

Los microorganismos ayudan a las plantas a resistir las sequías

Mami, ¿Por qué hay tan poca hierba en el campo de fútbol estos días?



Fotografía de Jesús Mercado Blanco (CSIC).



Fotografía de Manuel Fernández López (CSIC).

Ana V. Lasa y Manuel Fernández-López

Microbiología de Ecosistemas Agroforestales, Departamento de Microbiología del Suelo y la Planta, Estación Experimental del Zaidín, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Granada, España.

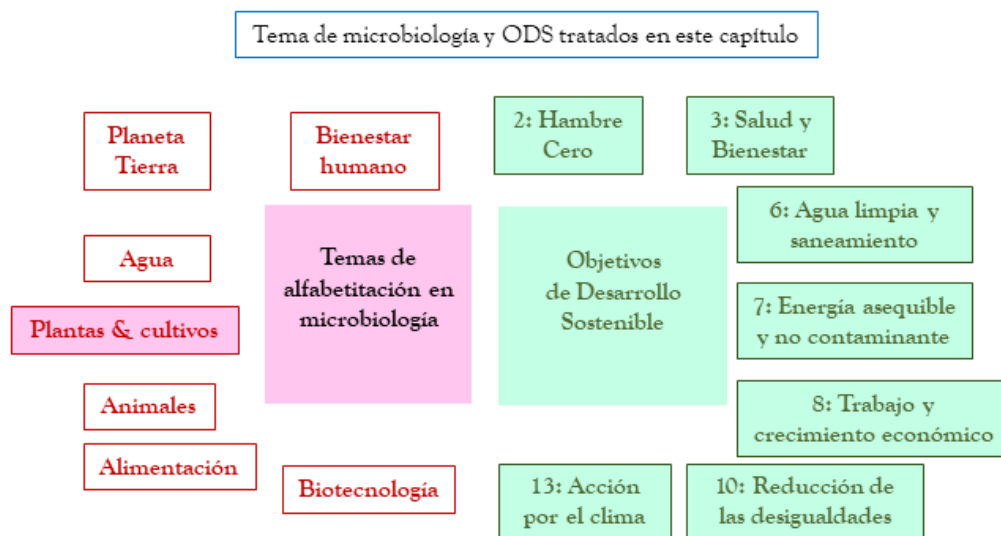
Los microorganismos ayudan a las plantas a resistir las sequías

Argumento

El calentamiento global y el cambio climático están incrementando tanto la severidad como la duración de las sequías, convirtiendo los suelos sanos productivos en suelos en los que las plantas solo pueden crecer pobre y lentamente. Pero, no todo está perdido: los microorganismos que habitan en los ecosistemas vegetales pueden ayudar a las plantas a mantenerse verdes durante más tiempo y a tolerar mejor los fenómenos meteorológicos extremos, como las sequías severas e intensas. El efecto de las sequías se puede reducir mejorando la gestión del agua y protegiendo nuestras plantas y los ecosistemas en los que se desarrollan, en los que se incluyen sus microorganismos asociados.

La microbiología y el contexto social

La microbiología: microbioma de las plantas/interacciones planta-microorganismo; tolerancia al estrés hídrico/sequía; adquisición de nutrientes; biotecnología de microorganismos de plantas. *Cuestiones de sostenibilidad:* producción de cultivos vegetales y seguridad alimentaria; uso de suelos/extensión de tierra de labranza áridos; hambruna; energía; economía y empleo; calentamiento global; cambio climático y desertificación.



Los microorganismos ayudan a las plantas a resistir las sequías: Microbiología.

1. *El cambio climático y el problema de las sequías.* Cambio climático hace referencia al cambio en el clima típico de una región durante un largo período de tiempo, comúnmente caracterizado por variaciones en las temperaturas y los niveles de precipitación. En general, la Tierra se está volviendo más caliente y seca. Las altas temperaturas conllevan patrones climáticos inusuales, incluyendo sequías frecuentes y

severas. Los eventos extremos como las sequías suponen escasez de agua y tienen un fuerte impacto en muchos aspectos de nuestra vida.

