

Bacillus: bacterias clave para el futuro de la **sanidad vegetal en contexto de cambio climático**



Paz Millas O.
Ingeniera Agrónoma, Dra.
INIA Quilamapu



Eduardo Tapia R.
Ingeniero en Biotecnología, Dr.
INIA La Platina



Los biopesticidas en base a *Bacillus* son los más utilizados en el mundo, debido a su toxicidad hacia una amplia gama de plagas de insectos y enfermedades, y a su inocuidad para el ser humano. Estos bioinsumos alcanzan cerca de un 90 % del mercado de controladores biológicos a nivel mundial.

Las plantas son la base de la alimentación humana, considerando que el 80 % de los alimentos es de origen vegetal. La FAO estima que cada año, hasta el 40 % de los cultivos alimentarios se pierde por efecto de plagas y enfermedades, lo que deja a millones de personas sin suficiente alimento.

El cambio climático y las actividades humanas han alterado los ecosistemas, reduciendo la biodiversidad y creando nuevos nichos ecológicos donde las plagas y enfermedades pueden desarrollarse de mejor manera. Por otro lado, se estima que el incremento de las temperaturas proyectado en el futuro próximo, aumentará las enfermedades causadas por bacterias.

Los agroquímicos han jugado un rol muy importante en el aumento de los rendimientos y la calidad de los cultivos en las últimas cuatro décadas. Sin embargo, existe una creciente preocupación por parte de la población en relación al uso de fertilizantes y pesticidas de síntesis química, dado que la acumulación de residuos tóxicos en el suelo, las aguas y los alimentos, generan daños en la salud humana y en los ecosistemas naturales. En la última década se han

incrementado las regulaciones para el uso de agroquímicos y muchos pesticidas han sido retirados del mercado debido a su toxicidad. Esto ha obligado a buscar otras alternativas de control, entre las que se encuentra el uso de microorganismos biocontroladores de plagas y enfermedades.

Numerosos estudios muestran la capacidad que tienen las bacterias del género *Bacillus* para controlar enfermedades y plagas. Varias especies han sido desarrolladas como biopesticidas a nivel comercial, entre las que destacan: *B. amyloliquefaciens*, *B. licheniformis*, *B. sonorensis*, *B. sphaericus*, *B. subtilis* y *B. thuringiensis*.

Las especies de *Bacillus* tienen una habilidad única para replicarse rápidamente, lo que les da ventajas a la hora de producirlos industrialmente. Además, son muy resistentes a las condiciones ambientales adversas, tales como altas temperaturas y falta de agua. Producen una amplia gama de moléculas con propiedades antibióticas, fungicidas o insecticidas, que son usadas para el control biológico. Asimismo, tienen la capacidad de solubilizar nutrientes y producir hormonas que promueven el crecimiento vegetal.

Control de plagas y enfermedades

Los biopesticidas en base a *Bacillus* son los más utilizados en el mundo, debido a su toxicidad hacia una amplia gama de plagas de insectos y enfermedades, y a su inocuidad para el ser humano. Estos bioinsumos alcanzan cerca de un 90 % del mercado de controladores biológicos a nivel mundial. Un 75 % del mercado internacional es dominado por productos en base a *Bacillus thuringiensis*, los que se produjeron por primera vez en 1938, para el control de la polilla de la harina y que, actualmente, se comercializan con más de 30 productos registrados para el control de distintos órdenes de insectos como Lepidoptera, Diptera, Coleoptera, Hemiptera e Hymenoptera.

Con una menor participación en el mercado, pero no menos importantes, están los productos para el control de enfermedades, donde podemos encontrar productos¹

¹ La mención de productos comerciales es sólo a modo de ejemplo y no constituye recomendación de los autores ni de INIA.

en base a distintas especies de *Bacillus*: Ballad Plus (*B. pumilus*), Fungifree AB (*B. subtilis*), Taegro 2 (*B. amyloliquefaciens*), EcoGuard-GN (*B. licheniformis*), etc. Dentro de las enfermedades para las que se recomiendan encontramos pudriciones radiculares, roya, oídio y botritis, entre otras. En Chile hay cinco productos en base *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* y/o *B. licheniformis*, autorizados por el SAG para el control de botritis, oídio, pudrición ácida y/o cáncer bacteriano en carozos, pomáceas, arándano, vides y hortalizas.

