

Contribuciones microbianas a la tolerancia al estrés de las plantas y al uso de suelos marginales

¿Cómo pueden crecer las plantas bajo estrés sin moverse?
¿Quién las ayuda?



Crédito de la foto: Ramona Marasco

Ramona Marasco¹, Jean-Baptiste Ramond², Cristina Bez³

¹ División de Ciencias Biológicas y Ambientales e Ingeniería (BESE), Universidad Rey Abdullah de Ciencia y Tecnología (KAUST), Thuwal, Arabia Saudita.

² Laboratorio de Microbiómica y Ecogenómica de Ecosistemas Extremos, Facultad de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

³ Centro Internacional de Ingeniería Genética y Biotecnología, Trieste, Italia.

Contribuciones microbianas a la tolerancia al estrés de las plantas y al uso de suelos
marginales

Un marco de educación en microbiología centrado en el alumno

Historia

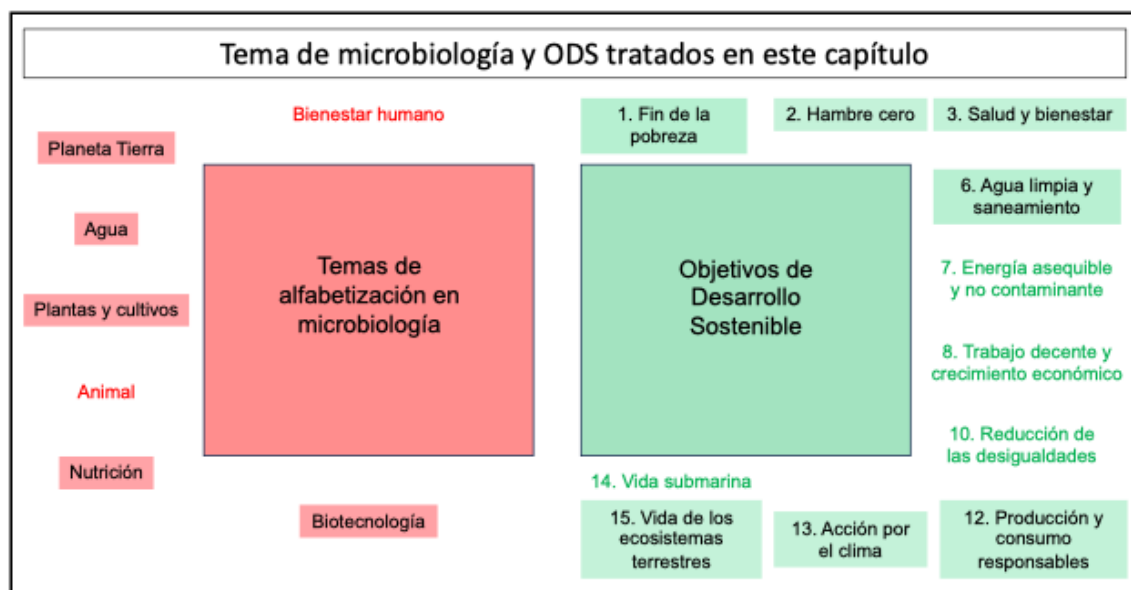
¿Alguna vez te has preguntado cómo sobreviven las plantas cuando el clima se pone difícil, cuando se enferman, cuando tienen hambre o cuando el suelo no es muy bueno? ¡Las respuestas están en un mundo oculto justo debajo de nuestros pies! El suelo está lleno de diminutos superhéroes llamados **microbios** o **microorganismos** —bacterias, hongos y otras criaturas microscópicas— que trabajan arduamente para ayudar a las plantas a crecer fuertes, incluso en las condiciones más desafiantes, tal como los amigos se ayudan entre sí. Estos microbios son como ayudantes invisibles: que les proporcionan nutrientes a las plantas, las protegen de “villanos” como bacterias dañinas y les ayudan a retener agua en épocas de sequía. Incluso permiten que las plantas crezcan en lugares difíciles como suelos salinos o pobres, haciéndolas más **resilientes** frente a varios tipos de estrés provocados por el ambiente (**estrés abiótico**) y por otros seres vivos (**estrés biótico**). De esta manera, los microbios apoyan el crecimiento y la salud de las plantas, y hacen posible la agricultura en zonas que antes se consideraban inutilizables, como las tierras áridas o las costas salinas.

