

Bacillus subtilis.

Qué es y cómo usarla para aumentar la productividad agrícola

Bacillus subtilis es una bacteria de suelo, Gram-positiva y aeróbica, ampliamente reconocida como un agente de control biológico y una potente rizobacteria promotora del crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés). Su capacidad para formar endosporas muy resistentes le permite sobrevivir bajo condiciones ambientales adversas, como temperaturas extremas, radiación UV y desecación, lo que facilita su almacenamiento y aplicación en el campo. Hoy te explicamos cómo puedes usarla a tu favor para incrementar el rendimiento de tus cosechas.

Aislamiento e identificación de *Bacillus subtilis*

El aislamiento de *B. subtilis* se realiza comúnmente a partir de suelo rizoférico y raíces de plantas. Un método efectivo consiste en suspender muestras de suelo en solución salina isotónica (0,85 % p/v) estéril y someterlas a un choque térmico (ej. 80°C durante 7 a 10 minutos) para eliminar formas vegetativas y seleccionar únicamente las esporas bacterianas. Posteriormente, se cultivan en medios como Agar Nutritivo o Luria-Bertani.

Para su identificación, se utilizan tres niveles de análisis:

1. Morfológico: Observación de bacilos Gram-positivos que forman colonias secas, planas y redondas, de color blanco a crema.
2. Bioquímico: Pruebas para determinar su metabolismo facultativo o estrictamente aeróbico.
3. Molecular: Confirmación definitiva mediante la secuenciación del gen ADN_r 16S o el análisis del gen *gyrA*.

Producción en masa y formulación

B. subtilis destaca porque puede crecer rápido en sustratos económicos y tiene un ciclo de fermentación corto (usualmente alrededor de 48 horas). Se produce masivamente mediante fermentación líquida sumergida o en estado sólido. Se pueden usar como fuentes de carbono

azúcares de diferentes tipos, y sales que aporten nitrógeno, fósforo, azufre, magnesio, calcio y manganeso.

En cuanto a su formulación, la bacteria es versátil:

- Biofertilizantes: Incorporada en medios líquidos o sólidos soportados.
- Encapsulación: Uso de nanopartículas de oro, plata o aluminio para proteger la bacteria y potenciar su liberación sostenida.
- Biochar: Formulación de *B. subtilis* con biocarbón para mejorar la calidad del suelo y el crecimiento de cultivos.

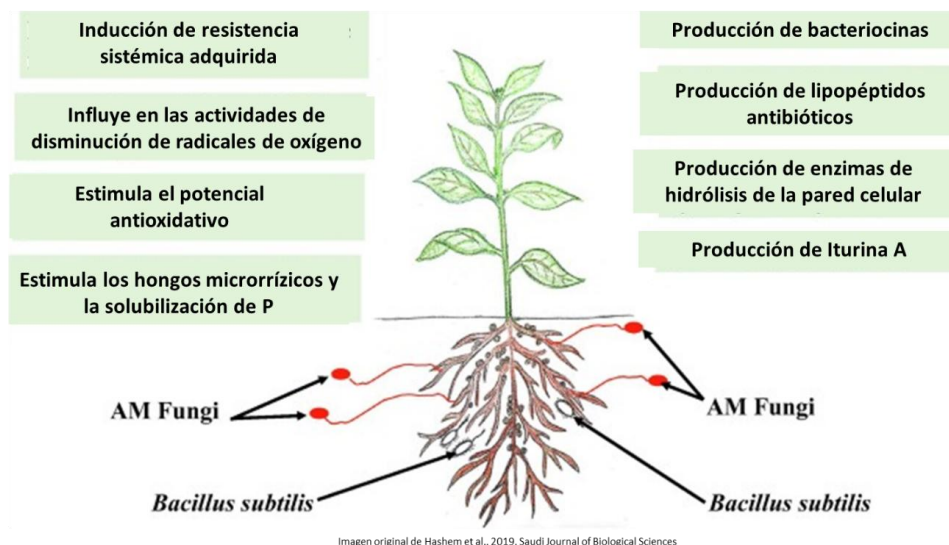
Mecanismos de acción de *B. subtilis*

Esta bacteria actúa a través de múltiples frentes para proteger y nutrir a la planta:

- Directos: Produce fitohormonas (auxinas como el ácido indolacético, giberelinas y citoquininas) que estimulan el desarrollo radicular. También realiza la solubilización de fósforo, potasio y zinc, e incluso la fijación de nitrógeno atmosférico.
- Antagonismo (Antibiosis): Sintetiza lipopéptidos potentes como iturinas, surfactinas y fengicinas, que destruyen las membranas de hongos y bacterias patógenas.
- Enzimas Líticas: Secreta quitinasas, proteasas y celulasas que degradan la pared celular de los patógenos.

