

Bacterias que promueven el crecimiento de las plantas

Papá: ¿Por qué las raíces de las plantas están cubiertas de bacterias?



Bernard R. Glick

Departamento de Biología, Universidad de Waterloo, Waterloo, Ontario, Canadá N2L 3G1

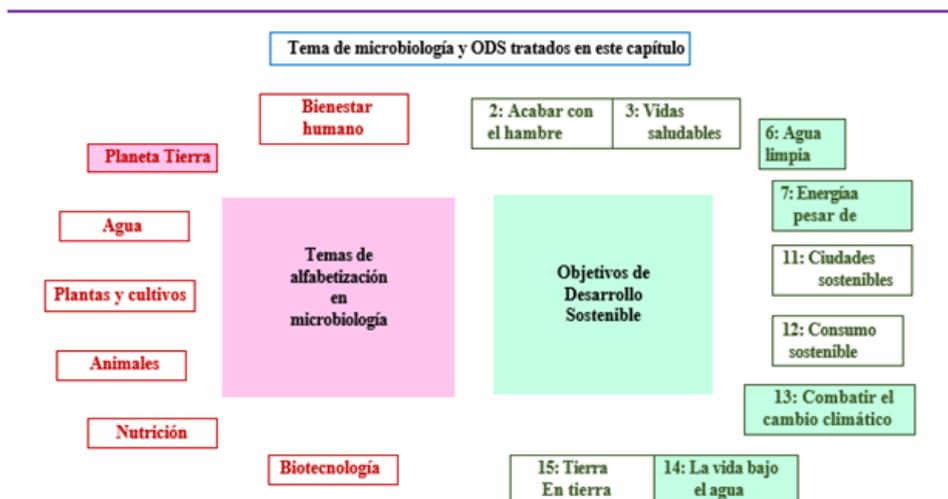
Bacterias que promueven el crecimiento de las plantas

Sinopsis

La población mundial se acerca actualmente a los 8.000 millones de personas y sigue creciendo, lo que supone una enorme presión para el suministro mundial de alimentos. Además, se ha estimado que, como consecuencia de una alimentación insuficiente o inadecuada, en la actualidad casi 1.000 millones de personas en el mundo están desnutridas, lo que a su vez contribuye a la muerte de unos 3 millones de niños al año. Por tanto, es necesario encontrar formas de alimentar a esta población mundial tan grande y en aumento, tanto ahora como en el futuro. Al mismo tiempo que necesitamos cada vez más alimentos para alimentar a toda la gente del mundo, seguimos contaminando el aire, el agua y el suelo, todo lo cual dificulta aún más la producción de cultivos.

Probablemente no exista una única solución sencilla para el problema de alimentar adecuadamente a toda la gente del mundo, tanto ahora como en el futuro. Sin embargo, hay una serie de cosas que podemos hacer para aumentar el suministro mundial de alimentos. Para empezar, tenemos que dejar de contaminar el medio ambiente para que las tierras agrícolas disponibles permanezcan intactas y no empeore la situación. En segundo lugar, tenemos que ser capaces de entregar los alimentos de manera más eficiente desde el lugar donde se producen hasta el lugar donde se consumen, reduciendo así una gran cantidad de desperdicios y deterioro de los alimentos. En tercer lugar, en los países más ricos del mundo, tenemos que reducir el tamaño de las porciones en los restaurantes y el consumo excesivo de carne (que utiliza muchos más recursos en su producción que las proteínas vegetales). En cuarto lugar, tenemos que aumentar la productividad agrícola de las tierras marginales. En quinto lugar, tenemos que adoptar un uso más generalizado de la carne transgénica. En sexto lugar, debemos reducir el uso generalizado de productos químicos agrícolas (incluidos fertilizantes químicos, pesticidas y herbicidas) y, en su lugar, adoptar un uso mucho más generalizado de bacterias naturales que promueven el crecimiento de las plantas.