Este capítulo explorará cómo estos microbios, pequeños pero poderosos, prosperan en el suelo formando comunidades enormes y diversas, y cómo colaboran con las plantas. ¡Prepárate para sumergirte en el fascinante mundo subterráneo de los superhéroes microbianos!

La microbiología y el contexto social

Microbiología: comunidades microbianas del suelo (microbioma/microbiota) Meta-organismo vegetal (u holobionte), microorganismos promotores del crecimiento vegetal, Adaptación mediada por microbios.

Sostenibilidad: ambiental: agricultura sostenible, cambio climático, economía y empleo. seguridad alimentaria, biodiversidad del suelo. fertilidad del suelo.



Un marco de educación en microbiología centrado en el alumno

Las plantas son esenciales para la vida, pues desempeñan un papel esencial en los ecosistemas terrestres y son componentes claves de nuestra agricultura y dieta diaria. Nos proporcionan alimentos, oxígeno y numerosos recursos de los que dependemos constantemente. Sin embargo, a diferencia de los animales, las plantas no pueden desplazarse, por ello, dependen por completo del suelo para crecer. Le provee los nutrientes, minerales y agua que absorben a través de sus raíces y distribuyen por todos sus tejidos. Sin suelos saludables, el crecimiento de las plantas sería extremadamente difícil, si no imposible.

Lamentablemente, los suelos de todo el mundo están perdiendo su fertilidad, estructura y capacidad para sostener el crecimiento de las plantas debido al uso excesivo, la contaminación, el cambio climático y la mala gestión. Esta degradación de la salud del suelo dificulta cada vez más la agricultura, amenazando la seguridad alimentaria y los medios de vida en muchos países. La pérdida de suelos fértiles tiene impactos de gran alcance y afecta - directa e indirectamente - a múltiples Objetivos del Desarrollo Sostenible establecidos por Naciones Unidas, incluidos: **Fin de la pobreza** (Objetivo 1), **Hambre cero** (Objetivo 2), **Vida de los ecosistemas terrestres** (Objetivo 15) y **Producción y consumo responsables** (Objetivo 12). También incide de forma indirecta en **Salud y bienestar** (Objetivo 3), **Agua limpia y saneamiento** (Objetivo 6) y **Acción por el clima** (Objetivo 13).

Para enfrentar el desafío crítico de la fertilidad del suelo y garantizar el crecimiento y la producción de plantas, debemos recurrir a unos aliados esenciales de la naturaleza: **los microorganismos**. Estos diminutos pero insustituibles colaboradores pueden mejorar la fertilidad del suelo, aumentar la tolerancia de las plantas al estrés y permitir el cultivo incluso en suelos pobres o marginales. Al aprovechar el potencial de los microbios beneficiosos, es posible promover una agricultura sostenible, restaurar suelos degradados y gestionar de manera responsable los recursos naturales. De este modo aseguramos que las plantas continúen prosperando incluso en condiciones adversas, asegurando en última instancia el suministro de alimentos para las generaciones futuras.

Interacción planta-microorganismos: la microbiología

1. El suelo y sus habitantes: un mundo oculto de aliados microscópicos. El suelo es como una bulliciosa ciudad subterránea, repleta de millones de habitantes invisibles a simple vista, cada uno con su propio trabajo, capacidades y propósito. La diversidad de microbios que viven en el suelo es asombrosa: bacterias, hongos, virus, algas, nematodos y protozoos conviven, a veces colaborando, y otras compitiendo para mantener los suelos vivos y saludables.

En solo un gramo de suelo, lo equivalente a una cucharadita de azúcar, pueden encontrarse **miles de millones de bacterias, miles de especies diferentes de hongos y cientos de miles de otros microorganismos**. Si consideramos todos los suelos de la Tierra, el número total de microorganismos vivos asciende a **miles de millones o incluso billones**. ¡Es increíble pensar que un pequeño pellizco de tierra puede albergar más microorganismos vivos que personas hay la Tierra!

