

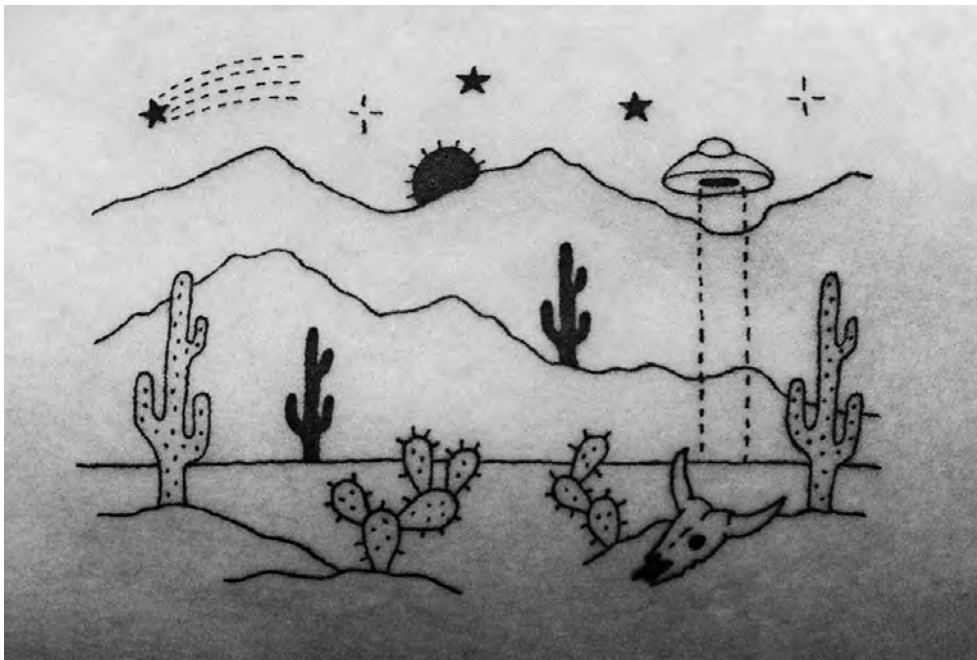
Hace algún tiempo, mientras realizaba un viaje con un grupo de amigos al pueblo de Real de Catorce, en el estado de San Luis Potosí, me percaté de que aun cuando se trataba de un sitio con un ambiente árido, a lo largo de la carretera había bastante vegetación y unos paisajes majestuosos en donde se podía encontrar desde plantas arbustivas, cuya importancia es ser plantas nodrizas, como la conocida gobernadora (*Larrea tridentata*) y *Cylindropuntia imbricata*, pasando por diferentes especies de cactáceas como son las pertenecientes a los géneros *Ferocactus*, *Echinocactus* y *Mammillaria*, hasta llegar a árboles como el mezquite (*Prosopis* sp.) entre otras,

por lo que me nació la curiosidad y comencé a investigar sobre algunas de las estrategias que utilizan éstas y otras especies que habitan en ambientes áridos o semiáridos para poder desarrollarse allí donde la disponibilidad de agua y nutrientes es limitada.

Al comenzar a leer sobre estrategias de adaptación de las plantas a ambientes áridos, recordé mis clases de fisiología y morfología vegetal en donde aprendí algunas cosas al respecto, entre las más sobresalientes la modificación de sus hojas en espinas, lo que reduce la superficie de contacto con la radiación solar y se evita la pérdida de agua. Esta variación en sus hojas trajo consigo el desa-

rollo de un tallo fotosintético que les ayuda a realizar la función que las hojas dejaron de hacer y sin el cual las plantas no obtendrían energía para diversos procesos metabólicos.

Otra estrategia igualmente sorprendente en este tipo de ecosistema es la modificación de su metabolismo de C_3 (el CO_2 se incorpora a un compuesto de 3 carbonos en lo que se conoce como el ciclo de Calvin y los estomas permanecen abiertos durante el día) y C_4 (el CO_2 es incorporado a un compuesto de 4 carbonos y la planta mantiene los estomas abiertos durante el día) a CAM (el CO_2 es almacenado en forma de ácido antes de ser usado en la fotosíntesis y los esto-



Ernesto Mascot

El desarrollo de las plantas en el desierto un enfoque desconocido

mas se abren durante la noche, lo que hace que la pérdida de agua por evaporación sea mínima).