La microbiología y el contexto social



La microbiología: Bacterias que promueven el crecimiento de las plantas en la agricultura y la limpieza ambiental, contaminación, eutrofización y floraciones de algas tóxicas, producción microbiana de gases de efecto invernadero, y, de manera periférica para completar la historia: alimentar al mundo, agricultura orgánica. *Cuestiones de sostenibilidad:* salud, alimentos y

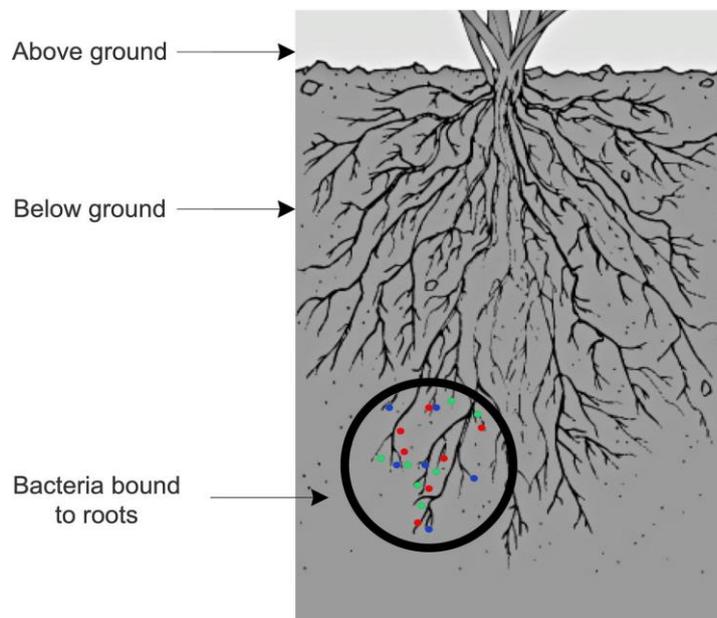
Un marco de educación en microbiología centrado

energía, economía y empleo, contaminación ambiental, calentamiento global.

Bacterias promotoras del crecimiento de las plantas: la microbiología

1. **Bacterias promotoras del crecimiento de las plantas.** Los suelos de todo el mundo contienen una enorme cantidad de microorganismos y algunos científicos estiman que puede haber hasta 100 millones de organismos en tan solo un gramo de algunos suelos, y que aproximadamente el 90-95% de esos organismos son bacterias. Por supuesto, en realidad no hay nada que pueda describirse como un suelo típico, especialmente si se tiene en cuenta que los suelos varían enormemente de un lugar a otro (los diferentes suelos varían en su contenido mineral, su composición química, su cantidad de agua y su pH, y estas diferentes condiciones favorecen el crecimiento de diferentes bacterias del suelo). Por lo general, la concentración de bacterias del suelo es mucho mayor (alrededor de 10 a 1000 veces) alrededor de las raíces de las plantas que en el resto del suelo (en masa). Esto se debe a que las raíces de las plantas filtran (o exudan) muchas moléculas pequeñas en el suelo. Estas pequeñas moléculas, que incluyen una variedad de azúcares y ácidos orgánicos, actúan como fuente de alimento para las bacterias del suelo.