Un marco de educación en microbiología centrado en el alumno

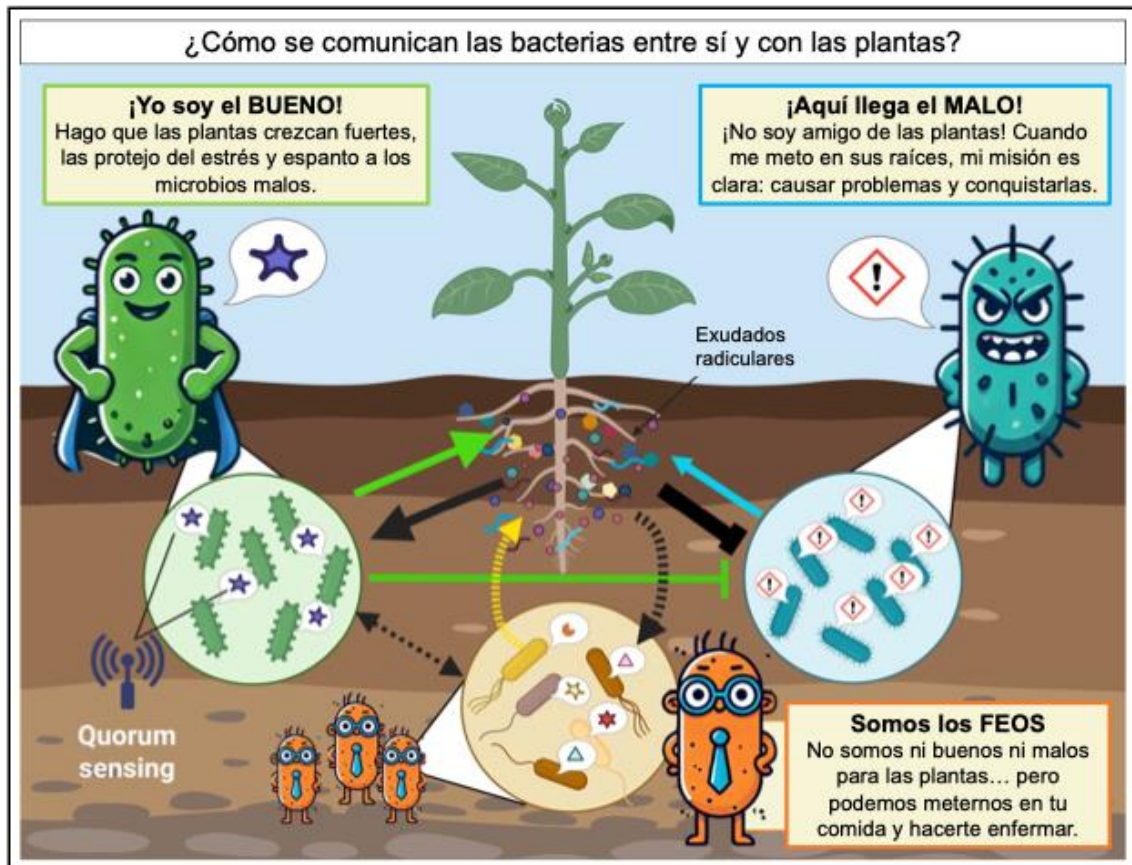


Esta extraordinaria diversidad microbiana es lo que hace del suelo un recurso tan especial. Distintos tipos de microbios del suelo interactúan entre sí —como una multitud variada de personas en una fiesta— y establecen asociaciones claves con las plantas. Entre las “microestrellas” más reconocidas del mundo del suelo encontramos géneros como *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Streptomyces* y *Azotobacter*., cada uno con su propio “súperpoder” para mantener los suelos saludables y a las plantas vigorosas.

Así como una comunidad diversa de personas aporta distintas habilidades y perspectivas, una comunidad microbiana diversa garantiza que el suelo pueda enfrentar una amplia gama de desafíos, como sequías, contaminación o plagas. Sin esta rica vida microscópica, el suelo perdería gran parte de su capacidad para sostener la vida vegetal y la agricultura, tal como la conocemos, se vería seriamente comprometida.

