



Concien-
tificas

Microorganismos en defensa de las plantas

Una lucha contra el cambio climático

Alejandra Miranda Carrazco

*Departamento de Ciencias Ambientales. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana unidad Lerma.
almicach@hotmail.com*

Resumen

La producción agrícola se ha visto afectada por el cambio climático y las consecuencias se agudizarán en las siguientes décadas. Las plantas cohabitan con una gran diversidad de microorganismos que tienen la capacidad para promover el desarrollo vegetal y aumentar la producción agrícola aún bajo ciertas condiciones de estrés, incluso pueden mitigar los efectos del cambio climático como la sequía y las altas temperaturas y, de esta manera, garantizar la seguridad alimentaria. El cambio climático ha iniciado una guerra contra la agricultura, y la primera lucha será comandada por los microorganismos.

Palabras clave: Agricultura, cambio climático, microorganismos.

El cambio climático, producido por la acumulación de gases invernadero en la atmósfera terrestre, ha desencadenado un conjunto de graves consecuencias que incluyen aumento en la temperatura, sequías intensas, deshielo de los polos, incendios, variación en los patrones de precipitación, escasez de agua, y disminución de la biodiversidad [1]. Todos los ecosistemas se han visto alterados y seguirán cambiando conforme el cambio climático se agudice.

La agricultura contribuye significativamente al cambio climático por la producción de gases invernadero, como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). A su vez, el rendimiento agrícola se ha visto afectado por las consecuencias del cambio climático.

Las altas temperaturas y la sequía han reducido la producción de trigo, arroz, maíz, frijol, garbanzo, entre otros, y se espera que el impacto negativo del cambio climático en la agricultura se intensifique en las próximas décadas [2]. Aunado a esto, la erosión del suelo, causada por la sobreexplotación y el uso de sustratos sintéticos, desequilibra el ecosistema e impacta negativamente en la producción agrícola.

El cambio climático afecta la morfología y fisiología de las plantas, así como el rendimiento agrícola. Los órganos y membranas vegetales se dañan por las condiciones de estrés a los que son sometidos, y el incremento en el estrés oxidativo altera la producción de carbohidratos y proteínas en las plantas. Además, los cultivos también se ven perjudicados por los cambios en la fertilidad e irrigación del suelo, el incremento en la frecuencia de plagas y enfermedades, entre otros [1]. Por otra parte, se estima que para el año 2050 la producción agrícola deberá incrementarse entre un 60 y un 100% para satisfacer la demanda de alimentos a nivel mundial. El rendimiento obtenido con la agricultura intensiva no será suficiente. Nuevos enfoques deben ser explorados para mitigar el efecto del cambio climático en la agricultura y alcanzar a cubrir la demanda de alimentos [2].

Las plantas están asociadas íntimamente con una comunidad de microorganismos que son heredados (a través de las semillas) o adquiridos del suelo y aire. A esta combinación,

planta y comunidad microbiana, se le llama holobionte. Las interacciones planta-microorganismo y microorganismo-microorganismo están sumamente influenciadas por factores abióticos y son determinantes en el metabolismo del holobionte, pueden generar estrés en el organismo o mejorar la capacidad de resiliencia a factores ambientales. El estudio del holobionte como unidad funcional en la agricultura es esencial para desarrollar estrategias con el fin de mitigar el daño causado por el cambio climático y asegurar la producción agrícola de los próximos años.

