

Microorganismos PGPR

Claudio Valverde

Laboratorio de Biología de Suelos, Plataforma de Servicios Biotecnológicos, Universidad Nacional de Quilmes – cvalver@unq.edu.ar

Las plantas, como los humanos y muchos otros seres vivos en este planeta, dependen de microorganismos para crecer en forma normal y saludable. Más todavía, las plantas, tanto en su ambiente natural como en los cultivos explotados por el hombre, no son solo plantas, sino que son un complejo ensamble de plantas y de los microorganismos que la componen. ¿Dónde están, de dónde vienen y quiénes son esos microorganismos? ¿Cuántos y cuán diversos son? ¿Qué funciones cumplen? ¿Podemos aprovecharlos? ¿Cómo?

Cuantitativamente, la mayor proporción del conjunto de microorganismos de las plantas - su "microbioma"- se encuentra en la interfaz de las raíces y el suelo, o más precisamente, en la rizosfera. La rizosfera es el compartimento que se extiende desde la superficie de las raíces hasta la región del suelo que es influenciada químicamente por las raíces; es decir, abarca una capa de unos pocos milímetros de espesor, en donde las raíces invierten una cantidad impresionante de recursos, principalmente en la forma de carbono. Diversos cálculos experimentales estiman que 20 a 30% del carbono fotosintetizado es exudado al suelo, y esto ocurre necesariamente, a través de la rizosfera. Tal inversión de carbono tiene un objetivo claro que es sostener la actividad biológica de consorcios de (micro)organismos que habitan la rizosfera. De hecho, la rizosfera es un (micro)zoológico formado por bacterias, arqueobacterias, los virus que las infectan (bacteriófagos), hongos, oomicetes, algas, protozoarios, y también por nematodos y artrópodos. En términos numéricos, el grupo biológico más abundante lo constituyen las bacterias, que pueden alcanzar poblaciones de hasta 100 mil millones de células por cada gramo de raíz, distribuidas entre no menos de 30.000 especies diferentes. Estas dimensiones implican que el genoma colectivo del microbioma bacteriano de una rizosfera es varias veces superior al de la planta que la alberga; es en la práctica, el segundo genoma de una planta. Esta configuración no es caprichosa, y tiene una larga historia evolutiva directamente vinculada con las interacciones entre la planta y su microbioma. En relación a las interacciones de los habitantes de la rizosfera y la planta, hay microorganismos patógenos, otros que son más bien indiferentes, y otros que en cambio son benéficos para el desarrollo y salud de las plantas (como las micorrizas y otros hongos endofíticos, que escapan al foco de este artículo). El adecuado balance entre los primeros, los últimos, y el estado fisiológico vegetal, es crítico para el normal desarrollo de las plantas.

Como reconocimiento a la existencia de microorganismos en la rizosfera con la capacidad de estimular el desarrollo vegetal y contribuir a la salud de las plantas, se acuñó hace casi cuatro décadas la sigla PGPR, del inglés *plant growth promoting rhizobacteria*, para englobar todas aquellas especies bacterianas que poseen la capacidad de establecerse en el nicho de la rizosfera e influir positivamente en el crecimiento de la planta a través de diversos mecanismos. Los microorganismos PGPR, o simplemente los PGPR, son parte del microbioma de la rizosfera, a dónde arriban esencialmente a partir de la carga de flora microbiana que transporta la semilla (transmisión vertical) o por migración desde el microbioma del suelo hacia las raíces en crecimiento. Una vez establecidos en la rizosfera, despliegan una serie de funciones o actividades biológicas que estimulan directamente o indirectamente el crecimiento de la planta o contribuyen a mejorar su estado sanitario: 1) facilitan la adquisición de nutrientes como el nitrógeno, el fósforo, o el hierro; 2) producen moléculas idénticas o similares a hormonas vegetales impactando en el desarrollo del sistema radicular; 3) modulan la respuesta a estreses abióticos; 4) compiten con otros microorganismos por el acceso a micronichos en la rizosfera o interfieren en su comunicación; 5) sintetizan metabolitos inhibitorios (antibióticos, antifúngicos); 6) estimulan el estado sistémico de resistencia a diversos patógenos. Por analogía de estas funciones o mecanismos de los PGPR con los de los microorganismos que constituyen el microbioma intestinal humano, los PGPR también son considerados actualmente microorganismos probióticos vegetales. Resulta interesante el hecho que todas estas funciones, en general, no se encuentran asociadas individualmente a un tipo de PGPR, sino que las evidencias experimentales muestran que existe redundancia funcional en los microorganismos probióticos de la rizosfera; es decir, diferentes especies bacterianas poseen funciones probióticas equivalentes, e incluso, un aislamiento bacteriano puede desplegar varias estrategias probióticas simultáneamente. Se destacan como excepción algunos microorganismos muy especializados funcionalmente, como los rizobios, capaces de inducir el desarrollo de órganos radiculares que colonizan para la fijación biológica de nitrógeno, con rasgos de preferencia muy marcados. Se considera entonces que las plantas, a lo largo de la evolución, han desarrollado estrategias para seleccionar microorganismos probióticos que en su conjunto aportan estas funciones a la rizosfera, expandiendo así su habilidad de captar nutrientes, y de aumentar su tolerancia a distintos tipos de amenazas ambientales y biológicas. Tal es así, que la composición del microbioma de la rizosfera depende en gran medida del genotipo de la planta o cultivo, además de ser influenciado o moldeado por otros factores como el tipo de suelo, condiciones climáticas y las prácticas de manejo.

