

Artículo Técnico

No todos los *Bacillus* hablan el mismo idioma:

Particularidades de la especie y perfil de la cepa QST 2808 (Sonata®)

En una finca de flor de exportación, el portafolio biológico crece cada temporada. *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus velezensis*: nombres que en la etiqueta se parecen y que, en la práctica, terminan tratados como similares. Es un error caro. Dos productos pueden compartir género y aun así atacar al hongo, colonizar la planta y activar la defensa vegetal de formas que no son iguales entre productos. En la práctica, la cepa es la que manda. Este artículo ordena esa diferencia en tres niveles —género, especie y cepa— para explicar por qué *Bacillus pumilus* QST 2808, la base de Sonata®, no es “otro *Bacillus*” más en la rotación.

Por: I. A. Diego Torres
KAM Flores, Bayer

El género *Bacillus*: por qué está en el MIPE

El género *Bacillus* agrupa bacterias Gram positivas, aerobias, formadoras de endosporas resistentes, ubicuas en suelos, sedimentos y superficies vegetales. Su relevancia agrícola nace de una combinación poco común: colonizan la rizósfera y la filósfera, secretan metabolitos con actividad antimicrobiana y modulan las respuestas de defensa de la planta hospedera.

En floricultura de exportación esa

combinación resuelve problemas concretos. El primero es el de **residuos y ventanas de aplicación**: los mercados de destino imponen límites máximos de residuos cada vez más estrictos, y un biológico con **cero días de carencia** puede entrar hasta el día del corte, donde un químico —por su carencia o su reentrada— ya no cabe. El segundo es el de resistencia: rotar modos de acción es la primera línea de defensa contra la pérdida de sensibilidad de patógenos como oídio, y un producto de origen biológico aporta una casilla nueva en el esquema FRAC. El tercero es el de **reentrada y seguridad del personal**, un factor operativo cotidiano en cultivo bajo invernadero.

Por eso los *Bacillus* se emplean como alternativas o complementos de los fungicidas de síntesis, integrados en programas de manejo. Ahora bien, la expresión funcional de sus mecanismos no es **uniforme dentro del género**, y esa diferencia es la que conviene mirar de cerca.

Los tres ejes de acción del género

La literatura organiza la acción de los *Bacillus* como herramientas biológicas en tres ejes, ampliamente aceptados.

1. Acción directa sobre el patógeno. Secreción de metabolitos antimicrobianos y enzimas que comprometen la viabilidad del inóculo. Lipopéptidos como las surfactinas alteran la permeabilidad de las membranas fúngicas; enzimas hidrolíticas —quitinasas,



SE PARECEN, PERO NO SON IGUALES

Así pasa con los productos
de protección de cultivos

almagrícola 
Le ponemos el alma al campo.

Distribuidor exclusivo flores.



AUNQUE MUCHOS SE PARECEN, #NINGUNOCOMOBAYER

Si es Bayer es bueno



β -1,3-glucanasas, proteasas— degradan componentes estructurales de la pared celular del hongo. Son efectos locales: se manifiestan donde las concentraciones alcanzan umbrales inhibitorios, en el espacio compartido por bacteria, patógeno y tejido vegetal.

2. Antagonismo y competencia ecológica. Competencia por sustratos limitantes —hierro, carbono—, formación de biofilms que restringen el acceso físico y producción de sideróforos con alta afinidad por el Fe^{3+} . Al colonizar densamente la superficie foliar o radicular, el *Bacillus* excluye físicamente a competidores y reduce el nicho disponible para patógenos oportunistas.

3. Inducción de resistencia en la planta. Elictores bacterianos —lipopéptidos, fragmentos de pared, polisacáridos— activan vías de señalización como la del ácido salicílico y la del jasmonato/etileno, con expresión de genes defensivos (genes PR, enzimas antioxidantes) y mayor resistencia en tejidos distales. Es la resistencia sistémica inducida (ISR).

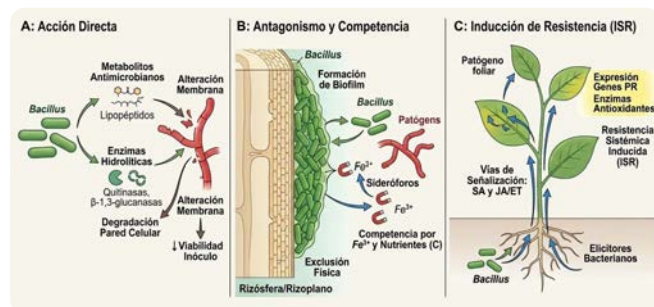


Figura 1. Los tres ejes de acción del género *Bacillus*. a) acción directa sobre el patógeno (lipopéptidos, enzimas líticas). b) antagonismo y competencia por hierro y espacio (biofilm, sideróforos). c) inducción de resistencia sistémica (elicitors → vías SA y JA/ET → genes PR). La expresión relativa de cada eje varía por especie y por cepa.