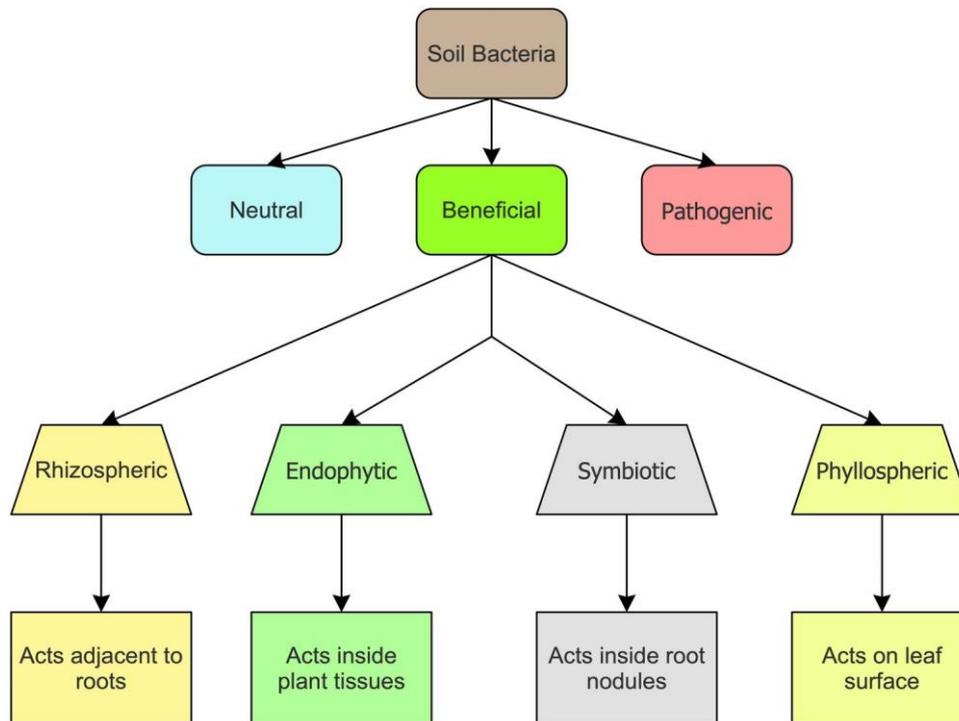
La interacción entre bacterias y plantas puede ser beneficiosa, perjudicial o neutra para el crecimiento y desarrollo de la planta. Las bacterias beneficiosas se denominan comúnmente bacterias promotoras del crecimiento de las plantas. Las bacterias que son dañinas para las plantas se consideran fitopatógenas (y son las causantes de varias enfermedades de las plantas). La siguiente figura muestra una representación esquemática de una porción de las raíces de una planta con una serie de bacterias que se encuentran muy cerca de las raíces o están unidas a las raíces (los fitopatógenos se muestran en rojo, las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas se muestran en verde y las bacterias neutrales se muestran en azul).



Las bacterias que promueven el crecimiento de las plantas y que se encuentran principalmente alrededor de las raíces de las plantas se denominan rizosféricas (rizo significa raíz). Las bacterias que promueven el crecimiento de las plantas que pueden existir dentro de los tejidos de las plantas (generalmente incluidas las raíces, pero a menudo también los brotes y las hojas) y que también benefician el crecimiento de las plantas, se denominan endofíticas. Las bacterias que se encuentran en la superficie de los tejidos de las plantas verdes, como las

Un marco de educación en microbiología centrado

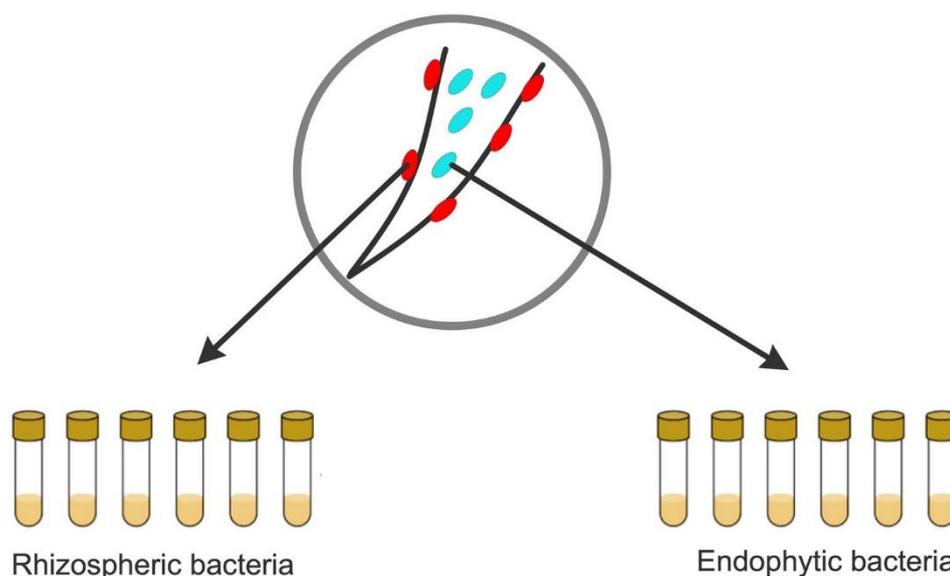
hojas, se denominan filosféricas. Además, algunas bacterias endofíticas que se unen y entran en los tejidos de la raíz de solo un número muy limitado de plantas a veces se denominan bacterias simbióticas. Las bacterias simbióticas generalmente ingresan a las raíces de las plantas y, en cooperación con la planta, forman nódulos donde luego residen estas bacterias. La siguiente figura muestra esquemáticamente los diferentes tipos de bacterias del suelo con énfasis en las bacterias beneficiosas o promotoras del crecimiento de las plantas y el funcionamiento de estas bacterias beneficiosas.