En ecología microbiana, la **diversidad composicional** nos indica **quiénes están presentes**, mientras que la **diversidad funcional** revela **qué papel cumple cada participante** y cómo contribuye. No todos los microbios son aliados de las plantas, en el suelo encontramos “los buenos”, “los malos” y “los feos”. **Los buenos:** son los héroes útiles, conocidos como PGP, (promotores del crecimiento vegetal), que aportan nutrientes, protegen frente a enfermedades y mejoran la salud del suelo. **Los malos:** son los fitopatógenos que atacan raíces, hojas o tallos causando enfermedades. **Los feos:** no dañan directamente a las plantas, pero pueden ser tóxicos para humanos o animales que los consuman.

En definitiva, las bacterias del suelo pueden ser **héroes**, **villanos** o simples **espectadores**, pero todas cumplen un papel en la compleja historia de la vida vegetal. .



2. Cómo se comunican los microbios entre sí y con las plantas para iniciar su relación

Cuando los microbios perciben la señal de ayuda o “SOS “ emitida por la planta, se congregan formando una gran comunidad en la **rizosfera** y alrededor de las raíces (**rizoplaneo**). En ocasiones, incluso construyen su propio “vecindario”: el **biofilm**.

Dentro de este biofilm – similar a una fortaleza medieval - los microorganismos pueden compartir recursos y protegerse mutuamente frente a enemigos externos y sus “armas” (toxinas, antibióticos, etc.).

Algunas bacterias no se limitan a permanecer en la rizosfera o el rizoplaneo, sino que aprovechan pequeñas aberturas o grietas en las raíces para entrar en la planta. Una vez dentro, colonizan la raíz como **endófitos**, alojándose en el apoplasto (espacio entre la pared y la membrana celular) o en los espacios intercelulares, donde pueden acceder fácilmente a nutrientes y están protegidos frente a amenazas externas.

Un pequeño grupo de estos endófitos incluso viaja por los “vasos conductores” de la planta (el **xilema**), colonizando tallos, hojas y flores.

Cabe destacar que el microbioma vegetal no proviene únicamente del suelo, también puede llegar por el polvo, el aire, la lluvia o los insectos. Los microorganismos asociados a insectos polinizadores (como abejas)



o herbívoros (coleópteros, lepidópteros, ortópteros) pueden dispersarse sobre la superficie o el interior de los tejidos vegetales mientras succionan o mastican.

Uno de los aspectos más increíbles del microbioma vegetal es su capacidad de **llegar hasta las semillas**, asegurando que la siguiente generación comience con su propia “microcomunidad”. Así, la relación planta-microbio **se transmite generación tras generación**.

3. El papel de “los buenos” microbios en el apoyo a las plantas

La **diversidad** —tanto en especies microbianas (quiénes están) como en funciones (qué hacen)— es esencial para lograr interacciones exitosas.

La **redundancia funcional** permite que varias especies realicen la misma función, manteniendo la **estabilidad** y **resiliencia** de la comunidad, incluso si alguna desaparece por cambios en el ambiente.

Entre las funciones más importantes de los microbios beneficiosos están:

(i) **Crear un suelo saludable.** Los microorganismos mejoran la estructura del suelo, aumentando la aireación y la retención de agua. Los hongos micorrícicos unen partículas del suelo con sus hifas, previniendo la erosión.

(ii) **Descomponer materia orgánica y reciclar nutrientes.** Los microorganismos transforman restos vegetales y animales en moléculas simples que las plantas pueden absorber.

(iii) **Facilitar la obtención de nutrientes a las plantas.** Por ejemplo, los microorganismos **fijadores de nitrógeno** convierten el nitrógeno atmosférico en formas utilizables por la planta. Las micorrizas actúan como extensiones de las raíces, captando agua y minerales como fósforo.

Un marco de educación en microbiología centrado en el alumno

(iv) **Estimular el crecimiento.** Los microorganismos producen hormonas vegetales (auxinas, giberelinas, citoquininas) que favorecen el desarrollo radicular y foliar e incrementan la resistencia al estrés.

(v) **Ayudar en periodos de sequías.** Los microorganismos establecen capas protectoras ricas en polisacáridos que retienen humedad, y favorecen el desarrollo de raíces más profundas y ramificadas.

(vi) **Enfrentar condiciones salinas.** Los microbios tolerantes a la sal ayudan a cultivos como tomate, cebada o arroz a prosperar en suelos salinos.

(vii) **Actuar como guardaespaldas microbianos.** Un buen número de microorganismos de la rizosfera producen antibióticos y toxinas que eliminan patógenos. También producen moléculas que activan las defensas de las plantas. Ayudan a reducir el uso de pesticidas, contribuyendo a la protección del medio ambiente.