Estos mecanismos son **multifactoriales**: su contribución relativa depende de la especie, de la cepa específica, de la formulación, de la dosis, de las condiciones ambientales y de la fisiología del cultivo. Esa dependencia es exactamente lo que explica por qué dos "biólogos a base de *Bacillus*" rinden distinto en campo. Bajar del género a la especie, y de la especie a la cepa, deja de ser un tecnicismo taxonómico.

La idea de fondo

Asumir que todos los productos a base de *Bacillus* funcionan igual pasa por alto la variabilidad en producción de metabolitos, colonización e inducción de resistencia propia de cada cepa. La cepa determina el perfil de acción.

La especie *Bacillus pumilus*: un perfil propio

Al pasar del género a la especie *Bacillus pumilus* aparecen rasgos metabólicos y ecológicos que la distinguen, aunque con variabilidad significativa entre sus cepas.

B. pumilus produce de forma consistente aminoazúcares, surfactinas, pumilacidinas, bacilisina, binasa y quitinasas, un repertorio al que se le atribuye actividad frente a royas, mildes polvosos y mildes vellosos, precisamente el trío que más preocupa en rosa y en buena parte de la flor de corte. Sus genomas, según los análisis genómicos disponibles, suelen contener menos clusters biosintéticos NRPS/PKS que los de *B. velezensis* o *B. amyloliquefaciens*, lo que sugiere una estrategia antibiótica más focalizada, con menos frentes pero igualmente efectiva en ciertos patosistemas.

En cuanto a colonización, *B. pumilus* se establece con facilidad en raíces, superficie foliar y de forma endófitas; al esporular, permanece viable en condiciones difíciles y se reactiva cuando el ambiente mejora. Comparada con *B. subtilis*, suele formar un biofilm menos robusto alrededor de la raíz, por lo que su fijación en esa zona puede ser algo menor; a cambio, se adapta muy bien a suelos con la vida microbiana alterada por sequía, agroquímicos o manejo intensivo —el escenario habitual de un invernadero de flores— sin provocar cambios drásticos en el equilibrio del suelo.

La inducción de resistencia sistémica está documentada en varias cepas de *B. pumilus*, asociada a lipopéptidos y a las vías del salicílico y el jasmonato/etileno. En el mapa de las especies agrícolas, *B. velezensis* destaca por repertorios lipopeptídicos amplios y biofilms rizosféricos intensos; *B. subtilis*, por versatilidad de colonización; *B. licheniformis*, por enzimas y bioestimulación; *B. firmus*, por efectos nematocidas. *B. pumilus* comparte con ellas la esporulación y la antibiosis básica, pero se diferencia en la señalización molecular y la afinidad ecológica. Y dentro de la propia especie, las cepas difieren en la abundancia de metabolitos y en la intensidad de la ISR. De ahí la conclusión operativa: la evaluación tiene que ser cepa-específica. No basta con leer "*Bacillus pumilus*" en la etiqueta.

Sonata®: la cepa *Bacillus pumilus* QST 2808

Bajamos al último nivel. El ingrediente activo de Sonata® es la cepa QST 2808 de *Bacillus pumilus*, aislada de ambientes naturales y producida por fermentación. Lo que sigue es lo documentado directamente para este aislado, separado de las inferencias generales del género o de la especie.

Sonata se posiciona como fungicida de contacto para enfermedades foliares, con un modo de acción que integra una fase de contacto directo sobre el hongo y una

contribución a la activación de las defensas de la planta.

El aminoazúcar: el arma de contacto de QST 2808

Aquí está la particularidad que separa a esta cepa. Durante la fermentación, *B. pumilus* QST 2808 produce aminoazúcares con actividad antifúngica, compuestos que están presentes en el producto final: Sonata no es solo "la bacteria viva", sino también su química.

El mecanismo es un caso claro de inhibición enzimática competitiva, el efecto "llave-candado". Las enzimas que el hongo usa para construir su pared celular tienen un sitio activo con una forma tridimensional específica —el "candado"— diseñado para reconocer y unir a sus sustratos naturales, las "llaves" correctas. El aminoazúcar, por su parecido estructural con esos sustratos, actúa como una llave falsa: encaja perfectamente en el sitio activo, pero no puede ser procesado. Al ocupar el candado, bloquea físicamente el acceso de los sustratos verdaderos, detiene la formación de la pa-

red y lleva a la pérdida de integridad celular y, finalmente, a la muerte del patógeno.