Las plantas cohabitan con diversos microorganismos como bacterias, hongos, arqueas, virus, algas y microeucariotes. Estas interacciones han estado presentes por más de 400 millones de años y han evolucionado para adaptarse a diferentes condiciones. Las asociaciones planta-microorganismo pueden

ser del tipo neutral (no hay interacción directa entre la planta y el microorganismo a pesar de pertenecer al mismo ecosistema), patogénica (el microorganismo afecta la salud y desarrollo de la planta), benéfica (la planta o el microorganismo se beneficia de otro) o mutualista (tanto la planta como el microorganismo obtienen cierta ventaja de la asociación) [3]. Los microorganismos confieren diversos beneficios a la salud vegetal como incremento en la disponibilidad de nutrientes (nitrógeno, carbono, fósforo, potasio), aumento en la tolerancia a estrés abiótico (sequía, aumento de temperatura, etc.), inducción del sistema inmunológico de la planta (resistencia sistémica inducida), producción de fitohormonas (auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico, etileno y ácido jasmónico) y antagonismo a patógenos [4]. A su vez, la planta provee a los microorganismos de nutrientes y les otorga una gran variedad de microhábitats con diferentes condiciones fisicoquímicas y nu-

Tabla 1. Uso de microorganismos en diferentes cultivos agrícolas para mitigar las consecuencias del cambio climático. Información obtenida de [1, 2, 7].

Microorganismos	Consecuencias del cambio climático							
	Altas temperaturas	Bajas temperaturas	Falta de nutrientes	Inundación	Salinidad	Sequía	Toxicidad por As	Toxicidad por metales pesados
Bacterias	<i>Achromobacter</i>							Mostaza
	<i>Acinetobacter</i>				Avena, cebada			
	<i>Aphanothece (extracto)</i>				Tomate			
	<i>Arthrobacter</i>				Trigo, pimienta, lechuga, cebolla, tomate			
	<i>Arthrospira (extracto)</i>				Tomate			
	<i>Azotobacter</i>						Maíz	
	<i>Bacillus</i>	Haba			Trigo		Pimienta	Espinaca, maíz
	<i>Burkholderia</i>							Tomate
	<i>Cellulosimicrobium</i>							Chile
	<i>Gluconacetobacter</i>						Caña de azúcar	
	<i>Leifsonia</i>							Maíz
	<i>Nostoc</i>	<i>Arabidopsis</i>						
	<i>Oscillatoria</i>						Trigo	
	<i>Paenibacillus</i>						Pimienta	
	<i>Planococcus</i>					Pimienta, lechuga, cebolla, tomate		
	<i>Pantoea</i>						Trigo	
	<i>Pseudomonas</i>		Tomate		Arroz	Avena, cacahuete, cebada, pimienta	Chile	Espinaca
	<i>Rhizobium</i>			Leguminosas			Girasol	
	<i>Scytonema</i>					Arroz		
<i>Serratia</i>			Chícharo					
<i>Sinorhizobium</i>						Alfalfa		
<i>Variovorax</i>					Chícharo			
Hongos	<i>Aspergillus</i>				Haba			
	<i>Penicillium</i>				Pimienta, lechuga, cebolla, tomate			
	<i>Trichoderma</i>						Garbanzo	
Algas	<i>Chlorella (extracto)</i>				Tomate			
	<i>Dunaliella (extracto)</i>				Tomate			

tricionales. El uso de bacterias, hongos y algas en cultivos agrícolas para mitigar los problemas causadas por el cambio climático ha sido probado y reportado en diferentes investigaciones (tabla 1).

La composición de las comunidades microbianas asociadas a plantas es influenciada por factores propios de la planta como la especie, el genoma y la edad; y factores abióticos como el pH, la humedad, la cantidad de materia orgánica y la salinidad del suelo, la temperatura, las variaciones estacionales y la ubicación geográfica (altitud, latitud y longitud). Incluso, algunas actividades antropogénicas pueden determinar la diversidad de estos microorganismos, por ejemplo, la aplicación de fertilizantes y otros insumos sintéticos a los cultivos, así como la urbanización y la industrialización [1]. Los microbios que se encuentran en el suelo circundante a las raíces de la planta (microorganismos rizosféricos) o en las superficies, como en hojas y tallos, son los que están más expuestos a los cambios ambientales, contrario a los que están dentro de los tejidos vegetales (microorganismos endófitos) [5]. La comunicación planta-microorganismo se da por señales químicas. Las plantas han desarrollado un mecanismo muy específico para llamar solo a los microorganismos benéficos para ellas y evitar a los patógenos o que no les son de ayuda. El efecto “cry for help” o “llorar por ayuda” fue bautizado así por la producción de exudados vegetales bajo condiciones estresantes para reclutar microorganismos que ayuden a aliviar el estrés o incrementar las defensas de las plantas contra patógenos u otras enfermedades [2].