La escasez de agua pone en peligro el crecimiento de las plantas y los animales, ¡incluso puede comprometer su supervivencia! Las sequías son una gran amenaza para todo tipo de plantas: desde las especies agrícolas hasta los bosques más antiguos, desde las plantas de los jardines hasta las plantas ornamentales.

¿Sabías que si sufrimos escasez de agua no podemos regar los campos de fútbol, las pistas de tenis o los campos de golf, y es posible que no podamos jugar con nuestros amigos o ver nuestras competiciones deportivas preferidas?

Y, lo que es más, si las plantas no pueden crecer, los animales y las personas que nos alimentamos a partir de ellas tendremos también serios problemas para sobrevivir. Por ejemplo, no tendremos suficientes cajas de cereales de desayuno (hechos de trigo o maíz). Por no mencionar que si los arroyos, ríos, lagos y los embalses se reducen, ¡nuestras reservas de agua potable disminuyen!

2. Las sequías de larga duración dan lugar a la formación de suelos áridos (secos).

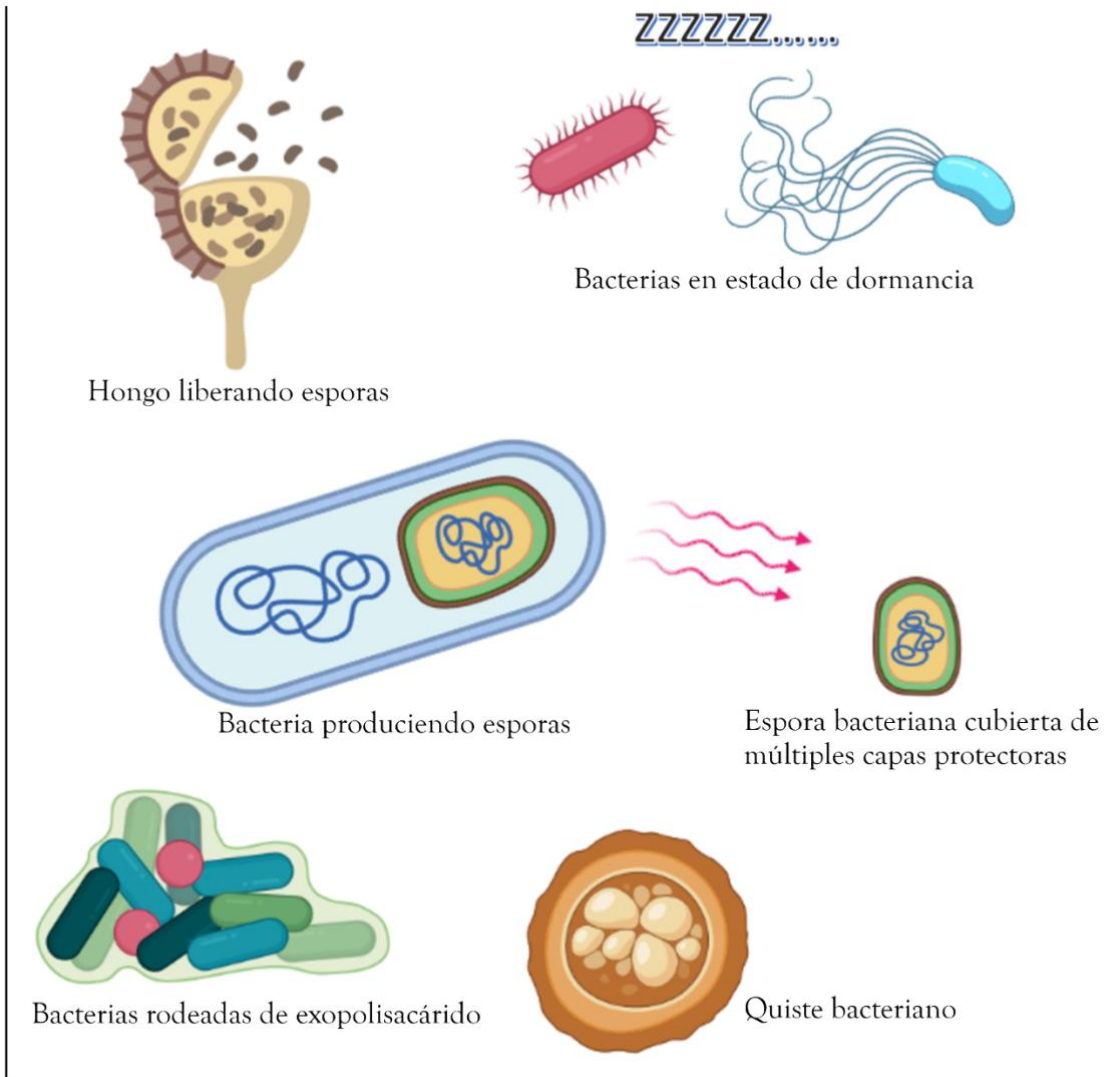
Actualmente, la superficie terrestre está compuesta por un 71% de agua y un 29% de tierra; el 33% de esta se clasifica como desierto, y esta cifra está incrementando.