Esto se ve en el microscopio. En micrografías de estudios de la compañía sobre oídio (*Podosphaera*) —un patosistema distinto al de la rosa— se observa el micelio colapsado y con crecimiento detenido, frente al micelio en crecimiento activo del testigo. Se muestra como evidencia visual del mecanismo, no como ensayo en flor: el hongo no alcanza a formar bien su pared.

Dos precisiones que importan en campo:

- **Sonata ataca al hongo y activa la planta.** Un activador de resistencia químico no hace lo primero: no toca al patógeno. Sonata hace las dos cosas.
- **Sonata no es Serenade.** Es la confusión más común entre biológicos de Bayer. Serenade es *B. Amiloliquefaciens* QST 713, cuya arma principal son lipopéptidos (iturina, surfactina, fengicina) que atacan la membrana del hongo ideal para manejo de resistencia a cepas mutadas de patógenos como *Botrytis*. Sonata es *B. pumilus* QST 2808, cuya arma son aminoazúcares que atacan la pared, más la inducción de resistencia y modos de acción son distintos: **se rotan**, no se mezclan.

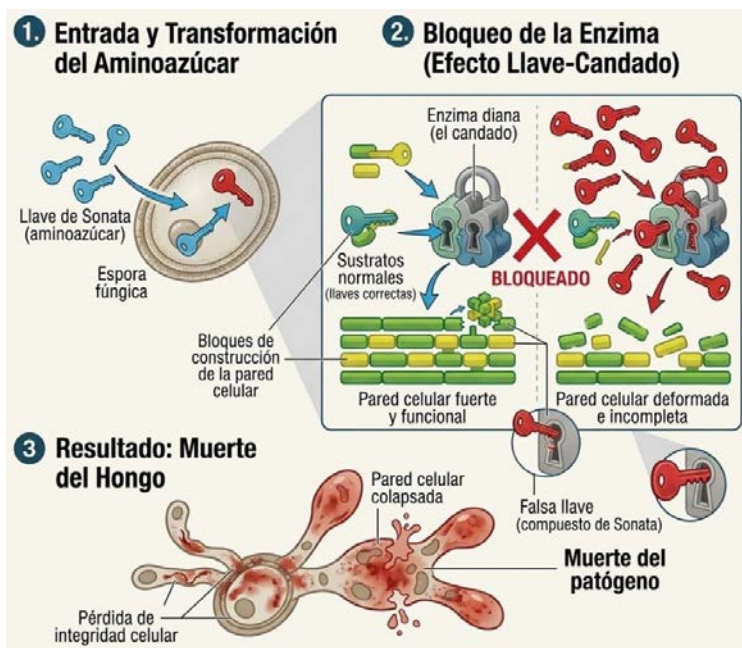


Figura 2. El efecto "llave-candado" del aminoazúcar de Sonata. 1) El aminoazúcar entra en la célula del hongo y se transforma en un compuesto que imita al sustrato natural. 2) Ese compuesto ocupa la enzima que construye la pared celular —encaja como una llave falsa, pero no se procesa— y bloquea el sitio activo. 3) Sin pared funcional, la célula pierde integridad y el patógeno muere.

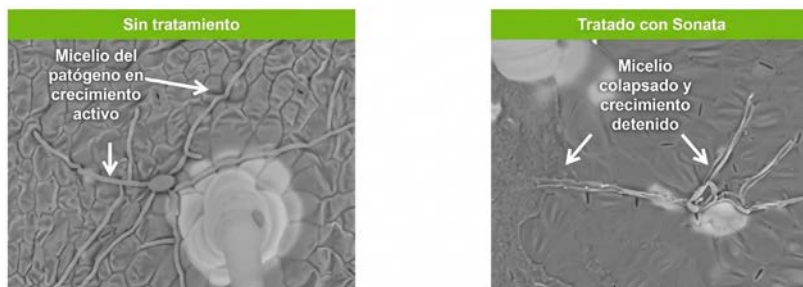


Figura 3. Sin tratamiento vs. tratado con Sonata. Actividad fúngica sobre hifas y esporas de oídio (*Podosphaera*) en superficies foliares: a la izquierda, micelio en crecimiento activo; a la derecha, micelio colapsado y crecimiento detenido. (Imagen: estudios de Bayer.)