En cada etapa de la vida de la planta —desde la raíz hasta las semillas—, los microbios están presentes y colaboran, al igual que el microbioma humano lo hace con nosotros.

4. Aprovechar el potencial microbiano para impulsar la agricultura en suelos marginales

Todas las funciones anteriores contribuyen a fortalecer la **salud de las plantas** y mejoran su **capacidad para enfrentar desafíos**.

En un planeta cada vez más cálido, con procesos de desertificación, sequías extremas e inundaciones, las plantas no pueden “migrar” a entornos más favorables, pero los microorganismos pueden ayudarlas a adaptarse.

Los **suelos marginales** —demasiado salinos, secos, arenosos o pobres en nutrientes—son comunes en ambientes extremos como tierras áridas, altas montañas, o zonas costeras.

En las últimas décadas, la ciencia ha demostrado que **seleccionar y aplicar los microorganismos adecuados**, en el suelo, sobre las semillas o directamente en los tejidos vegetales, permite cultivar alimentos incluso en estas condiciones difíciles y con escasa disponibilidad de agua.

Las plantas que prosperan en suelos áridos, salinos o pobres transmiten a sus semillas **los microbios mejor adaptados, que** ayudan a la siguiente generación a enfrentar los mismos retos. Estos descubrimientos han impulsado el desarrollo de **probióticos microbianos** para promover una agricultura sostenible en suelos marginales.

El uso de microorganismos en agricultura e incluso en la restauración de ecosistemas forma parte de las llamadas **soluciones basadas en la naturaleza**, que permiten reducir el uso de productos químicos y mejorar el medio ambiente.

Un marco de educación en microbiología centrado en el alumno



Por ejemplo, en algunas regiones de África y Asia, los agricultores usan microorganismos para cultivar arroz y otros alimentos en suelos salinos o secos, abasteciendo a millones de personas donde antes era casi imposible producir alimentos. Entre ellos destacan las denominadas bacterias llamadas **rizobios**, que ayudan a las leguminosas a fijar nitrógeno del aire, permitiendo así su crecimiento saludable sin necesidad de fertilizantes químicos adicionales, lo cual evita dañar el medioambiente.

En China, los científicos han empezado a utilizar microorganismos para cultivar en tierras áridas, transformando áreas desérticas en zonas productivas. Esta agricultura sostenible no solo incrementa la producción de alimentos, sino que también fortalece la seguridad alimentaria de las comunidades que viven en entornos áridos, reduciendo su dependencia de las importaciones.

La gran ventaja de estas soluciones es que benefician tanto a las personas como al planeta: reducen el uso de fertilizantes químicos y el uso excesivo de agua y ayudan a mitigar los efectos del cambio climático, la contaminación del agua y la escasez de alimentos. Trabajando junto a la naturaleza, podemos mantener un planeta sano, fértil y habitable.

Un marco de educación en microbiología centrado en el alumno



¿Por qué es importante para ti?

Quizá te preguntes por qué todo este tema de los microbios y las plantas debería interesarte. La verdad es que estos diminutos organismos tienen un impacto enorme en nuestra vida diaria: nos ayudan a garantizar que tengamos suficiente comida, aire limpio y ecosistemas saludables.

Comprender cómo funcionan los microorganismos del suelo y cómo interactúan con las plantas, nos permite tomar decisiones sobre cómo y dónde cultivar nuestros alimentos, proteger el medioambiente y responder al cambio climático de manera más responsable y sostenible.

¿Puedes marcar la diferencia? ¿Y cómo?

¡Por supuesto que sí! Incluso los niños pueden ayudar a estos superhéroes microbianos y a las plantas que protegen. Aquí tienes algunas ideas simples y divertidas:

1. **Inicia un huerto:** ya sea en tu patio, en macetas o como proyecto escolar, cultivar plantas ayuda a mantener y aumentar los microbios beneficiosos en el suelo.
2. **Haz compost:** aprovecha restos de comida y desechos del jardín para crear un suelo rico y fértil que los microorganismos y las plantas adoran.
3. **Aprende y comparte:** habla con tus amigos y familiares sobre el fascinante mundo de los microbios y cómo ayudan a las plantas a crecer sanas.