Las sequías reiteradas suponen la creación de suelos áridos debido a la deficiencia de agua en sí y debido a la consiguiente baja cobertura vegetal en estas áreas. Muchos suelos secos tienen además un contenido muy bajo de nitrógeno y de materia orgánica, y altos niveles de salinidad. La acumulación de la sal en los suelos tiene consecuencias drásticas para las plantas, por ejemplo, la alta toxicidad y el desequilibrio en términos de nutrición vegetal. ¿Sabías que se estima que aproximadamente el 50% de la superficie total cultivable de nuestro planeta se va a salinizar para el año 2050? Además, la aridez del suelo reduce la diversidad y funcionalidad microbiana, limitando la capacidad de estos suelos para sostener la salud vegetal. En consecuencia, la extensión de las áreas forestales y de cultivo agrícola se verán reducidas.

3. La desecación no es un problema para algunos microorganismos¹ ya que han desarrollado diferentes mecanismos para tolerar la deficiencia de agua. De la misma manera que nosotros no tenemos ganas de divertirnos, de ir a trabajar o de ir al colegio cuando tenemos mucho calor o sed, los microorganismos tampoco, por lo que “se van a dormir” en épocas de escasez de agua. En este caso, decimos que los microorganismos entran en un periodo de dormancia, durante el cual su actividad se reduce de forma reversible. Otros microorganismos como algunas bacterias y hongos pueden producir esporas o estructuras microscópicas súper resistentes a la sequía, a modo de armadura. Las bacterias pueden producir también exopolisacárido, una capa que las protege de las duras condiciones ambientales, y también al ecosistema que las rodea. Gracias a estas estrategias, los microorganismos pueden protegerse incluso durante largos periodos de sequía sin verse prácticamente afectados.

¹ Los términos *microorganismos* y *microbios* hacen referencia a bacterias, arqueas, hongos, levaduras, virus, protistas, etc.

Caja 1: Estrategias microbianas para resistir la deficiencia de agua.



4. *Las plantas albergan una gran diversidad de microorganismos que son esenciales para su supervivencia: el microbioma de la planta.* Las plantas son sésiles, es decir, no pueden desplazarse como nosotros lo hacemos. Así, no son capaces de recoger sus raíces y moverse a una zona húmeda cuando se enfrentan a un evento de sequía severa. Por esta razón, las plantas han desarrollado sus propios mecanismos para lidiar con este tipo de condiciones ambientales extremas.

Además, los microorganismos juegan un papel importante en la defensa de las plantas frente a estreses bióticos y abióticos (aquellos causados por organismos vivos o por condiciones ambientales desfavorables, respectivamente).

Mucha gente considera que los microorganismos son perjudiciales para el ser humano, los animales o las plantas, incluso algunas personas piensan que estos deberían desaparecer de la Tierra. Sin embargo, mientras algunos

microorganismos causan enfermedades en las plantas, la inmensa mayoría no causan enfermedad o son incluso beneficiosos.