Los científicos han descubierto el cómo aislar muchas (pero no todas) las bacterias que promueven el crecimiento de las plantas en el laboratorio y luego cultivar estas bacterias beneficiosas en cantidades relativamente grandes (de manera relativamente económica). Una vez que las bacterias beneficiosas aisladas se han caracterizado bioquímica y fisiológicamente en un entorno de laboratorio controlado, se pueden probar en el laboratorio para garantizar que pueden promover eficazmente varios aspectos del crecimiento de las plantas (como la tasa de germinación de las semillas, el tamaño de las plantas, tanto la raíz como los brotes y el contenido nutricional de las plantas). Después de las pruebas exitosas de cepas recién aisladas y caracterizadas, las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas cultivadas en laboratorio se pueden agregar a las plántulas o semillas de las plantas en el campo para que las plantas puedan beneficiarse de algunos de los rasgos que poseen las bacterias beneficiosas. En la figura a continuación podemos ver la localización de las bacterias rizosféricas (en rojo) y las bacterias endofíticas (en azul) que se encuentran sobre o dentro de la raíz de una planta, seguida de su posterior aislamiento. Curiosamente, independientemente de si las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas se encuentran en el exterior o en el interior de la raíz de una planta, en su mayor parte estas bacterias generalmente tienen efectos muy similares en el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Lo más probable es que esto se deba al hecho de que, independientemente de su ubicación en la planta, las diferentes bacterias promotoras del

Un marco de educación en microbiología centrado

crecimiento emplean mecanismos muy similares para facilitar el crecimiento de las plantas.



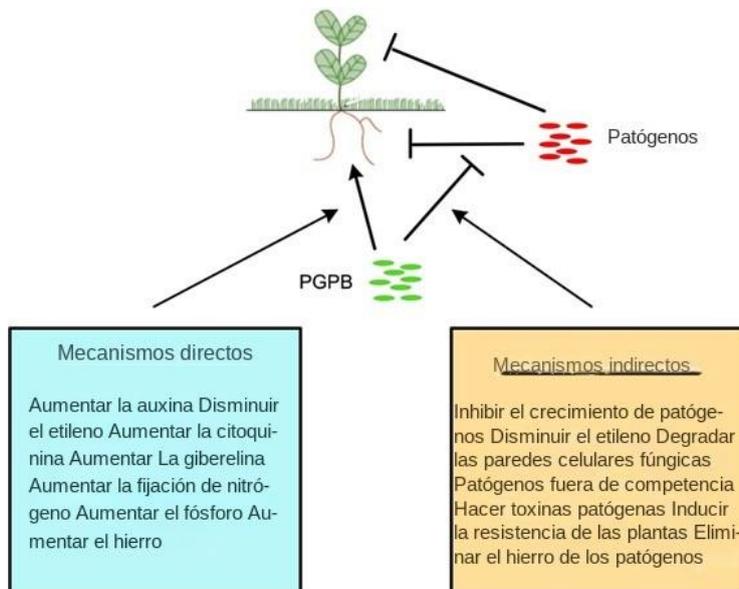
2. **Efectos de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal en las plantas.** El tratamiento de plantas en crecimiento con bacterias promotoras del crecimiento vegetal puede tener varios efectos diferentes. Algunos de estos efectos positivos incluyen: (1) las bacterias añadidas pueden aumentar el rendimiento de una planta, (2) las bacterias pueden ayudar a una planta a aumentar sus niveles de uno o más nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo o hierro, (3) las bacterias pueden ayudar a aumentar la longitud de las raíces o brotes de la planta, aumentando así la cantidad de agua y nutrientes que las plantas pueden extraer del suelo (raíces) y la capacidad de la planta para capturar energía del sol (brotes) y, por lo tanto, aumentar el rendimiento de la planta, (4) las bacterias pueden aumentar la cantidad de semillas de plantas que se forman y el porcentaje de semillas que germinan, (5) diferentes bacterias pueden proteger a las plantas contra una amplia gama de patógenos y plagas, incluidos insectos, hongos, nematodos y bacterias patógenas, (6) algunas bacterias son capaces de proteger a las plantas contra una serie de diferentes factores de estrés abióticos (no biológicos), como las temperaturas altas y bajas, la sequía, las inundaciones, la presencia de altos niveles de sal, los extremos de pH (acidez y alcalinidad) y la presencia de sustancias químicas tóxicas en el suelo y (7) la presencia de bacterias promotoras del crecimiento de las plantas puede, en ocasiones, aumentar la cantidad de frutos que producen algunas plantas. Además, las distintas bacterias pueden afectar a distintas plantas de distintas maneras, y es más probable que determinadas cepas afecten positivamente el crecimiento de algunas plantas que el de otras. Además, las distintas bacterias promotoras del crecimiento de las plantas emplean distintos mecanismos de promoción del crecimiento y, además, utilizan estos mecanismos en distintos grados (véase la siguiente sección).