Efecto insecticida

La mayoría de las subespecies de *B. thuringiensis* producen una estructura con forma de cristal llamada δ -endotoxina, que se ubica dentro de la célula bacteriana. Dependiendo de la especie de *Bacillus thuringiensis*, la δ -endotoxina presenta diferentes grados de toxicidad sobre varios órdenes de insectos susceptibles. Cuando la larva ingiere el *B. thuringiensis*, la δ -endotoxina es solubilizada en el tracto digestivo alcalino del insecto y convertida en toxinas activas. Finalmente, las toxinas inducen la ruptura de las células intestinales, provocando la muerte del insecto por inanición e intoxicación.

Efecto antimicrobiano

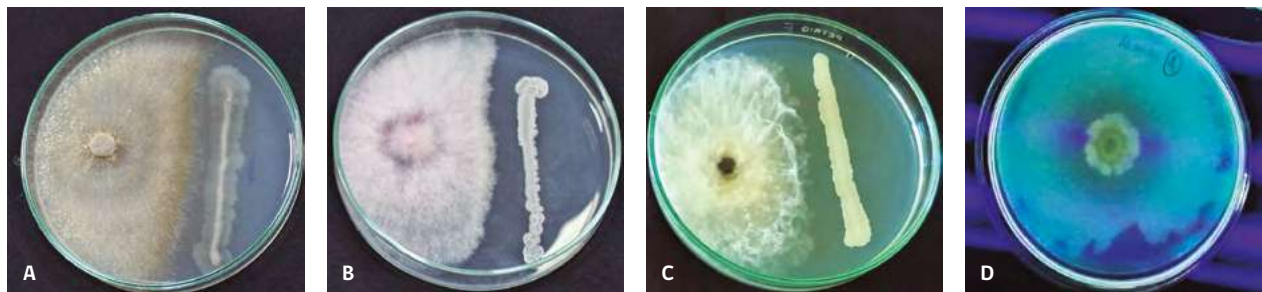
Bacillus se caracteriza por producir una amplia gama de compuestos o metabolitos con efecto antibiótico, los que actúan destruyendo las paredes y/o membranas celulares de hongos y bacterias e inhiben la producción y germinación de esporas de hongos. Por otra parte, algunos de estos metabolitos tienen la capacidad de inducir en la planta una respuesta de defensa conocida como resistencia sistémica inducida, mecanismo en que la propia planta se defiende a través de la producción de compuestos antimicrobianos y antifúngicos, tales como fitoalexinas, quitinasas y glucanases.

Un tercer mecanismo que se ha descubierto, es la capacidad de algunas cepas de *B. thuringiensis* y *B. subtilis* de producir una enzima que degrada la señal de comunicación que utilizan bacterias patógenas como *Pseudomonas syringae* y *Erwinia carotovora*, para coordinar la expresión de virulencia e inducir la formación de biopelículas, que les dan protección frente a las condiciones ambientales y a los productos bactericidas. Al interrumpir este tipo de comunicación, se elimina la capacidad de las bacterias patógenas de causar enfermedades y las hace más susceptibles a los productos que se usan para controlarlas.