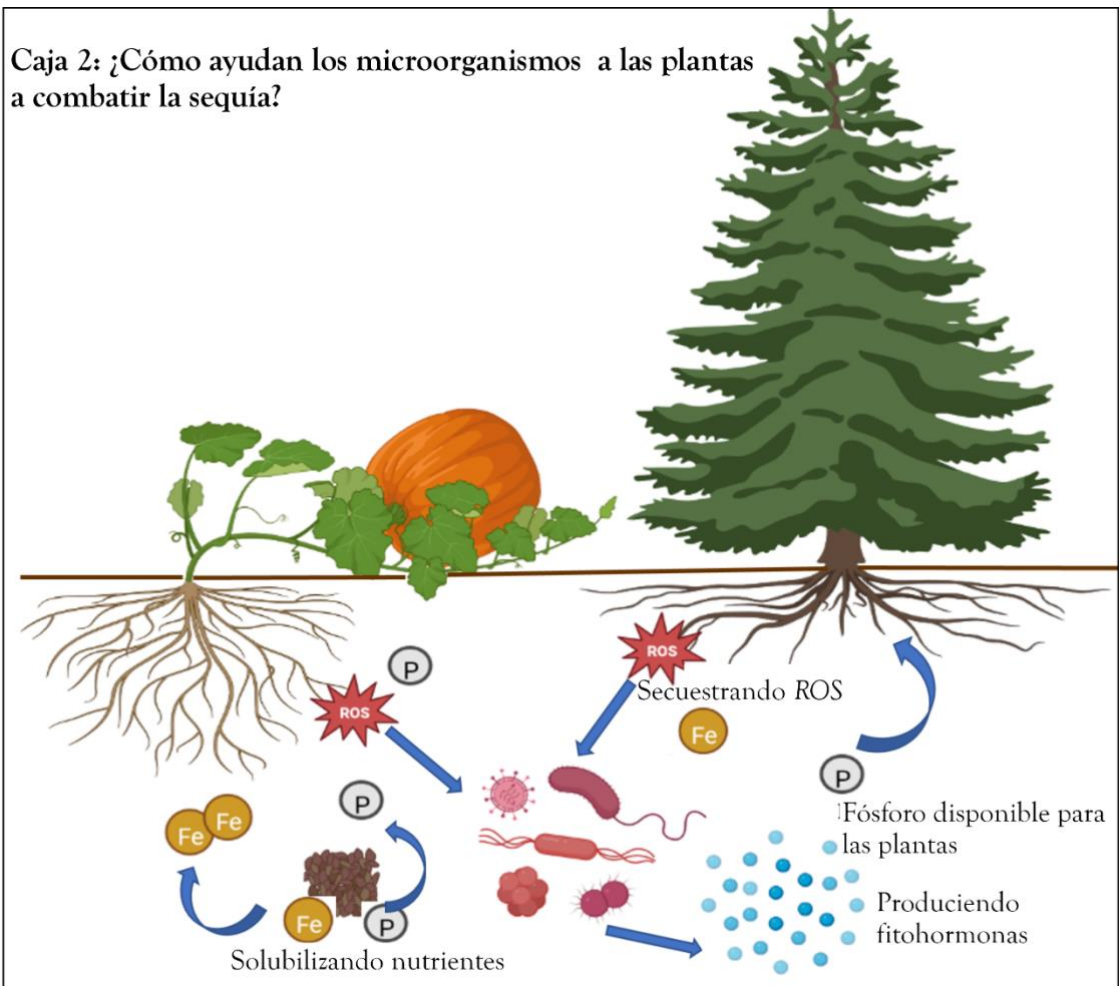
Una gran diversidad de microorganismos crece en y sobre la mayoría de los tejidos vegetales sin causar daño: pueden encontrarse sobre la superficie de las plantas (epífitos), incluso en el interior de las raíces, del tronco, de las hojas, de las flores, etc (endófitos). A estos microorganismos se les conoce como el microbioma – conjunto de todos los microorganismos asociados a las plantas – y tal y como vimos anteriormente, son esenciales para el crecimiento y la supervivencia de las plantas. Mientras algunos miembros del microbioma pueden variar de una planta a otra y a lo largo del tiempo, otros forman relaciones mutuamente beneficiosas – simbiosis – con su planta hospedadora.

5. *Los microorganismos incrementan la tolerancia de las plantas al déficit de agua*

- a. Toma de nutrientes. Durante los periodos de escasez de agua, la capacidad de las plantas para adquirir nutrientes del suelo se ve mermada. Esto sucede porque los nutrientes que se encuentran en o sobre las partículas de suelo deben ser disueltos de tal forma que se movilicen y puedan llegar a las raíces de las plantas. En caso de que haya menos agua disponible en el suelo, los nutrientes se solubilizan en menor medida, y por tanto, se mantienen de forma inaccesible sobre las partículas de suelo.