Un marco de educación en microbiología centrado en el alumno

Relevancia para los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y grandes desafíos

- **ODS 2 – Hambre cero:** microbios que aumentan la tolerancia de las plantas al estrés (sequía, salinidad) y permiten cultivar en suelos marginales y degradados.
- **ODS 6 – Agua limpia y saneamiento:** los inoculantes microbianos reducen la necesidad de riego y el uso de fertilizantes químicos, preservando las reservas de agua.
- **ODS 12 – Producción y consumo responsables:** las soluciones basadas en la naturaleza disminuyen el uso de productos químicos y conservan la salud del suelo.
- **ODS 13 – Acción por el clima:** los microbios ayudan a que la agricultura sea más resiliente y contribuyen al secuestro de carbono en el suelo.
- **ODS 15 – Vida de ecosistemas terrestres:** restauran suelos degradados, mejoran la fertilidad y aumentan la biodiversidad.
- **ODS 1 – Fin de la pobreza (indirecto):** aumentan la productividad agrícola y reducen costes para pequeños agricultores.
- **ODS 3 – Salud y bienestar (indirecto):** una oferta estable y diversa de alimentos mejora la nutrición y reduce problemas de salud.

Implicaciones para la toma de decisiones

1. **Acciones individuales:** agricultores, jardineros y consumidores pueden favorecer la diversidad microbiana mediante compostaje, reducción en el uso de productos químicos y utilización de productos orgánicos.
2. **Políticas comunitarias:** promover el uso de inoculantes microbianos mediante talleres, programas cooperativos y proyectos agrícolas apoyados por la comunidad.
3. **Políticas nacionales:** invertir en investigación, dar incentivos financieros a prácticas sostenibles y lanzar campañas educativas para restaurar suelos y aumentar la productividad en tierras marginales.

Participación estudiantil

- **Debates y discusiones:** sobre cómo los microbios pueden ayudar a la seguridad alimentaria y la agricultura sostenible.
- **Campañas escolares:** crear carteles y presentaciones para difundir la importancia de los microorganismos.
- **Experimentos:** comparar el crecimiento de plantas en suelos con y sin microorganismos beneficiosos.

Discusión en clase sobre la importancia de las interacciones planta-microbio
Microbios y desafíos globales: Pida al alumnado que piense en un país que se enfrenta a la escasez de alimentos debido al cambio climático y a suelos degradados. Luego, discuta cómo los microorganismos podrían ser parte de la solución.
Pregunta para la discusión: ¿Cómo podrían los microbios ayudar a mejorar la seguridad alimentaria en un país donde el suelo está degradado y casi nunca llueve? ¿Qué pasaría si no tuviéramos soluciones microbianas?

Un marco de educación en microbiología centrado en el alumno

Debate sobre agricultura orgánica frente a la química: Organice un debate donde un grupo defienda el uso de fertilizantes químicos para producir más alimentos, mientras que el otro grupo argumente a favor del uso de microbios y métodos naturales. Esto hará que el alumnado reflexione sobre prácticas agrícolas sostenibles.

Pregunta para la discusión: ¿Cuáles son los beneficios de usar microorganismos en lugar de químicos para cultivar plantas? ¿Cómo ayuda esto al medioambiente y garantiza la producción de alimentos a largo

Campaña de concienciación del alumnado sobre microbios: Pida a los estudiantes que creen carteles, presentaciones o infografías describiendo cómo los microbios ayudan a las plantas a crecer y resistir condiciones ambientales extremas y patógenos, y por qué esto es crucial para la seguridad alimentaria. Exhiba estos trabajos en la escuela para educar a otras clases y familias.

Experimento de suelo microbiano: Haga que los alumnos preparen un experimento sencillo donde siembren semillas en dos macetas: una con suelo tratado con microbios beneficiosos (por ejemplo, compost) y otra sin ellos. Durante el proceso de crecimiento, podrán observar y comparar las diferencias en el desarrollo de las plantas. Esta actividad práctica refuerza la idea de lo esenciales que son los microbios para un crecimiento vegetal saludable.

La evidencia científica, lecturas adicionales y ayudas a la enseñanza.