- Competencia: Excluye a los patógenos al colonizar rápidamente el espacio y consumir los nutrientes disponibles en la rizosfera.

- Resistencia Sistémica Inducida (ISR): Activa los mecanismos de defensa naturales de la planta, preparándola para resistir ataques futuros en toda su estructura.



Mecanismos de *Bacillus subtilis* en el control biológico del estrés biótico. Imagen original de [Hashem et al., 2019](#).

Beneficios para la planta y el agroecosistema

La aplicación de *B. subtilis* puede incrementar el rendimiento de los cultivos hasta en un 40%. Ayuda a mitigar el estrés biótico causado por hongos como *Fusarium* o *Alternaria*, bacterias, virus y nematodos. Además, otorga tolerancia ante estrés abiótico, como sequía, alta salinidad y presencia de metales pesados, regulando el transporte de agua y reduciendo la toxicidad iónica. En el ecosistema, mejora la calidad del suelo al aumentar el contenido de humus y carbono.

El Biofilm de *Bacillus subtilis*. Para qué sirve y como promoverlo

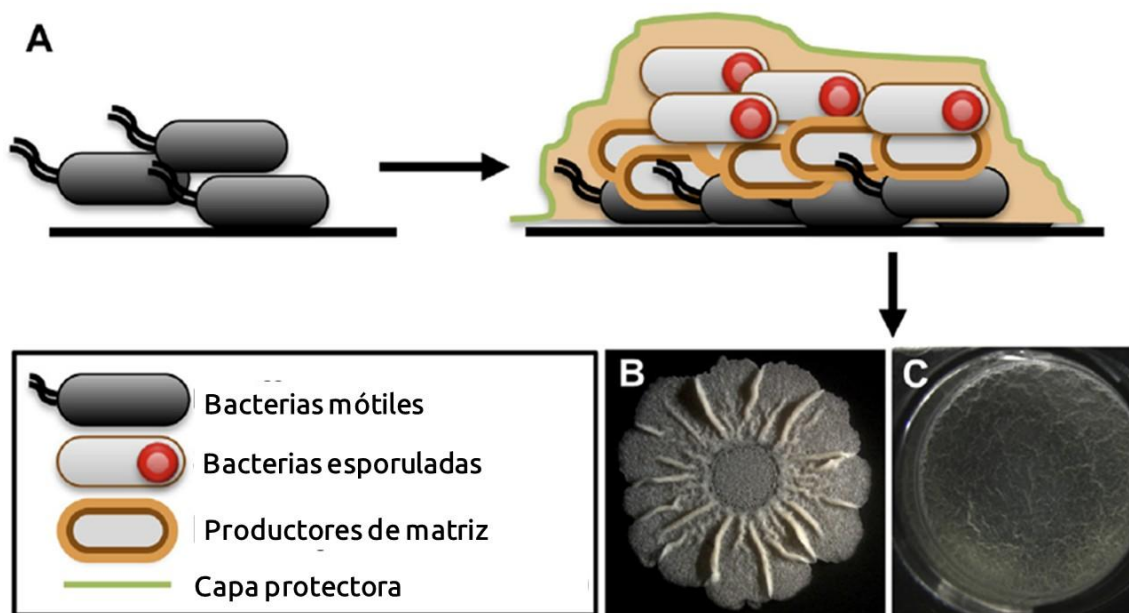
El [biofilm](#) es una comunidad bacteriana organizada, cubierta por una matriz autogenerada de exopolisacáridos (EPS) y proteínas como TasA y BslA.

Es fundamental para la colonización a largo plazo de las raíces, proporcionando un sitio de anclaje que protege a las bacterias de las fluctuaciones ambientales. Sin biofilm, la

eficacia del biocontrol disminuye drásticamente.

La formación del biofilm es inducida por señales químicas de la planta, como el ácido málico y polisacáridos de la pared celular (pectina y arabinogalactano). A nivel técnico, la aplicación de la bacteria en estado de biofilm (obtenida mediante cultivos estáticos) ha demostrado ser superior a la inoculación en forma planctónica, logrando aumentos de biomasa radicular de hasta un 37% superior.