Sin embargo, los microorganismos son capaces de mejorar la disponibilidad de los nutrientes disolviéndolos y transfiriéndolos a las plantas. Imagina una despensa en la cual la comida se sitúa en las partes más altas, y necesitas una escalera para alcanzarla: los microorganismos actúan como esa escalera para las plantas.

- b. Crecimiento de las raíces. Algunos microorganismos producen compuestos llamados fitohormonas (hormonas vegetales) que son necesarias para el desarrollo de las plantas y para paliar el estrés debido a las sequías. Estas fitohormonas estimulan el desarrollo de más raíces de tal forma que la superficie total para adquirir el agua y los nutrientes aumenta.
- c. Protección frente al estrés. El estrés debido a las sequías induce la producción de especies reactivas del oxígeno (ROS, del inglés *Reactive Oxygen Species*) por parte de las plantas, es decir, compuestos que dañan las proteínas y otras moléculas implicadas en el metabolismo de las células vegetales, y que pueden llegar a ocasionar la muerte de las mismas. Los microorganismos pueden “hurgar” y “secuestrar” las ROS y reducir sus niveles en las plantas, protegiéndolas del efecto negativo de la escasez de agua.



6. *Los microorganismos son una herramienta natural y respetuosa con el medio ambiente en la mitigación del estrés hídrico en plantas.* Puesto que los microorganismos beneficiosos habitan en las plantas sanas y las protegen del estrés por sequía, podemos explotar dichos microorganismos para mitigar el estrés causado por déficit hídrico en muchas especies vegetales. Podemos lograrlo añadiendo estos microorganismos beneficiosos como si fueran fertilizantes naturales, utilizándolos como una herramienta sostenible para mejorar la tolerancia a varios estreses, incluida la sequía. Por ejemplo, añadir microorganismos tolerantes a altas concentraciones de sal a diferentes cultivos, permite que estos puedan desarrollarse en zonas áridas, y por tanto, podría tener lugar la transformación de una zona similar a un desierto en una zona de cultivo. De esta manera, es posible que el uso de microorganismos como si fueran fertilizantes permitiera una expansión de las zonas cultivables.



Plantas de pepino crecidas en condiciones de sequía y tratadas (izquierda) y no tratadas (derecha) con bacterias beneficiosas. Fotografía de Wang C.J y colaboradores (<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052565>).

Importancia para los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y los grandes retos.

- **Objetivo 2. Hambre cero, alcanzar la seguridad alimentaria y una mejor nutrición, y promover la agricultura sostenible.** Como consecuencia del cambio climático, las sequías frecuentes y severas están induciendo un incremento de las áreas desérticas y áridas del planeta, en las cuales, la mayoría de las plantas de cultivo crecen con dificultad o directamente, no pueden crecer. La escasez de agua en los terrenos cultivables conlleva otro tipo de escasez: la falta de alimentos. En este sentido, el empleo de microorganismos como fertilizantes ayuda a alcanzar este ODS, ya que gracias a los microorganismos y su efecto positivo sobre las plantas, los recursos agrícolas no se verán severamente comprometidos.
- **Objetivo 3. Salud y bienestar para todas las edades.** Los alimentos son esenciales para nuestra supervivencia, y la seguridad alimentaria determina nuestra salud. Aunque algunas plantas pueden sobrevivir e incluso crecer en condiciones de sequía, el valor nutricional de sus semillas o frutos es significativamente inferior que aquel de las semillas y frutos que crecen en condiciones óptimas. Sin embargo, cuando los microorganismos son aplicados como fertilizantes en plantas que se desarrollan en condiciones de escasez de agua, estos son capaces de proporcionar nutrientes esenciales a las plantas que hacen que sus frutos sean más completos en cuanto a su composición nutricional. Por lo tanto, los microorganismos no solo son capaces de asegurar la disponibilidad de los recursos agrícolas, sino que también son capaces de mejorar la calidad de nuestros alimentos, y, por ende, de nuestra salud (y también la de los alimentos de nuestros animales). Además, el uso de microorganismos para mejorar la tolerancia de las plantas a las sequías contribuye al mantenimiento de los bosques, los campos de fútbol, las pistas de tenis y los campos de golf, siendo todos ellos importantes para nuestra diversión. Así, los microorganismos contribuirían a nuestra salud física y mental.
- **Objetivo 6. Asegurar la disponibilidad de agua limpia y saneamiento para todos.** El uso de microorganismos para recuperar zonas secas o desérticas contribuye a alcanzar este ODS, puesto que gracias a su acción, la toxicidad del suelo y el agua puede verse disminuida. Además, los fertilizantes basados en microorganismos