Junto con éstas, encontré que existen otras menos exploradas, las cuales actualmente están llamando la atención de muchos investigadores. Una de ellas es la asociación que se da de forma natural entre plantas y microorganismos, particularmente los conocidos como PGPR por sus siglas en inglés (rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal) bacterias que se encuentran asociadas a la raíz de la planta y se caracterizan por brindar una gran variedad de beneficios a la planta hospedera como el incremento de la raíz, lo que da una mayor superficie para mejorar la absorción de nutrimentos y el soporte de la planta, además de regular la población de organismos patógenos al ocasionar una competencia directa tanto por espacio como por nutrimentos con bacterias benéficas.

Los PGPR también pueden producir fitohormonas, que son compuestos orgánicos naturales que producen las plantas en pequeñas cantidades, las cuales participan en diferentes etapas durante el ciclo de vida de la planta, fomentando, inhibiendo o modificando el crecimiento de la planta, ejerciendo una influencia sobre procesos fisiológicos como la germinación, el crecimiento, la floración, el desarrollo de tejidos, etcétera. Se han descrito diferentes tipos de fitohormonas que se expresan según el tipo de órgano al que van dirigidas y tienen efectos sobre alguna fase del crecimiento vegetal —actividad que, además, está determinada por la edad de la planta y las condiciones ambientales. Se sabe que algunas cepas bacterianas tienen la capacidad de producir diferentes fitohormonas, entre las que se destacan el ácido abscísico (ABA), el ácido giberélico (GA), las auxinas y las citocininas.

Dormir para vivir

Las semillas de especies presentes en ambientes áridos, al igual que especies de otro tipo de ecosistemas, pasan por diferentes etapas durante su desarrollo, como el estado de latencia, una fase en la que el embrión se mantiene viable pero es incapaz de germinar hasta que las condiciones ambientales sean más favorables; esta etapa es regulada por la presencia de ácido abscísico (ABA), y la manera en que esto ocurre no es del todo clara aún, diversas investigaciones han sugerido que está asociada con la relación ABA-ácido giberélico, cuando las concentraciones de ABA son elevadas y la concentración de ácido giberélico es mínima.

Como se sabe, el agua es un recurso fundamental para las plantas y, por más sorprendente que parezca, de 100% del agua que las plantas absorben, cerca de 97% es regresa-





da a la atmósfera por medio de transpiración, 2% es usada en el aumento de volumen o expansión celular y sólo 1% se utiliza en procesos metabólicos, predominantemente en la fotosíntesis. Cuando las semillas de cactáceas se enfrentan a la deficiencia de agua ocasionada por la ausencia del periodo de lluvias, el ABA, junto con un grupo de proteínas denominadas "proteínas LEA" (Late-embryogenesis-abundant) forman una capa viscosa que protege a las semillas de sufrir desecación. La también llamada hormona del estrés puede ser producida por cepas de bacterias, como *Azospirillum brasilense*. En la fase adulta de la planta el ABA regula el crecimiento, además de participar en el cierre de estomas cuando las plantas se encuentran en condiciones de estrés por falta de agua.

El inicio de todo

Cuando las condiciones ambientales son ideales para que la semilla germine, entonces actúa el ácido giberélico, una fitohormona que promueve la germinación de semillas en diferentes especies. Se ha reportado la producción de las giberelinas en cepas de *Azospirillum*

spp. *Proteus mirabilis*, *P. vulgaris*, *Klebsiella pneumoniae*, entre otras. Además de participar en la germinación de semillas, las giberelinas también participan en el crecimiento vegetal y en la promoción de la floración.

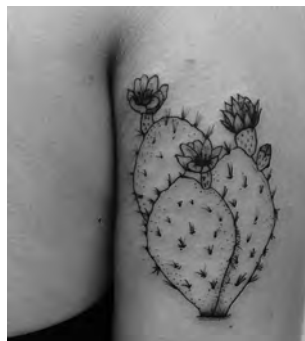
A la fecha se han descrito más de 130 diferentes tipos de ácido giberélico, sin embargo, el único que ha demostrado tener un efecto sobre la germinación en semillas es el GA₃, cuyo efecto está relacionado con factores ambientales y propios de la semilla; se ha demostrado que la exposición a la luz y un tratamiento de frío en semillas latentes pueden bajar la concentración de ABA, lo que provoca un incremento en la concentración de GA₃, terminando con el periodo de latencia y promoviendo la germinación.