3. **Mecanismos empleados por las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas.** Los mecanismos que utilizan las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas pueden dividirse en dos categorías principales, es decir, la promoción directa e indirecta del crecimiento de las plantas (véase la siguiente figura). La promoción directa del crecimiento de las plantas se produce cuando las bacterias añadidas proporcionan algo directamente a la planta para facilitar su crecimiento. Normalmente, esto ocurre cuando las bacterias ayudan a una planta

Un marco de educación en microbiología centrado

a adquirir nutrientes esenciales. En particular, estos nutrientes incluyen nitrógeno, fósforo y hierro. El gas nitrógeno, que constituye aproximadamente el 20% de la atmósfera, es inerte y no se puede utilizar en esa forma. Sin embargo, algunas bacterias pueden convertir el gas nitrógeno en una forma utilizable que es esencial para muchas moléculas vegetales y bacterianas, incluidas las proteínas y los ácidos nucleicos (como el ADN y el ARN). De forma similar, las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas pueden ayudar a las plantas a absorber diversas formas de fósforo del suelo. Cuando las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas secretan ácidos orgánicos débiles (como el ácido acético) en el suelo, esto ayuda a liberar el fósforo de los complejos inorgánicos que puede haber formado con partículas del suelo y minerales. Además, algunas bacterias promotoras del crecimiento de las plantas producen y secretan ciertas enzimas que pueden descomponer las formas orgánicas del fósforo, que luego pueden ser absorbidas por la planta. Aquí también, el fósforo es un componente clave del metabolismo de una planta (y de una bacteria), ya que se utiliza para sintetizar muchas proteínas y todos los ácidos nucleicos. Aunque el hierro es abundante en la mayoría de los suelos, generalmente existe en una forma en la que las plantas y las bacterias no pueden utilizarlo en gran medida. Afortunadamente, muchas bacterias promotoras del crecimiento de las plantas sintetizan y secretan ciertas moléculas pequeñas que pueden unirse muy fuertemente a las moléculas de hierro antes de que la planta absorba este complejo y asimile el hierro.

La promoción directa del crecimiento de las plantas también puede ocurrir como consecuencia de las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas que regulan la cantidad de ciertas hormonas vegetales, moléculas que regulan varios aspectos del crecimiento y desarrollo de una planta. Así, las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas pueden sintetizar una o más de las siguientes hormonas vegetales: auxinas, citoquininas o giberelinas. En las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas que se han estudiado hasta ahora, la mayoría (65-90%) sintetiza auxinas, mientras que se ha demostrado que solo unas pocas (1-10%) de estas bacterias sintetizan citoquininas y/o giberelinas. Además, muchas bacterias promotoras del crecimiento de las plantas producen una enzima que puede reducir la cantidad de la hormona vegetal etileno que la planta produce. Esta enzima es especialmente útil para las plantas durante períodos de estrés ambiental (por ejemplo, inundaciones, sequías, altos niveles de sal, etc.) ya que las plantas a menudo responden al estrés ambiental sintetizando altos niveles de etileno que inhiben el crecimiento de las plantas.



Un marco de educación en microbiología centrado

Los patógenos se representan en rojo y se muestran como inhibidores del funcionamiento de las raíces o de los brotes de las plantas. Los mecanismos directos de promoción del crecimiento actúan principalmente interactuando con las raíces de las plantas. Los mecanismos indirectos funcionan interactuando con el patógeno.