podrían llegar a reemplazar los fertilizantes químicos, y por lo tanto, disminuir la contaminación del agua asociada a estos últimos. Sin embargo, la producción a gran escala de los fertilizantes basados en microorganismos es un proceso que consume mucha agua, y necesita un paso adicional para el saneamiento de la misma.

- **Objetivo 7. Asegurar el acceso a la energía asequible y sostenible para todos.** Mediante la utilización de microorganismos como fertilizantes, las zonas secas y áridas no solo podrían transformarse en zonas de cultivo, sino también para crecer cultivos a partir de los cuales obtener bioenergía. Sin embargo, la producción a gran escala de fertilizantes basados en microorganismos es un proceso que conlleva un gran consumo de energía.
- **Objetivo 8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, y el trabajo productivo para todo el mundo.** La industria de los biofertilizantes implica diferentes tipos de negocios, como la investigación científica, la producción, el marketing, el transporte, la venta de los fertilizantes, etc., por lo que se podrían crear diferentes tipos de empleos. Además, las zonas secas y áridas podrían optimizarse para la explotación agraria y forestal, lo cual a su vez podría suponer la creación de más oportunidades de trabajo.
- **Objetivo 10. Reducción de desigualdades.** La desertificación – expansión de las zonas áridas – es un asunto de gran preocupación en todo el mundo, especialmente en las zonas más empobrecidas. Transformando dichas zonas áridas en zonas cultivables se reduciría la desigualdad de renta en algunos países que exportasen las plantas, sus productos o los animales que se alimentan de estas y estos.
- **Objetivo 13. Acción por el clima.** La utilización de fertilizantes microbianos reduciría la necesidad de utilizar fertilizantes químicos, cuya producción en algunos casos es energéticamente cara y se asocia con una gran huella de carbono. Además, la recuperación de las zonas áridas gracias al crecimiento de las plantas sanas resultaría en un incremento del nivel de fotosíntesis, y por lo tanto, en una disminución del nivel de dióxido de carbono (CO₂), uno de los principales gases con efecto invernadero. Por otro lado, el uso de microorganismos que permita desarrollar bosques sanos podría proporcionar numerosos beneficios para el medio ambiente: los árboles y los bosques son la “casa” o el “refugio” de animales, plantas y especies microbianas diversas y únicas. Son, por tanto, una fuente inmensa de biodiversidad, regulan las condiciones climáticas y procesos hidrológicos importantes, además de ser fuente importante de bienes para el ser humano (madera, combustible, medicinas, alimentos, etc.).

Participación de los alumnos

1. *Discusión en clase sobre el calentamiento global, el cambio climático y sus efectos en el crecimiento de las plantas, y el potencial de los microorganismos para paliar estos efectos.*
2. *Sensibilización de los alumnos*
 - a. En relación al uso de inoculantes microbianos para aumentar la tolerancia de las plantas a estreses
 - i. ¿Por qué debemos preocuparnos por el proceso de desertificación?

- ii.* ¿Debemos inocular plantas con microorganismos que no habitan en o sobre la especie vegetal que queremos proteger? ¿De qué ecosistemas deberíamos obtener los microorganismos a inocular?
 - iii.* ¿Corremos algún riesgo de transferir microorganismos patógenos a las plantas cuando las inoculamos?
 - iv.* ¿Deberíamos modificar genéticamente los microorganismos que queremos inocular para hacerlos más eficientes?
 - v.* La inoculación de microorganismos, ¿causa algún daño ecológico?
 - vi.* ¿Cuánta cantidad de agua es empleada para generar los fertilizantes microbianos?
- b.* ¿Qué podríamos hacer personalmente para reducir el calentamiento global?
 - c.* ¿Qué podríamos hacer personalmente para conservar los recursos hídricos de tal forma que haya más agua disponible para las plantas?