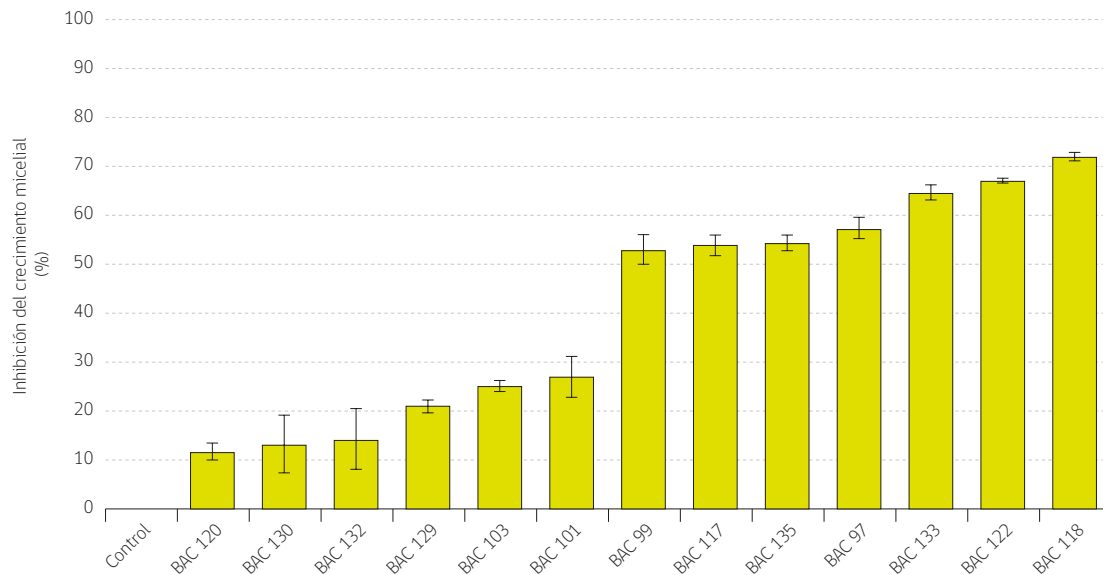
Investigación en INIA

El Banco de Recursos Genéticos Microbianos de INIA conserva al menos 25 aislamientos de distintas especies de *Bacillus* (*B. amyloliquefaciens*, *B. licheniformis*, *B. nakamurai*, *B. pumilus*, *B. proteolyticus*, *B. subtilis* y *Bacillus* sp.) que han sido aislados desde distintos sustratos tales como: plantas, compost, té de compost, suelos provenientes de embalses, bosques nativos y reservas naturales. Estos aislamientos han demostrado inhibir el crecimiento de varios patógenos, entre los que se encuentran los causantes de caída de plantas (*Rhizoctonia solani* y *Phytophthora ultimum*), marchitez vascular (*Fusarium oxysporum*), canchris del arándano (*Neofusicoccum parvum*) y cáncer bacteriano (*Pseudomonas syringae* pv. *syringae*) (FIGURA 1).

Algunos ejemplos de su efectividad son las cinco cepas de *Bacillus* aisladas de suelo de bosque nativo y compost, que fueron capaces de inhibir el crecimiento de *Rhizoctonia solani* entre un 40 y 65 %, por compuestos antibióticos, mientras que dos cepas inhibieron en un 100 % a este patógeno por compuestos volátiles. Varios aislados de *Bacillus* mostraron una reducción del crecimiento de *Neofusicoccum parvum* de más de un 50 % y el aislado Bac 118 (*Bacillus siamensis*)



➡ **Figura 1.** Inhibición *in vitro* del crecimiento de patógenos: A) *Rhizoctonia solani*, B) *Fusarium oxysporum*, C) *Neofusicoccum parvum* y D) *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*. En A), B) y C), *Bacillus* se observa como una línea al lado derecho de la placa y el patógeno al lado izquierdo. En D), *Bacillus* se observa como un disco al centro de la placa y el crecimiento del patógeno se ve con coloración fluorescente en la superficie de la placa.



📌 **Figura 2.** Inhibición de crecimiento de *Neofusicoccum parvum* producido por distintos aislamientos de *Bacillus* spp. pertenecientes a la colección del Banco de Recursos Genéticos Microbianos de INIA.

alcanzó un 70 % de inhibición del crecimiento del hongo (FIGURA 2). La canchosis del cuello es una de las enfermedades más importantes en arándano y no se conoce un control curativo, ya que una vez que el hongo infecta la planta, avanza por la madera hasta donde no pueden llegar los fungicidas.

Estos resultados son muy promisorios, ya que además del efecto inhibitorio, estas bacterias tienen la capacidad de vivir dentro de plantas leñosas, por lo que pueden dar protección desde el interior e impedir que plantas sanas se infecten. Sólo dos aislados de la colección han mostrado efecto antibiótico frente a *Pseudomonas syringae* pv *syringae*, con halos de inhibición de 3 a 4 cm (FIGURA 1D). La búsqueda de alternativas para el manejo de cáncer bacteriano del cerezo es un tema prioritario de investigación, debido a que los productos en base a cobre que se usan indiscriminadamente para controlar esta enfermedad, han generado resistencia en las poblaciones de *P. syringae* pv. *syringae*.

Sumado a lo anterior, INIA ha desarrollado proyectos e

investigaciones para el control de plagas con *Bacillus turhingiensis* var *kurstaki* (Btk), en donde se realizó control de la polilla del racimo de la vid *Lobesia botrana* y la polilla de la col *P. xylostella* en la zona central. Además, con *Bacillus turhingiensis* var *israelensis* se han controlado Jerjeles (*Simulium escomeli*) en el norte del país.