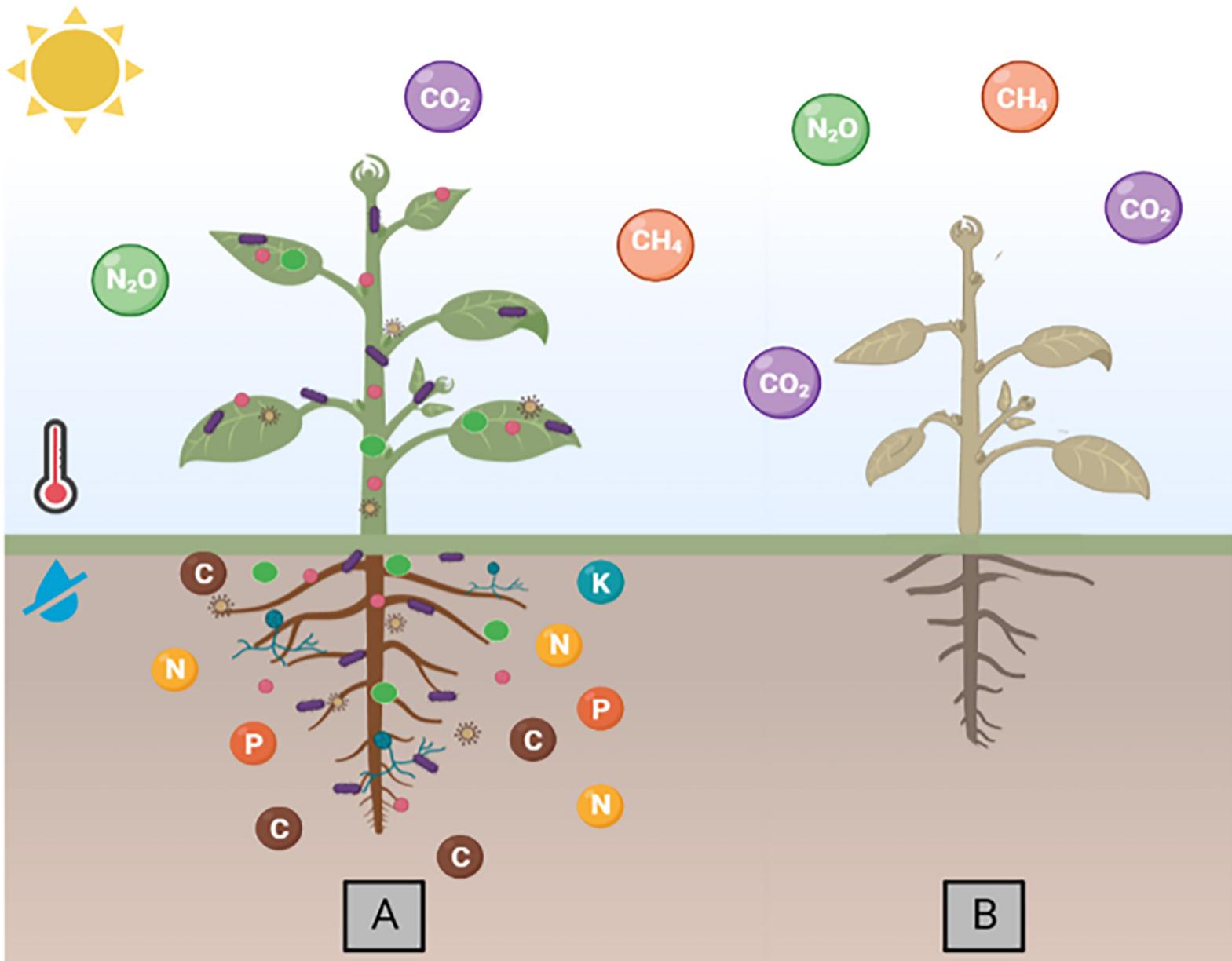
Los efectos del cambio climático afectan la composición de las comunidades microbianas asociadas a cultivos agrícolas. Las plantas reclutan a los microorganismos con capacidades para mitigar el estrés al que se enfrentan, modificando así la comunidad microbiana. Aquellas plantas afines a estos microorganismos benéficos pueden adaptarse a las nuevas condiciones climáticas y presentan una ventaja evolutiva ante los cultivos que no sean afines a los microorganismos benéficos (figura 1). Por lo