El ácido málico, específicamente el L-ácido málico, promueve la formación del biofilm en *Bacillus subtilis* actuando como un mediador clave en la comunicación entre la planta y la bacteria. Además de ser una señal reguladora, se ha sugerido que el ácido málico puede funcionar como una fuente de carbono que altera el metabolismo bacteriano a favor del estilo de vida en biofilm. Así, el ácido málico funciona como una señal ambiental que "avisa" a la bacteria que se encuentra en la superficie de un hospedador vegetal, activando el programa genético necesario para pasar de un estado móvil a uno sésil y protector dentro de una comunidad de biofilm.



Formación de biofilm en bacterias móviles. (A) Al recibir una señal de diferenciación, las células de *B. subtilis* pasan de ser flageladas y móviles a un estilo de vida sésil en el que expresan genes involucrados en la producción de la matriz extracelular y la formación de biofilms. Dentro de un biofilm, existen subpoblaciones de células dedicadas a diversas funciones: motilidad, esporulación o producción de componentes de la matriz extracelular. La matriz extracelular está compuesta principalmente por exopolisacáridos (EPS) y fibras de tipo amiloide TsaA, junto con la capa proteica externa de BslA, la cual confiere protección a las células, define la arquitectura y mantiene la integridad de los biofilms. Vista superior de biofilms de *B. subtilis* presentados como (B) colonias sobre una superficie de agar o (C) una película en la interfaz aire-líquido de un cultivo líquido estático. Texto e imagen original de [Diego Romero 2013](#).

¿Qué función cumplen las iturinas y surfactinas de *B. subtilis* contra los patógenos?

Las iturinas y surfactinas son lipopéptidos cíclicos producidos por *Bacillus subtilis* que actúan como potentes agentes de biocontrol mediante diversos mecanismos directos e indirectos contra patógenos.

Las iturinas se destacan principalmente por su fuerte actividad antifúngica contra una amplia variedad de hongos y levaduras.

- **Formación de poros:** Su mecanismo de acción principal consiste en dañar las células del patógeno mediante la formación de poros conductores de iones en la membrana plasmática.

- **Alteración de la permeabilidad:** Al interactuar con las membranas, aumentan su permeabilidad, lo que provoca la fuga del contenido celular y la muerte del microorganismo.

- **Efectos morfológicos:** Pueden causar distorsiones severas, como hinchamiento de las hifas, lisis celular y deformación de las conidias.

- **Inhibición de la germinación:** Se ha documentado que inhiben eficazmente la germinación de esporas de patógenos como *Penicillium roqueforti* y *Alternaria alternata*.

Las surfactinas son conocidas por ser uno de los biosurfactantes más potentes, con una marcada actividad antibacteriana y antiviral, aunque también pueden afectar a ciertos hongos.