3. Ejercicios

- a.* Encuentra mapas del mundo – actuales e históricos – que muestren zonas áridas. Calcula la proporción de masa continental que representan estas zonas. Representa gráficamente cómo han variado estas proporciones a lo largo de los años, para los mapas que consigas.
- b.* ¿Cuáles son las regiones más afectadas del mundo por estos cambios?
- c.* ¿Dónde piensas que sería más efectiva la aplicación de microorganismos para aumentar la tolerancia de las plantas a las sequías? ¿Por qué?

Lecturas complementarias y material didáctico

Cambio climático. <https://climatekids.nasa.gov/kids-guide-to-climate-change/>

Problemas a los que se enfrentan las plantas en condiciones secas y mecanismos que las protegen: <https://kids.frontiersin.org/articles/10.3389/frym.2017.00058>

Cómo los microorganismos protegen a las plantas frente a las sequías:

<https://www.washington.edu/news/2016/09/19/microbes-help-plants-survive-in-severedrought/>

Glosario

Cambio climático: cambios en los patrones climáticos de larga duración, comúnmente caracterizados por el incremento de las temperaturas y cambios drásticos en los niveles de precipitación. Estos cambios suelen ocurrir a nivel regional o a escala global, y usualmente son de origen humano.

Dormancia: estado fisiológico en el cual las bacterias se mantienen en reposo, con niveles metabólicos mínimos. Este estado suele darse cuando las bacterias se enfrentan a una condición estresante y necesitan protegerse, por ejemplo, en el caso de escasez de nutrientes.

Espora: forma de resistencia redondeada adoptada por las células bacterianas en condiciones adversas. También existen esporas producidas por hongos, con función reproductora.

Estrés abiótico: tipo de estrés o condición perjudicial que es causada por uno o varios factores como aquellos de origen medioambiental. Por ejemplo, como consecuencia de temperaturas extremadamente altas o bajas, sequías, inundaciones, radiación solar elevada, viento de gran intensidad, etc.

Estrés biótico: tipo de estrés que es causado por organismos vivos como los microorganismos (generalmente, patógenos), animales, humanos, etc.

Exopolisacárido: compuesto orgánico, producido por bacterias y algunos hongos, que juega un papel biológico esencial. Este compuesto regula la adhesión microbiana a diferentes superficies, confiere protección al organismo productor frente a las condiciones ambientales, por ejemplo, frente a otros microorganismos. El sarro que se desarrolla sobre nuestros dientes está constituido por exopolisacárido bacteriano.

Fitohormonas (hormonas vegetales): moléculas orgánicas con un gran efecto sobre diferentes procesos fisiológicos de las plantas. Estas moléculas coordinan la actividad celular (el crecimiento de la planta, la floración, la senescencia de las hojas, el desarrollo de las raíces, etc.). Las fitohormonas son producidas tanto por las plantas como por algunos microorganismos.

Microorganismos endófitos: aquellos microorganismos capaces de habitar en el interior de los tejidos vegetales. Pueden encontrarse en el interior de las células vegetales o en el espacio entre las células. Se considera que se trata de microorganismos que desempeñan funciones esenciales para el desarrollo de las plantas.

Microorganismos epífitos: aquellos microorganismos que habitan sobre los tejidos vegetales. Por ejemplo, sobre las raíces (microorganismos rizosféricos), las hojas (microorganismos de la filosfera), las flores, etc.

Reactive Oxygen Species (ROS) o especies reactivas del oxígeno: moléculas inestables que contienen oxígeno e interaccionan con moléculas orgánicas de plantas, animales o humanos. Causan daño en el ADN, ARN, proteínas e incluso pueden ocasionar la muerte de las células.

Sésil: organismo que se encuentra permanentemente en un lugar y no puede desplazarse.

Simbiosis: tipo de relación entre diferentes organismos que generalmente pertenecen a diferentes especies. Se caracteriza por que ambos organismos obtienen un beneficio mutuo.