tanto, la primera defensa del holobionte contra el cambio climático recaerá en la composición de las comunidades microbianas asociadas, y será hasta años o siglos después cuando la planta evolucione para adaptarse al cambio, ya sea modificando su fisiología o mejorando la afinidad para interactuar con los microorganismos benéficos [2, 5]. Por ejemplo, en ambientes con baja concentración de nitrógeno, las leguminosas forman nódulos en las raíces donde pueden habitar bacterias (rizobios) que fijan el nitrógeno ambiental para proporcionárselo a la planta, en cambio, cuando la cantidad de nitrógeno en el suelo no es un problema y la planta lo puede asimilar, las plantas reducen la capacidad de nodulación para bajar los costos energéticos ya que no necesitan grandes abundancias de rizobios [6] (figura 2).

Los microorganismos que crecen en ambientes extremos, como a temperaturas extremadamente bajas o altas (hasta -10 o 100°C, respectivamente) o a grandes concentraciones de salinidad (hasta del 25%), pueden representar una fuente natural para reducir el estrés en plantas causado por el cambio climático [2]. De hecho, varios estudios han encontrado capacidades de promoción de crecimiento vegetal en la microbiota asociada a plantas desérticas ya que les ayudan a sobrevivir en un ambiente con altas temperaturas y baja disponibilidad de agua. Asimismo, microorganismos (bacterias de los géneros *Arthrobacter* y *Planococcus*, y hongos del género *Penicillium*) asociados a las únicas dos plantas vasculares nativas de la región marítima de la Antártica (*Deschampsia antarctica* y *Colobanthus quitensis*) han sido usados para mitigar el estrés abiótico causado por aumento de sal y, por lo tanto, incrementar el rendimiento de cultivos de lechuga, pimienta, cebolla y tomate [7].

También, las micorrizas (simbiosis entre hongos y raíces de plantas) son importantes para la respuesta de los ecosistemas ante elevadas cantidades de CO₂, ya que promueven el consumo de fósforo y nitrógeno por la planta, retienen carbono y aumentan la resistencia de la planta a la desecación. Los hongos micorrízi-

Figura 1. La primer defensa del holobionte ante el cambio climático serán los microorganismos. La composición de la comunidad microbiana cambiará en función de los efectos del cambio climático, aquellas plantas afines a microorganismos benéficos (que ayuden a mitigar las perturbaciones) podrán adaptarse a las nuevas condiciones (A), mientras que las plantas que no sean afines a los microorganismos benéficos tendrán problemas para adaptarse y las consecuencias se reflejarán en el desarrollo vegetal y el rendimiento agrícola (B). Imagen creada con BioRender.