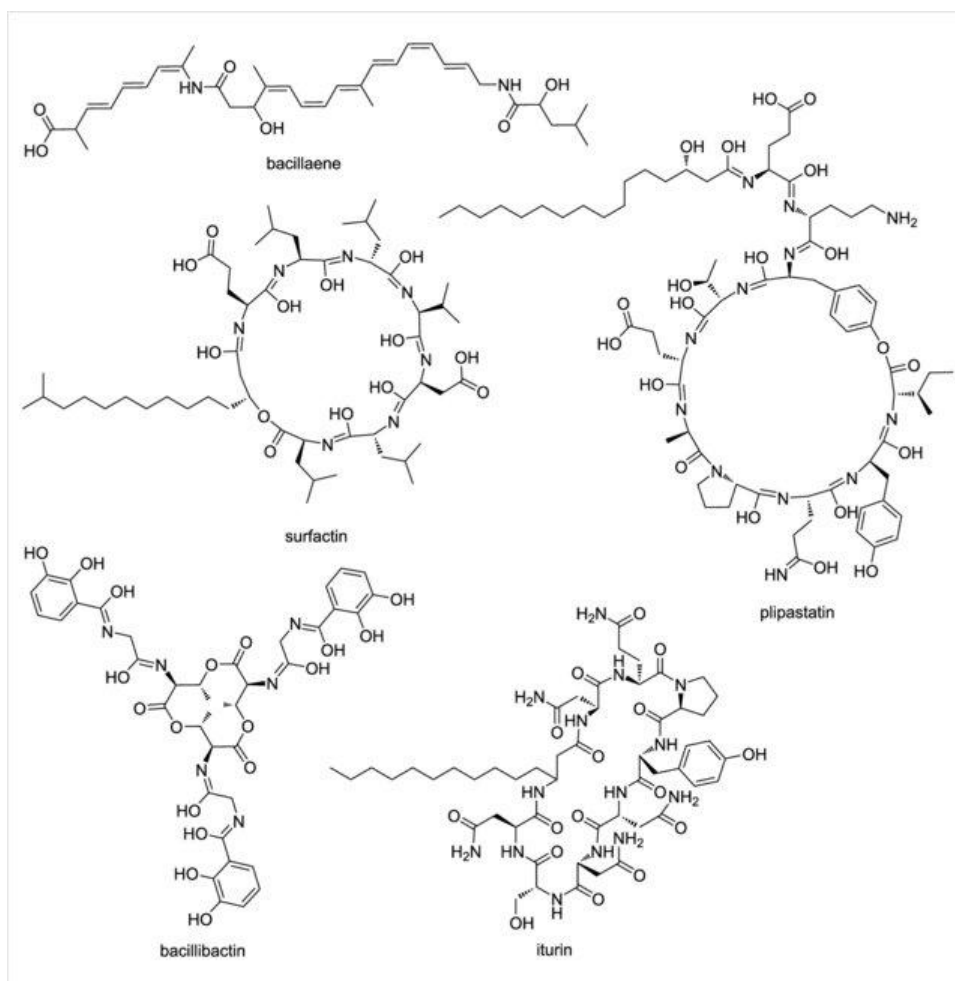
- **Disrupción de membranas:** Debido a su naturaleza anfipática, se insertan en las capas

lipídicas de las membranas de los patógenos, desestabilizándolas y provocando su desintegración.

- Fuga de potasio: Actúan formando poros que causan un desequilibrio osmótico mediante la fuga de cationes de potasio.

- Actividad antiviral: Son especialmente efectivas contra virus envueltos, destruyendo su envoltura bi-lipídica.

- Sinergia: Aunque por sí solas pueden tener una actividad antifúngica menor que las iturinas, actúan de forma sinérgica potenciando la toxicidad de estas contra hongos patógenos.



Estructuras de surfactina, plipastatina, bacillibactina, e iturina producidas por *B. subtilis*. Imagen original de [Kiesewalter et al., 2020](#).

Funciones Indirectas y de Biofilm de las iturinas y surfactinas

Además del ataque directo, ambos lipopéptidos cumplen roles cruciales en la protección de la planta:

- Inducción de Resistencia Sistémica (ISR): Actúan como elicitores que activan los

mecanismos de defensa naturales de la planta, haciéndola más resistente a ataques futuros de virus, bacterias y hongos.

- Colonización y Biofilm: Las surfactinas son esenciales para la movilidad y la formación de biofilms de *B. subtilis* en las raíces, lo que facilita una colonización estable que excluye físicamente a los patógenos de la rizosfera.

¿Cómo ayuda *B. subtilis* a las plantas frente a la salinidad?

Bacillus subtilis ayuda a las plantas a mitigar los efectos negativos de la salinidad a través de diversos mecanismos fisiológicos, químicos y moleculares que mejoran su crecimiento y supervivencia en suelos salinos.

1. Restricción y Balance de Iones Tóxicos

Uno de los principales beneficios es la regulación del transporte de sodio (Na^+), evitando su acumulación tóxica en los tejidos vegetales:

- **Producción de Exopolisacáridos (EPS):** La bacteria secreta EPS que se unen físicamente al Na^+ en la rizosfera, inhibiendo su transporte hacia las células de la raíz.
- **Vainas protectoras:** Ciertas cepas cubren las zonas de las raíces con "vainas de suelo" que restringen el flujo pasivo de sodio hacia el cilindro vascular.
- **Homeostasis iónica:** Mejora la relación K^+/Na^+ (potasio/sodio), permitiendo que la planta mantenga la absorción de nutrientes esenciales como el potasio y nitratos a pesar del exceso de sal.

2. Regulación Osmótica y Protección de Membranas

La salinidad reduce el potencial hídrico del suelo, dificultando la absorción de agua. *B. subtilis* responde mediante:

- **Acumulación de osmolitos:** Estimula la síntesis de compuestos protectores como prolina, glicina, betaína y colina, que ayudan a la planta a retener agua y mantener la turgencia celular.
- **Síntesis de lípidos:** Mejora la producción de fosfolípidos y ácidos grasos (oleico, linoleico y linolénico), lo que estabiliza las membranas celulares y reduce la peroxidación lipídica causada por el estrés salino.