En el caso del manejo integrado de *Lobesia botrana*, se evaluaron

aplicaciones de distintos biopesticidas en base a Btk en el estado más susceptible de la plaga que es la larva 1. La estrategia fue aplicar sobre huevos a punto de eclosionar, para que las larvas ingirieran el biopesticida en base a BTK al comenzar a alimentarse y murieran por el daño en su aparato digestivo (FIGURA 3). En estas experiencias con distintos Btk, se alcanzaron eficacias entre un 50 y un 80 %, dependiendo



📌 **Figura 3.** A) Aplicación de biopesticidas en base a *Bacillus turhingiensis* var *kurstaki* en vides. B) Larvas de *Lobesia botrana* sin movilidad, postaplicación de biopesticidas en base a Btk.

de la concentración del ingrediente activo de los productos evaluados. Estas eficacias permitieron incorporar estos biopesticidas en propuestas de manejo integrado de *L. botrana*, en donde se aplicaron hongos entomopatógenos para control invernal sobre pupas y *B. thuringiensis* sobre larvas neonatas de la plaga.

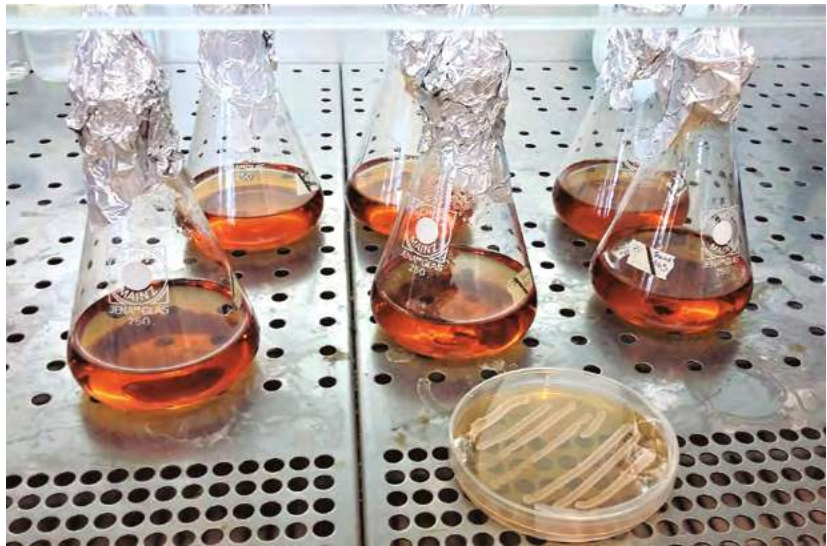
Siempre es importante recalcar que los biopesticidas funcionan en base a encontrar los estados susceptibles en el ciclo biológico de la plaga, lo que requiere mantener un constante monitoreo de estos estados para el éxito del control.

En la actualidad, en INIA se realizan distintas investigaciones para evaluar las capacidades de estos microorganismos en el control de plagas y enfermedades, además de evaluar su capacidad de secretar distintos metabolitos, enzimas o moléculas que pueden ser un aporte a la agricultura sostenible y en condiciones ambientales adversas como el cambio climático.

Resistencia de *Bacillus* a condiciones medioambientales

Una de las características distintivas de este género es su capacidad para formar una estructura altamente resistente dentro de la célula, denominada endospora. Estas endosporas le permiten sobrevivir bajo condiciones ambientales adversas, que otros microorganismos benéficos no pueden tolerar. Los períodos de sobrevivencia pueden ir desde meses hasta cientos de años. Las endosporas de *Bacillus* son altamente resistentes al calor, soportando exposiciones de hasta 80 °C por períodos cortos. Además, las endosporas también pueden soportar otras condiciones adversas que incluyen la desecación,

En la última década se han incrementado las regulaciones para el uso de agroquímicos y muchos pesticidas han sido retirados del mercado debido a su toxicidad. Esto ha obligado a buscar otras alternativas de control, entre las que se encuentra el uso de microorganismos biocontroladores de plagas y enfermedades.



📍 Cultivo *in vitro* de *Bacillus*.

ciclos de congelación-descongelación, radiación UV, alta presión hidrostática, abrasión física, exposición a productos químicos o incluso depredación. Las endosporas son semejantes a las semillas de algunas malezas, que permanecen en un estado de latencia hasta que el ambiente se vuelve favorable, momento en que reinician su ciclo de vida a través de la germinación y el crecimiento.

Esta capacidad de sobrevivencia es favorable a la hora de aplicar

productos al ambiente para el control de plagas y enfermedades, y también les da una ventaja frente a los futuros cambios climáticos que afrontamos, en los que se estiman aumentos en la temperatura promedio y eventos climáticos de sequía e inundaciones.

Por todas estas características, las especies del género *Bacillus* son clave para el desarrollo de biopesticidas del futuro. **TA**