Gases invernadero

-  Dióxido de carbono
-  Metano
-  Óxido nitroso

Efectos del cambio climático

-  Temperatura alta
-  Sequía

Nutrientes

-  Carbono
-  Nitrógeno
-  Fósforo
-  Potasio

Microorganismos

-  Bacterias
-  Hongos
-  Algas
-  Virus

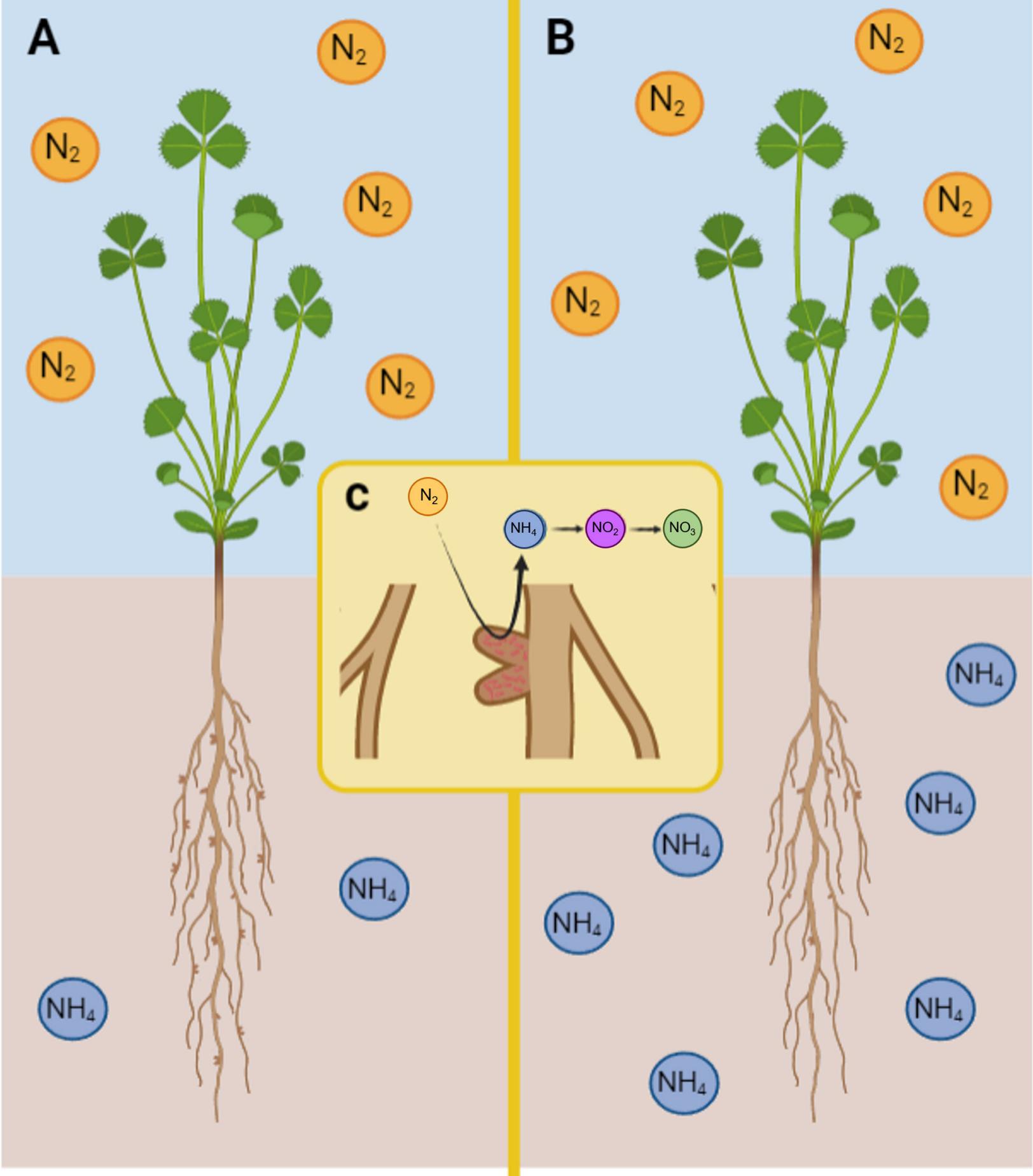


Figura 2. Capacidad de nodulación de las leguminosas. Cuando no hay suficiente nitrógeno asimilable en el suelo, las leguminosas aumentan la producción de nodulación para promover el crecimiento de rizobios (A). En el caso contrario, cuando hay suficiente nitrógeno asimilable en el suelo, la nodulación disminuye (B). Los rizobios dentro de los nódulos fijan el nitrógeno ambiental (N_2) y lo transforman en amonio (NH_4), el cual es asimilable para las plantas y constituye un proceso clave en el ciclo del nitrógeno (C). Imagen creada con BioRender.