Lista de videos and libros

Chhabra S, Prasad R, Maddela NR, Tuteja N, editors. Plant Microbiome for Plant Productivity and Sustainable Agriculture. Springer; 2023 Jan 5.

Yadav AN. Plant microbiomes for sustainable agriculture: current research and future challenges. Springer International Publishing; 2020.

Marasco, R., Mosqueira, M.J., Cherif, A., Daffonchio, D. (2022). Diversity and Plant Growth-Promoting Properties of Microbiomes Associated with Plants in Desert Soils. In: Ramond, JB., Cowan, D.A. (eds) Microbiology of Hot Deserts. Ecological Studies, vol 244. Springer, Cham.

Referencias

Chen QL, Hu HW, He ZY, Cui L, Zhu YG, He JZ. Potential of indigenous crop microbiomes for sustainable agriculture. Nature Food. 2021 Apr;2(4):233-40.

Trivedi P, Mattupalli C, Eversole K, Leach JE. Enabling sustainable agriculture through understanding and enhancement of microbiomes. New Phytologist. 2021 Jun;230(6):2129-47.

Banerjee S, Van Der Heijden MG. Soil microbiomes and one health. Nature Reviews Microbiology. 2023 Jan;21(1):6-20.

Marasco R, Rolli E, Ettoumi B, Vigani G, Mapelli F, Borin S, Abou-Hadid AF, El-Behairy UA, Sorlini C, Cherif A, Zocchi G. A drought resistance-promoting microbiome is selected by root system under desert farming. PloS one. 2012 Oct 31;7(10):e48479.

Marasco R, Fusi M, Rolli E, Ettoumi B, Tambone F, Borin S, Ouzari HI, Boudabous A, Sorlini C, Cherif A, Adani F. Aridity modulates belowground bacterial community dynamics in olive tree. Environmental Microbiology. 2021 Oct;23(10):6275-91.

Un marco de educación en microbiología centrado en el alumno

Glosario

Adaptación mediada por microbios: Cuando los microbios ayudan a las plantas o animales a sobrevivir en condiciones difíciles desarrollando rasgos especiales (modificando su fisiología o morfología) para adaptarse mejor a su entorno cambiante. Por ejemplo, los microbios ayudan a las plantas a desarrollar raíces más profundas para encontrar agua.

Algas: Organismos unicelulares o pluricelulares que realizan fotosíntesis como las plantas y que viven en el agua o en lugares húmedos y pueden producir alimento a partir de la luz solar.

Antibiótico: Sustancia que mata o detiene el crecimiento de otros microorganismos.

Apoplasto: Espacios en una planta por donde se mueven el agua y los nutrientes a través de las células de la planta.

Auxina: Hormona vegetal que ayuda a las plantas a crecer en altura y estimula el crecimiento de las raíces.

Bacterias: Organismos microscópicos unicelulares.

Biodiversidad del suelo: Todos los diferentes tipos de seres vivos, como microbios, insectos y lombrices, que viven en el suelo.

Biofertilizante: Fertilizantes naturales hechos a partir de microbios que ayudan a las plantas a crecer mejor sin productos químicos dañinos.

Biofilm (biopelícula): Capa pegajosa de microbios que se adhieren a superficies, como las raíces de las plantas.

Biopromotores o bioestimuladores: Sustancias naturales, a menudo producidas por microbios, que estimulan el crecimiento y la salud de las plantas.

Bioprotectores: Microbios beneficiosos que protegen a las plantas de organismos dañinos, actuando como defensores naturales sin usar pesticidas químicos.

Cambio climático: Cambios globales y regionales del clima, relacionados con el aumento de gases de efecto invernadero como CO₂, N₂O y CH₄, impulsados por actividades humanas desde la Revolución Industrial.

Citoquininas: Hormonas vegetales que estimulan la división y el crecimiento celular, ayudando a producir más hojas y ramas.

Coevolución: Influencia evolutiva recíproca entre dos o más especies que interactúan, donde los cambios en una pueden inducir adaptaciones en la otra.

Comunidad microbiana / Microbioma: Conjunto de microorganismos (bacterias, hongos, virus) que habitan un nicho ecológico específico, como órganos de plantas o animales o suelos.

Un marco de educación en microbiología centrado en el alumno

Compostura del suelo: Cómo está formado el suelo (arena, limo y arcilla), lo cual afecta el crecimiento de las plantas.