La promoción indirecta del crecimiento de las plantas se produce cuando las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas disminuyen o previenen el daño que de otro modo podría producirse a las plantas por la acción de diversos agentes patógenos. Las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas que lo promueven indirectamente a veces se denominan bacterias de biocontrol o agentes de biocontrol. Uno de los principales mecanismos indirectos utilizados por las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas es la síntesis de antibióticos y otros compuestos inhibidores de patógenos. Limitar la concentración de etileno en una planta también puede reducir el daño causado por un patógeno. Y, secuestrar gran parte del hierro potencialmente disponible en las proximidades del patógeno ralentizará o impedirá el crecimiento del patógeno, porque también necesitan hierro para crecer. Las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas también pueden sintetizar a veces enzimas que degradan las paredes celulares de los patógenos, o pueden competir con los patógenos por los sitios de unión en partes de una planta. Finalmente, las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas a veces pueden inducir a la planta a activar sus propios genes que le proporcionan algunas defensas contra diversos patógenos (esto se llama resistencia sistémica inducida).

4. ***El futuro de las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas en la agricultura vegetal.*** En los últimos 20 años, los científicos han desarrollado una comprensión relativamente detallada de muchos de los mecanismos que utilizan las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas para facilitar su crecimiento. A pesar de que existen varias bacterias promotoras del crecimiento de las plantas que se están empleando actualmente en el mercado, el éxito en el laboratorio no siempre es fácil se traduce en éxito en el campo. Algunos de los factores que se deben tener en cuenta al comercializar una cepa bacteriana promotora del crecimiento de las plantas incluyen los siguientes:

- A. Es esencial que la cepa bacteriana esté completamente caracterizada en términos de comprender qué mecanismos de promoción del crecimiento de las plantas contiene, así como también qué mecanismos utiliza la cepa para sobrevivir en el ambiente del suelo/planta.
- B. La cepa debe ser fácil y relativamente económica de cultivar a gran escala.
- C. La cepa debe estar formulada de manera que pueda transportarse fácilmente a distancias relativamente largas y almacenarse durante varios meses sin perder nada de su eficacia.
- D. Si una empresa produce cepas bacterianas que promueven el crecimiento de plantas para su venta y uso en varios países diferentes, es esencial que las agencias reguladoras de esos países tengan reglas similares y consistentes para la liberación de esas cepas bacterianas en el medio ambiente.
- E. Es esencial que el público en general y los agricultores en particular desarrollen una comprensión relativamente avanzada de los numerosos beneficios potenciales de las bacterias que promueven el crecimiento de las plantas. Esto es importante porque en la actualidad muchas personas en la sociedad consideran ingenuamente que las bacterias son en gran medida fuentes de enfermedades.
- F. A largo plazo, será importante desarrollar métodos nuevos y eficientes para tratar las plantas con bacterias en lugar de productos químicos.

Un marco de educación en microbiología centrado

Inicialmente, las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas probablemente se aplicarán de a una cepa por vez. Sin embargo, dado que ninguna cepa bacteriana puede satisfacer todas las necesidades de una planta, es necesario establecer condiciones para agregar grupos de bacterias en una sola aplicación (es decir, un consorcio bacteriano) donde las diversas cepas brinden beneficios diferentes y complementarios a las plantas tratadas.

En el corto plazo (los próximos 5 a 10 años), prácticamente todas las bacterias comercializadas que promueven el crecimiento de las plantas serán cepas bacterianas naturales. Sin embargo, en el futuro será posible alterar genéticamente algunas de estas cepas para hacerlas más efectivas. Para lograrlo será necesario un cambio significativo de actitud y perspectiva tanto por parte del público en general como de los organismos reguladores gubernamentales, es decir, una nueva perspectiva que enfatice que la manipulación genética en sí no presenta ningún riesgo o peligro para el suministro de alimentos.

La mayoría de los suelos también contienen hongos beneficiosos que promueven el crecimiento de las plantas, llamados micorrizas. Estos hongos interactúan con las raíces de más del 90 % de las plantas y las ayudan a obtener agua y nutrientes del suelo. Es importante destacar que las bacterias que promueven el crecimiento de las plantas y las micorrizas utilizan mecanismos diferentes para promover el crecimiento de las plantas, pero pueden trabajar juntas para realizar esta tarea.

