillus* mostraron un incremento generalizado de las características del fruto con una reducción de entre el 10 y el 15% de la acidez total, un aumento del grado Brix de un 7% de media y una mejora en el grado de maduración del fruto manteniendo el mismo grado de firmeza. Además, la inoculación de estas bacterias bioestimulantes produjo una mejora en la concentración de compuestos fenólicos tanto totales como de antocianinas, compuestos fenólicos coloreados que son los principales responsables del color morado de los arándanos y de su capacidad antioxidante (Fig. 4). Este aumento en la concentración de compuestos fenólicos tuvo como resultado un incremento en la capacidad antioxidante de los frutos.

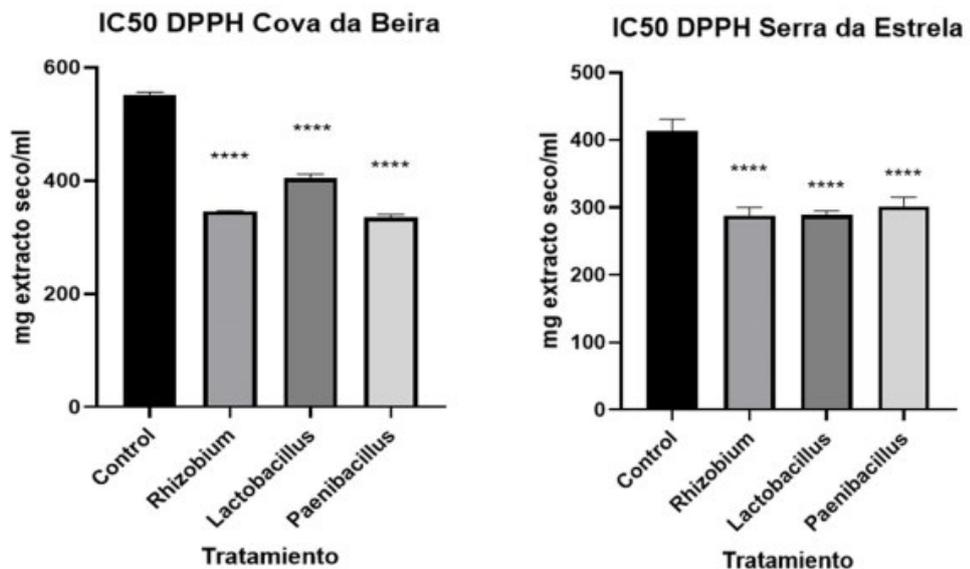


Figura 4. Campos de arándanos en la región de Serra da Estrela (Portugal) y efecto sobre la actividad antioxidante de los frutos medida con respecto al radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo). En este ensayo, se mide la actividad biológica de los arándanos con respecto de una cantidad fija del radical, por lo que una menor cantidad de arándano necesaria para bloquear las especies reactivas de oxígeno implica una mayor capacidad antioxidante de los frutos.

Estos datos ponen de manifiesto cómo la utilización de bacterias promotoras del crecimiento vegetal o PGP en el diseño de bioestimulantes bacterianos puede ser una alternativa competente para mejorar el aprovechamiento de los recursos, maximizando el potencial biológico de los cultivos y aumentar la sostenibilidad de éstos. Además, los beneficios de su utilización no se limitan únicamente a incrementar la producción sino a conseguir una producción agrícola con propiedades bioactivas aumentadas, obteniendo de esta manera un producto de valor añadido.