Esta evidencia génica se generó en zanahoria y se cita aquí como modelo del mecanismo, actualmente se están desarrollando los estudios en flores de corte como crisantemo y rosa. Y es genotipo-dependiente: en genotipos susceptibles la reducción de severidad es más marcada que en variedades resistentes. Es decir que la ISR no es un beneficio universal, sino que rinde donde la planta tiene margen de mejora.

El concepto que explica por qué esta vía es eficiente es el cebado o *priming*. Existen dos formas de encender las defensas de la planta:

- **Activar la defensa directamente** —lo hace un patógeno al infectar, o un activador químico como el acibenzolar-S-metil o el benzothiazole (ASM/BTH). Las defensas quedan encendidas de forma constitutiva, haya o no ataque.
- **Cebad la defensa** —dejarla en estado de alerta. La maquinaria queda lista, sin gastarse, y responde más rápido y con más amplitud cuando el patógeno llega. Es el *priming*, y lo inducen ciertos microorganismos y elicitores.

La diferencia tiene consecuencias en el rendimiento de la planta, y aquí entra un principio fisiológico central: toda defensa cuesta. Cuesta carbono, ATP, poder reductor, esqueletos carbonados, nitrógeno. El presupuesto de la planta es finito, y lo que se gasta en defensa no se invierte en tallo, follaje, botón floral o vida en florero. Un activador químico mantiene ese gasto encendido de forma permanente —además de regular a la baja la fotosíntesis para liberar recursos— en ocasiones con penalización de crecimiento descritas para activadores como el ASM/BTH. La planta cebada, en cambio, mantiene su fotosíntesis normal mientras no haya ataque y solo paga el costo de la defensa cuando ocurre el ataque. Se ha estimado que el *priming* impone alrededor de un 60 % menos de costo de aptitud que la defensa inducida directa (van Hulten *et al.*, 2006; dato medido en *Arabidopsis*).

Cómo encaja en el programa de flor

Sonata es un preventivo de contacto. Tiene que estar sobre el tejido antes de la penetración del hongo; no erradica colonias ya establecidas con haustorios. Dicho de otro modo: precede y acompaña al curativo; no lo reemplaza. Colocado así, de forma preventiva, en rotación, aporta lo que un químico no puede aportar simultáneamente: cero días de carencia, cuatro horas de reentrada, una casilla FRAC nueva (BM 02) para el manejo de resistencia, y un doble golpe —al hongo por contacto y a la planta por inducción de defensas— sin encender un gasto fisiológico permanente.

Qué significa para el floricultor

Volver a la premisa del título: no todos los *Bacillus* hablan el mismo idioma. La cepa específica determina qué metabolitos se producen, cómo se coloniza y con qué intensidad se activa la ISR. *Bacillus pumilus* QST 2808 se distingue por combinar un modo de contacto vía aminoazúcares —el efecto llave-candado sobre la pared del hongo— con la inducción de resistencia por *priming*, un perfil que ninguna generalización sobre "los *Bacillus*" captura. A esto se suma un factor que en biológicos vale el producto: una formulación que asegura estabilidad y homogeneidad entre lotes, porque si la bacteria o el metabolito no llegan estables, el resultado en campo se vuelve impredecible.

Para el floricultor, la conclusión es práctica. Sonata no es un químico más ni "un *Bacillus* cualquiera": es una cepa con un mecanismo propio que encaja donde más aprieta la exportación —residuos, resistencia, reentrada— siempre que se use como lo que es, un preventivo de contacto y activador de las defensas dentro de un programa integrado. Por eso vale la pena leer la cepa, y no solo el género, antes de armar la rotación.

Bibliografía

- Dini-Andreote, F. (2020). Endophytes: The role of extracellular and vascular microorganisms in plant health. *Emerging Topics in Life Sciences*, 4(2), 215–226.
- Le Clerc, V., *et al.* (2025). Identification of plant resistance inducers and evaluation of genotype receptivity for carrot protection against *Alternaria* leaf blight. *Frontiers in Plant Science*, 16.
- Ma, Y., *et al.* (2023). The role of *Bacillus* species in biocontrol of plant diseases. *Plants*, 12(15).
- Olanrewaju, O. S., Glick, B. R., & Babalola, O. O. (2017). Mechanisms of action of plant growth-promoting bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(11), 197.
- van Hulten, M., *et al.* (2006). Costs and benefits of priming for defense in *Arabidopsis*. *PNAS*, 103(14), 5602–5607.
- Xu, L., *et al.* (2023). Interaction between plant immunity and microbiome. *Current Opinion in Plant Biology*, 75.