3. Fortalecimiento del Sistema Antioxidante

El estrés por salinidad genera un exceso de especies reactivas de oxígeno (ROS) que dañan las proteínas y el ADN. La bacteria potencia la maquinaria de defensa de la planta:

- **Activación de enzimas:** Incrementa significativamente la actividad de enzimas antioxidantes clave como la catalasa (CAT), superóxido dismutasa (SOD), peroxidasa (POD) y ascorbato peroxidasa (APX).
- **Reducción de la muerte celular:** Disminuye la actividad de la caspasa (proteasa involucrada en la muerte celular programada), lo que ayuda a reprogramar la acción de los antioxidantes para lograr la tolerancia.

4. Modulación Hormonal y de Expresión Génica

- **Fitohormonas:** La bacteria produce auxinas (IAA) y giberelinas (GA) que estimulan el desarrollo radicular y aéreo, compensando el retraso del crecimiento inducido por la sal.
- **Regulación del ácido abscísico (ABA):** Aunque el ABA induce el cierre de estomas para evitar la pérdida de agua, su exceso puede detener el crecimiento; la bacteria ayuda a modular sus niveles para proteger a la planta sin detener su desarrollo.

- **Activación de genes de estrés:** Estimula la expresión de genes específicos de respuesta a la salinidad, como SOS1 (importante para la exclusión de sodio), BADH y NADP-Me2.

5. Mejora del Rendimiento Fotosintético

La salinidad suele degradar los pigmentos fotosintéticos, pero la inoculación con *B. subtilis* ayuda a restaurar y aumentar los contenidos de clorofila a, b y carotenoides, lo que permite mantener la actividad fotosintética y la acumulación de biomasa (fresca y seca) incluso bajo condiciones de 150 mM de NaCl.

Aprende a aislar, masificar, formular y aplicar microorganismos para la agricultura con nuestro entrenamiento.



Recomendaciones para aplicar *Bacillus subtilis* en campo

Para tener aplicaciones efectivas en campo es crucial priorizar la prevención. La bacteria es significativamente más efectiva cuando se aplica antes de la aparición del patógeno, ya que esto le permite colonizar preventivamente la superficie de la planta y sensibilizar sus mecanismos de defensa.

• Métodos de Entrega:

◦ **Tratamiento de semillas:** Es una de las formas más eficaces para asegurar la protección desde la germinación; se recomienda sumergir las semillas en una suspensión bacteriana durante 30 minutos antes de la siembra.

◦ **Riego al suelo (Drench):** Para controlar patógenos del suelo y promover el crecimiento radicular, la aplicación directa a la rizosfera mediante riego permite una colonización profunda.

◦ **Aspersión foliar:** Útil para patógenos aéreos, aunque en campo la abundancia de la bacteria

en las hojas puede disminuir un 50% en solo 8 días, por lo que pueden requerirse aplicaciones repetidas.

• **Concentración y dosificación:** Se sugiere un inóculo con una densidad poblacional de 1×10^8 UFC/mL, para asegurar una carga bacteriana suficiente.

• **Fomentar la formación de biofilm:** La aplicación en estado de biofilm (comunidad organizada) es superior a la forma planctónica (células sueltas), logrando incrementos de biomasa radicular de hasta un 37% superior debido a su mejor anclaje y resistencia.

• **Condiciones ambientales óptimas:** La bacteria requiere humedad para pasar del estado de espora a la forma activa y funciona mejor en un rango de pH entre 6.5 y 8.5.

• **Sinergia y compatibilidad:** *B. subtilis* es compatible con muchos pesticidas químicos, lo que permite su integración en [programas de manejo integrado](#), y muestra efectos potenciados cuando se combina con hongos micorrízicos arbusculares.

Como hemos visto en este artículo, *Bacillus subtilis* se posiciona como una herramienta indispensable y versátil para la agricultura sostenible, ofreciendo una solución biológica robusta tanto para la bioestimulación como para la protección avanzada de los cultivos. Es el momento de integrar el poder de esta bacteria en el campo para asegurar una productividad consciente que proteja tanto nuestras plantas como el futuro de nuestro agroecosistema.