Cooperación: Cuando diferentes seres vivos trabajan juntos para ayudarse, como las plantas y microbios en el suelo.

Degradación del suelo: Pérdida de salud del suelo, lo que dificulta el crecimiento de las plantas, generalmente por sobreuso, contaminación o erosión.

Diversidad composicional: Tipos diferentes de microbios en una comunidad, como cuántos tipos de bacterias o hongos hay en una muestra de suelo.

Diversidad funcional: Variedad de funciones que realizan los microbios en una comunidad.

Endófitos: Microbios que viven dentro de los tejidos de las plantas.

Ecosistemas terrestres: Entornos naturales en tierra, como bosques, desiertos y pastizales, donde conviven plantas, animales y microbios.

Ecoamigable: Algo que es bueno para el medio ambiente y no causa daño a la naturaleza.

Exudados radiculares: Sustancias que las plantas liberan desde sus raíces para atraer microbios beneficiosos y obtener nutrientes.

Fertilidad del suelo: Nivel de nutrientes y salud del suelo para el crecimiento de plantas.

Fijación de nitrógeno: Proceso mediante el cual microorganismos diazotróficos convierten el nitrógeno atmosférico en formas asimilables por las plantas, como amoníaco.

Filamentos fúngicos (hifas): Partes largas y delgadas de los hongos que se extienden por el suelo.

Hongos: Organismos como setas, mohos y levaduras, que ayudan a descomponer materia orgánica y reciclar nutrientes.

Hormonas vegetales (fitohormonas): Sustancias químicas producidas por las plantas que regulan su crecimiento.

Infección por fitopatógenos: Enfermedades en plantas causadas por microbios dañinos como bacterias u hongos.

Metaorganismo (holobionte): Un organismo huésped y sus microorganismos asociados, considerados como una sola entidad funcional.

Micorrizas: Hongos que forman relaciones simbióticas con raíces de plantas, ayudando a la absorción de nutrientes.

Microorganismos (microbios): Seres diminutos como bacterias y hongos invisibles a simple vista.

Un marco de educación en microbiología centrado en el alumno

Nematodos: Pequeños organismos con forma de gusano que viven en el suelo y pueden ser beneficiosos o perjudiciales para las plantas.

Nódulo: Pequeñas estructuras en las raíces donde viven bacterias que ayudan a captar nitrógeno del aire.

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): 17 metas globales definidas por la ONU para lograr un futuro sostenible para todos antes de 2030.

Organismos promotores del crecimiento vegetal (PGP): Microbios que ayudan a las plantas a crecer mejor, proporcionándoles nutrientes y protección.

Parásitos (relación simbiótica perjudicial): Tipo de interacción en la que un organismo se beneficia y el otro sufre daños.

Pesticidas: Productos químicos para controlar plagas, cuyo uso excesivo daña el medio ambiente.

Polisacárido: Tipo de azúcar producido por plantas y microbios para estructura o almacenamiento de energía.

Protozoos: Organismos unicelulares que viven en agua o suelo y regulan poblaciones de bacterias.

Relación simbiótica: Interacción cercana y prolongada entre especies distintas.

Relación mutualista: Asociación donde ambas especies se benefician, como plantas y microbios trabajando juntas.

Resiliencia: Capacidad de recuperarse rápidamente después de daños o situaciones difíciles.

Rizoplasma: Superficie de las raíces de una planta.

Rizosfera: Zona del suelo que está en contacto directo con las raíces y es rica en nutrientes.

Señales químicas microbianas: Sustancias usadas por los microorganismos para comunicarse.

Servicios funcionales: Funciones importantes que realizan los microbios y otros organismos en un ecosistema.

Solubilización de fosfato: Proceso que convierte compuestos insolubles de fósforo en formas asimilables para las plantas.

Sostenibilidad agrícola: Cultivo de alimentos usando métodos naturales y respetuosos con el medio ambiente.

Toxina: Sustancia dañina producida por plantas, animales o microbios.

Un marco de educación en microbiología centrado en el alumno

Virus: agentes que pueden causar enfermedades y necesitan invadir células para multiplicarse.

Xilema: Parte de la planta que transporta agua y nutrientes desde las raíces hasta las hojas y flores.