El aumento del uso de bacterias promotoras del crecimiento de las plantas en lugar de productos químicos agrícolas es un cambio que ya se está produciendo. Sin embargo, pasarán muchos años antes de que estas bacterias se conviertan en el pilar de la agricultura vegetal mundial. En este contexto, es útil tener en cuenta que la producción a gran escala de plantas transgénicas existe desde hace poco más de 25 años; su uso sigue aumentando a pesar de la oposición a esa tecnología en muchos países.

Relevancia para el desarrollo sostenible Metas y grandes desafíos.

La explotación de bacterias promotoras del crecimiento de las plantas se relaciona con varios ODS (aspectos microbianos en cursiva), incluidos:

- **Objetivo 2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible** (*acabar con el hambre y la malnutrición, aumentar la productividad agrícola*). Al utilizar bacterias que promueven el crecimiento de las plantas en lugar de productos químicos, es posible ayudar a que crezcan.

en diferentes entornos sin contaminarlos. En este caso, muchas menos personas estarán expuestas a los productos químicos potencialmente tóxicos que se utilizan en la agricultura y, en última instancia, se reducirá el costo de proporcionar alimentos a las personas, especialmente en los países más pobres.

- **Objetivo 12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles** (*lograr prácticas de producción y usos/consumos sostenibles, reducir la producción de residuos/emisión de contaminantes al medio ambiente*). Las bacterias que promueven el crecimiento de las plantas se encuentran de forma natural en todos los suelos del mundo, por lo que no alteran significativamente la composición de los suelos locales, no se acumulan en el medio ambiente ni producen compuestos tóxicos.

Posibles implicaciones para las decisiones.

Un marco de educación en microbiología centrado

1. *Individual.*

- a. Sopesar los distintos factores microbianos y no microbianos y alinearlos con las convicciones personales (¿de qué manera podemos seguir alimentando a todas las personas del mundo sin dañar el medio ambiente?).
- b. ¿Cómo me afectaría como individuo el uso de bacterias que promueven el crecimiento de las plantas en lugar de fertilizantes y pesticidas?
- c. ¿Cómo explico a otras personas que el uso de bacterias promotoras del crecimiento de las plantas es una buena solución a un problema que mucha gente aún no considera un problema?

2. *Políticas comunitarias.*

- a. Consecuencias ambientales locales (medio ambiente más limpio; solución a largo plazo a posibles problemas ambientales).
 - *Parámetros no microbianos: desarrollo de nuevas empresas agrícolas; capacidad de apoyar cultivos en el mundo en desarrollo.*

3. *Políticas nacionales relacionadas con el uso de bacterias promotoras del crecimiento de las plantas en lugar de productos químicos agrícolas.*

- a. Economía de la atención sanitaria de las alergias y enfermedades relacionadas, e influencia positiva en la salud mental.
- b. Contaminación Ambiental.
- c. Garantizar el suministro de agua potable.
- d. Eutrofización/floraciones de algas/floraciones de algas tóxicas que impiden el uso de masas de agua superficiales, la pesca, el turismo, etc.
- e. Producción de gases de efecto invernadero y calentamiento global.
- f. Secuestro de tierras agrícolas que de otro modo se utilizarían para la producción de alimentos y energías renovables.

Participación de los alumnos.

1. *Clase discusión de asuntos asociados con las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas.*

- a. ¿Por qué las bacterias se encuentran comúnmente en mayores cantidades alrededor de las raíces de las plantas en comparación con el suelo en general?
- b. ¿Cuáles son algunas de las formas en que las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas facilitan el crecimiento y el desarrollo de estas?
- c. ¿Cuáles son las diferencias entre los mecanismos directos e indirectos de promoción del crecimiento de las plantas?
- d. ¿Cuáles son algunos de los mecanismos que utilizan las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas para facilitar su crecimiento?

2. *Concienciación de los alumnos sobre las partes interesadas.*

- a. ¿Cuáles son algunas de las ventajas de utilizar bacterias que promueven el crecimiento de las plantas en lugar de productos químicos agrícolas?
- b. ¿Cuáles son algunos de los problemas en la comercialización del uso de bacterias promotoras del crecimiento de plantas a gran escala?
- c. ¿Por qué el público en general podría estar a favor (o en contra) del uso más generalizado de bacterias promotoras del crecimiento de las plantas?