cos forman asociaciones con más del 90% de las especies vegetales y tienen un rol crucial en las dinámicas de nutrientes y agua entre el suelo y las plantas, además fomentan la comunicación con otras plantas gracias al sistema de ramificaciones formado por las hifas del hongo [8, 9].

La composición de las comunidades microbianas puede cambiar para adaptarse mejor a ciertas perturbaciones abióticas y, de esta manera, promover el crecimiento vegetal. Por lo tanto, modificar las interacciones planta-microorganismo o incluso transferir una comunidad microbiana de una especie vegetal a otra (o al menos los integrantes más importantes de la comunidad) puede ser un recurso biotecnológico para mitigar los factores estresantes en los cultivos agrícolas, como los causados por el cambio climático.

Además, ante el cambio en los patrones climáticos se deberán fomentar los mercados agrícolas locales y regionales e incrementar el uso de prácticas agrícolas tradicionales como la rotación de cultivos, agrosilvicultura, cultivo intercalado, cultivos de cobertura y aplicación de compostaje. Mientras que técnicas modernas como la agricultura intensiva deberán ser reconsideradas y redirigidas hacia una agricultura sostenible que garantice la salud ambiental y la seguridad alimentaria [1].

Los microorganismos, los habitantes más antiguos y evolucionados del planeta, serán nuestros aliados en esta inevitable lucha para transformar la agricultura y convertir nuestro planeta en uno más amigable para todos sus habitantes. **iBIO**

Referencias

- [1] Sharma, B., Singh, B.N., Dwivedi, P., & Rajawat, M. V.S. (2022). Interference of climate change on plant-microbe interactions: present and future prospects. *Frontiers in Agronomy* 3, 725804. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.725804>.
- [2] Rodríguez, R., & Durán, P. (2020). Natural holobioengineering by using native extreme microbiome to counteract the climate change effects. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 8, 568. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00568>.

- [3] Santoyo, G. (2022). How plants recruit their microbiome? New insights into beneficial interactions. *Journal of Advanced Research* 40, 42-58. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2021.11.020>
- [4] Basu, A., Prasad, P., Das, S.N., Kalam, S., Sayyed, R.Z., Reddy, M.S., & El Enshasy, H. (2021). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: recent developments, constraints, and prospects. *Sustainability* 13, 1140. <https://doi.org/10.3390/su13031140>.
- [5] Trivedi, P., Batista, B.D., Bazany, K.E., & Singh, B.K. (2021). Plant-microbiome interactions under a changing world: response, consequences and perspectives. *New Phytologist* 6, 1951-1959. <https://doi.org/10.1111/nph.18016>.
- [6] Petipas, R.H., Geber, M.A., & Lau, J.A. (2020). Microbe-mediated adaptations in plants. *Ecology Letters* 24, 1302-1317. <https://doi.org/10.1111/ele.137557>.
- [7] Acuña-Rodríguez, I.S., Hansen, H., Gallardo-Cerda, J., Atala, C., & Molina-Montenegro, M.A. (2019). Antarctic extremophiles: biotechnological alternative to crop production in saline soils. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 7, 22. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00022>.
- [8] Fitter, A.H., Heinemeyer, A., & Staddon, P.L. (2000). The impact of elevated CO₂ and global climate change on arbuscular mycorrhizas: a mycocentric approach. *New Phytologist* 147, 179-187. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00680.x>.
- [9] Milovic, M., Kebert, M., & Orlovi, S. (2021). How mycorrhizas can help forests to cope with ongoing climate change. *Sumarski list* 145, 279-286. <https://doi.org/10.31298/sl.145.5-6.7>.