A partir de lo descrito en párrafos anteriores, la pregunta surge casi en forma espontánea: ¿cómo podemos aprovechar las propiedades de los microorganismos probióticos vegetales? De hecho, es una pregunta que tiene varias respuestas, algunas de ellas conocidas y otras por descubrir. Un aspecto importante a destacar aquí es que no todos los componentes del microbioma rizosférico pueden ser aislados y multiplicados (cultivados) en el laboratorio. Sólo en

algunos casos muy exitosos se ha logrado cultivar representantes de hasta 50% de las especies que se sabe están presentes a través del análisis de su huellas genéticas. Entonces, la realidad es que una fracción importante del microbioma de la rizosfera es todavía inaccesible o “no cultivable” en el laboratorio. Afortunadamente, entre los componentes que se pueden cultivar, existen microorganismos probióticos sumamente interesantes y con aplicaciones biotecnológicas concretas, como es el caso de miembros de los géneros *Azospirillum* y *Pseudomonas*, que forman el principio activo de agrobioinsumos que se comercializan en el país desde hace más de una década, y que han demostrado contribuir en forma significativa y consistente al rendimiento de gramíneas. La estrategia en el caso de microorganismos cultivables es entonces obtener aislamientos a partir del material biológico de interés, por ejemplo la rizosfera de un cultivo o suelo de un lote agrícola determinado. Luego en el laboratorio se realiza la selección en base la función probiótica de interés y posterior caracterización microbiológica, genética, y de los rasgos vinculados a la colonización de la planta de interés. En una etapa posterior, en sistemas controlados en cámara de plantas o invernáculo, se evalúa el impacto que tiene su aplicación sobre semillas o plántulas sobre el desarrollo o estado sanitario de la planta de interés. Finalmente, es necesario evaluar la performance del probiótico en ensayos experimentales a campo a través de varias campañas. De hecho, este tipo de evaluaciones son requeridas por las autoridades de registro de productos biológicos para el agro (SENASA). Finalmente, si la caracterización microbiológica y funcional del aislamiento lo justifican, se pasa a la etapa de análisis de aspectos relacionados a su formulación industrial como inoculante (p.ej., supervivencia en semilla o vehículo, compatibilidad con otros insumos químicos o biológicos, estabilidad en la formulación). Este esquema general, ha permitido y permite arribar al desarrollo de inoculantes basados en una única cepa probiótica, o en combinaciones de PGPRs compatibles. En nuestro laboratorio, por ejemplo, estamos transitando un camino de este tipo sobre la base de aislamientos probióticos autóctonos del género *Pseudomonas*, que han sido seleccionados por su capacidad biocontroladora de una serie de hongos fitopatógenos de gramíneas. De esta forma, en tanto los microorganismos probióticos puedan ser cultivados en forma pura en el laboratorio, existirá la posibilidad de manejo racional de sus propiedades y la formulación de productos con una o múltiples cepas (consorcios). Más aún, la cultivabilidad hace factible operar sobre ciertos PGPR y modificar genéticamente su potencial de manera que adquieran nuevas funcionalidades; la ingeniería genética segura de probióticos vegetales es una realidad incipiente de gran potencial para la agricultura.

Del otro lado de la realidad del microbioma de la rizosfera, están los probióticos no cultivables en el laboratorio. Sin embargo, a pesar de esta barrera de acceso, distintas evidencias experimentales alientan a pensar estrategias para estimular el establecimiento de comunidades de probióticos en la rizosfera; se sabe por ejemplo que en ciertos casos, el monocultivo de trigo da lugar al enriquecimiento de variedades de PGPRs biocontroladoras, mientras que en otros

sistemas de cultivo, la rotación de cultivos en siembra directa o la aplicación de enmiendas tienen un impacto notable sobre la composición del microbioma rizosférico. Por ello, se visualiza a la “ingeniería rizosférica” como una alternativa complementaria al uso de inoculantes para el manejo racional de la composición de probióticos en la rizosfera, que requiere ser explorada con mayor profundidad.

En conclusión, el aporte de la ciencia en las últimas décadas, particularmente en las disciplinas de la microbiología y ecología molecular, muestran que las plantas, el suelo que las rodea y los microorganismos que habitan en su entorno inmediato, deben ser considerados un sistema integral, un superorganismo, en el que cualquier efecto que impacte en uno de sus componentes, tendrá influencia sobre los otros. La aptitud de una planta (y de un cultivo, en última instancia) será entonces la consecuencia del funcionamiento de la planta en sí misma, y de su microbioma. Parte de ese microbioma, moldeado por la propia planta, tiene funciones benéficas para el crecimiento y salud de la planta, y puede ser manipulado en el laboratorio para su aprovechamiento como insumos agrícolas. De esta forma, los PGPR o probióticos vegetales son una herramienta biotecnológica tangible y promisoría en el paradigma de la agricultura sustentable, que aspira a reducir la incorporación de insumos químicos destinados a la nutrición y sanidad de los cultivos. Para el abordaje de la fracción no cultivable del microbioma, se visualiza a las prácticas agronómicas como estrategia complementaria de manejo. Desde el punto de vista de la planta, y en paralelo al esquema clásico biotecnológico de mejoramiento de la tolerancia a estreses y de la resistencia a patógenos, será necesario explorar sistemáticamente cómo impactan a nivel molecular las funciones probióticas del componente microbiano de la rizosfera sobre la planta de manera de traducirse en beneficios, e identificar cuáles son los genes de la planta que canalizan el aprovechamiento de las funciones del microbioma rizosférico.