Un marco de educación en microbiología centrado

3. Ejercicios (se pueden realizar en cualquier nivel, pero probablemente sean de educación secundaria nivel)

a. En la mayoría de los lugares, el uso de grandes cantidades de productos químicos agrícolas no se considera un problema. ¿Qué otras alternativas a los productos químicos agrícolas imagina?

b. Los productos químicos agrícolas se producen en grandes instalaciones comerciales, lo que suele exponer a los trabajadores y a las personas que viven cerca a altos niveles de estos productos químicos. ¿Existe algún riesgo asociado con el crecimiento a gran escala de bacterias que promueven el crecimiento de las plantas y que podrían utilizarse para reemplazar esos productos químicos?

c. ¿Cómo podemos cambiar la actitud de la sociedad con respecto a la liberación de grandes cantidades de bacterias en el medio ambiente? ¿Cómo podemos demostrar a la gente que las bacterias que estimulan el crecimiento de las plantas son seguras?

La base de evidencia, lecturas complementarias y materiales didácticos.

- Ali, S. y Glick, BR, 2019. Interacciones entre plantas y bacterias en el manejo del crecimiento de las plantas bajo estrés abiótico. En: Nuevos y futuros desarrollos en biotecnología y bioingeniería microbiana. (Ed.) JS Singh, Elsevier. págs. 21-45.
- Backer, R., Rokem, JS, Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S. y Smith, D. 2018. Rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas: contexto, mecanismos de acción y hoja de ruta para la comercialización de bioestimulantes para la agricultura sostenible. *Front Plant Sci* 9:1473.
- Duca, D., Lorv, J., Patten, CL, Rose, D. y Glick, BR 2014. Ácido indol-3-acético en interacciones planta-microbio. *Anton. Van Leeuwenhoek* 106:85-125.
- Forni, C., Duca, D. y Glick, BR 2017. Mecanismos de respuesta de las plantas al estrés por sal y sequía y su alteración por rizobacterias. *Plant Soil* 410:335-356
- Gamalero, E. y Glick, BR 2019. Bacterias promotoras del crecimiento de plantas en la agricultura y en ambientes estresados. En: *Modern Soil Microbiology*, 3.^a edición, Kluwer, (eds.) D. VanElsas y JT Trevors, pp. 361-380.
- Gerland, P., Rafferty, AE, Sevcikova, H., Li, N., Gu, D., Spoorenberg, T., Alkema, L., Fosdick, BK, Chunn, J., Lalic, N., Bay, G., Buettner, T., Hweilig, GK y Wilmoth, J. 2014. Población mundial y estabilización poco probables en este siglo. *Science* 346:234-237.
- Glick, BR 2012. Bacterias promotoras del crecimiento de plantas: mecanismos y aplicaciones, *Scientifica* vol. 2012, ID del artículo 963401. doi:10.6064/2012/963401.
- Glick, BR 2020. Interacciones beneficiosas entre plantas y bacterias, 2.a edición, Springer, Heidelberg, en prensa.
- Kong, Z. y Glick, BR 2017. El papel de las bacterias en la fitorremediación. En: “Bioingeniería aplicada: innovaciones y direcciones futuras”, Yoshida, T. (Ed.), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., págs. 315-341.
- Lugtenberg, B. (ed.) (2015) Principios de las interacciones entre plantas y microbios. Springer, Heidelberg. Reed, MLE y Glick, BR 2013. Aplicaciones de bacterias promotoras del crecimiento de plantas para sistemas de plantas y suelos. En: “Aplicaciones de la ingeniería microbiana”.
- Gupta, VK, Schmoll, M., Maki, M., Tuohy, M. y Mazutti, MA (eds.). pp. 181-229, Taylor y Francis, Enfield, Connecticut.
- Rosier, A., Medeiros, FHV y Bais, HP 2018. Definición de redes moleculares y bioquímicas de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en interacciones beneficiosas entre

Un marco de educación en microbiología centrado

plantas y microbios. *Plant Soil* 428:35-55.

Sprent, JI 1986. Beneficios de Rhizobium para la agricultura. *Trends Biotechnol* 4:124-129.

Glosario

Plantas transgénicas: plantas que llevan genes que fueron introducidos por científicos.