Durante la germinación, el GA₃ induce la degradación de las reservas almacenadas en

el tejido que rodea y brinda alimento al embrión dentro de la semilla, proporcionando energía para su crecimiento, lo cual dará como resultado el desarrollo de una nueva plántula.

Después de la germinación, la plántula resultante necesita tener buenas estrategias que ayuden a superar las adversidades ambientales, como incrementar el tamaño de raíz, ya que es un órgano fundamental en las primeras etapas de crecimiento porque brinda alimento y defensa a la planta, además de favorecer una mayor superficie de contacto con las partículas del suelo, lo que ayuda a la toma de agua y nutrientes.

Es aquí donde intervienen las auxinas, un grupo de hormonas vegetales que regulan aspectos del desarrollo y crecimiento de las plantas, principalmente del sistema radical y



la formación de nódulos en las raíces. Se sabe que la producción de auxinas por parte de microorganismos está dada, entre otras, por cepas de *Azospirillum* spp., *Agrobacterium* spp. y *Pseudomonas* spp. De los diferentes tipos de auxinas descritas, el ácido indol-3-acético es el más conocido y su actividad es fundamental para incrementar la superficie de contacto de sus raíces de las cactáceas, que es de manera horizontal, ya que con frecuencia el suelo tiene poca profundidad; esto permite una mayor superficie de contacto para la absorción de nutrimentos y agua.

Seguir creciendo

Aunado al crecimiento de la raíz, es necesario que se desarrolle el tejido aéreo, y es en esto donde participan las citoquininas, fitohormonas que esti-

mulan la división celular y ejercen un mayor control sobre la división y la diferenciación celular, contrarrestando la dormancia apical y retrasando el envejecimiento de las hojas. Entre las diferentes citoquininas existentes, la zeatina es hasta ahora la que mayor importancia tiene debido a su participación en procesos de división celular, ruptura de dormancia apical, floración y desarrollo de cloroplastos. Entre los microorganismos que pueden producir esta fitohormona resaltan las cepas

del género *Bradyrhizobium*, *Rhizobium* y *Azospirillum*.

Aunque existen más tipos de fitohormonas, únicamente nos enfocamos en estos cuatro, ya que son los que se sabe con certeza que pueden ser producidos por los PGPR; sin embargo, no hay que olvidar la importancia de otras como el etileno, por su participación en la maduración de frutos y la senescencia de las hojas.

Cada que vayas en algún viaje familiar o con amigos y te preguntes cómo pudieron haberse desarrollado las plantas que ves, que generan paisajes tan bellos en ambientes donde pareciera que no ha caído una sola gota de agua en mucho tiempo, sabrás que todo eso se debe, entre otras cosas, a las asociaciones simbióticas de plantas y microorganismos, una relación en la que ambas partes se benefician. 🌍



Ernesto Mascot Gómez

Estudiante de doctorado en ciencias ambientales, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, J. L., E. de la Barrera, C. Reyes García, M. F. Ricalde, G. Vargas Soto y J. C. Cervera. 2007. "El metabolis-

mo ácido de las crasuláceas: diversidad, fisiología ambiental y productividad, en *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, vol. 81, núm. 1, pp. 37-50.

Bowen, G. D. y A. D. Rovira. 1999. "The rhizosphere and its management to improve plant growth", en *Advances agronomy*, núm. 66, pp. 1-102.

Hedden, P. y V. Sponsel 2015. "A century of gibberellin research", en *Journal of Plant Growth Regulation*, vol. 34, núm. 4, pp. 740-760.

Moreno F., L. P. 2009. "Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión", en *Agronomía Colombiana*, vol. 27, núm. 2, pp. 179-191.

Taiz, L. y E. Zeiger. 2010. *Plant Physiology*. 5ta edición. Sinauer Associates Inc, Publishers Sunderland, Massachusetts.

Yang, J., J. W. Kloepper y C. M. Ryu. 2009. "Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress", en *Trends in Plant Science*, vol. 14, núm. 1, pp. 1-4.

IMÁGENES

P. 38. Katie Mena; Sean From Texas. P. 39: Brúcius von Xylander. P. 40: Raudiel Sanudo; Brenda Mena. P. 41: Melissa Dow; Dre Dayli.