

Azotobacter en la agricultura: Una bacteria biofertilizante que protege a las plantas

Por Domenico Pavone

El género de bacterias *Azotobacter* ha sido usado como bioinoculante durante décadas para aumentar los rendimientos en una amplia variedad de cultivos agrícolas como cereales, tomates, berenjenas, zanahorias, caña de azúcar, entre otros. Esta bacteria puede beneficiar a las plantas fijando nitrógeno, sintetizando hormonas vegetales, estimulando los microorganismos rizosféricos y produciendo sustancias inhibidoras de fitopatógenos. Además de los beneficios que aporta, es capaz de producir estructuras de resistencia, lo cual la convierte en una excelente candidata para ser usada en productos biofertilizantes comerciales que pueden disminuir el uso excesivo de fertilizantes químicos. El mercado global de estos microorganismos está en pleno crecimiento, por lo que representan además de todos sus beneficios, una buena oportunidad de negocios. En este artículo te cuento todos los detalles.

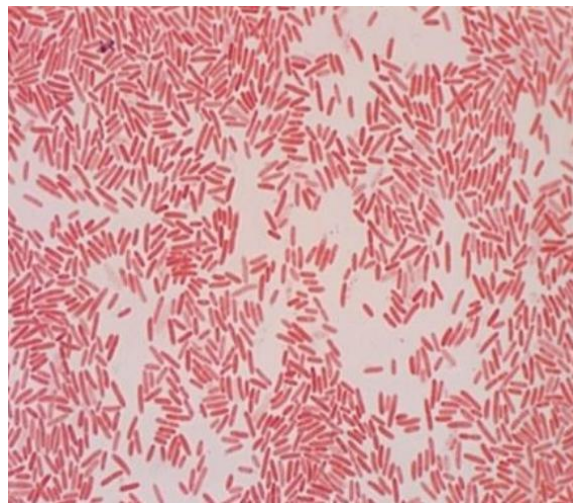
¿Qué es *Azotobacter*?

Las bacterias de la familia Azotobacteraceae constituyen la mayoría de las bacterias heterotróficas fijadoras de nitrógeno de vida libre. Entre las bacterias fijadoras de nitrógeno no simbiótica podemos encontrar a *Beijerinckia*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Herbaspirillum*, *Gluconacetobacter*, *Burkholderia*, *Clostridium*, *Methanosarcina* y *Paenibacillus*, siendo muy eficaces en cereales. La abundancia de especies de *Azotobacter* en el suelo puede mejorar la disponibilidad no solo de nitrógeno sino también de fósforo.

El género *Azotobacter* es un grupo de bacterias Gram negativas de vida libre, fijadoras de nitrógeno de forma aeróbica que

habitan en el suelo. Entre las especies más utilizadas en la agricultura están *Azotobacter chroococcum* y *Azotobacter vinelandii*. Estas bacterias son conocidas por explotar el nitrógeno atmosférico para la síntesis de proteínas celulares las cuales son mineralizadas en el suelo dándole a los cultivos una considerable parte del nitrógeno disponible. *Azotobacter* es sensible a los pH ácidos, altas concentraciones de sal y la temperatura.

Estas bacterias poseen la tasa metabólica más alta comparada con cualquier otro microorganismo y han generado mucho interés en la comunidad científica debido a su modo de metabolismo único por el cual son capaces de fijar nitrógeno aeróbicamente.



Azotobacter es una bacteria Gram negativa. Imagen de [Aishwarya et al., 2019](#).

Azotobacter puede ser encontrada comúnmente en suelos, agua, sedimentos y raíces de plantas. Generalmente se encuentran en suelos desde ligeramente ácidos a alcalinos. La cantidad de esta bacteria encontrada en suelos es relativamente baja (10^4 UFC/g) aunque se encuentran entre 30 hasta 80% de los suelos muestreados. El hecho de si *Azotobacter* es una bacteria rizosférica o no aún está en debate. Algunas investigaciones indican que su prevalencia no es mayor en la rizósfera que en el suelo no rizosférico. Sin embargo, algunas especies están en mayor proporción en la rizósfera de plantas superiores. Además, se ha encontrado en mayor abundancia en suelos fértiles que en suelos arenosos, debido a su requerimiento relativamente alto de fósforo.

No existe una evidencia contundente que *Azotobacter* pueda colonizar internamente tejidos vegetales, aun cuando los endófitos, en teoría, son capaces de fijar más nitrógeno debido a la baja presión de oxígeno de los tejidos en comparación con el suelo, necesario para el funcionamiento de la enzima nitrogenasa.

Azotobacter se ve afectada por varios parámetros del suelo como la materia orgánica, la concentración de sales y el pH. En relación a la temperatura es un organismo mesófilo que crece adecuadamente entre los 25–30 C. *Azotobacter* no puede tolerar altas temperaturas, aunque puede formar quistes que les permiten soportar temperaturas de 45–48 C, congelamiento, salinidad, sequía y radiación ultravioleta. En suelos con pH menores de 6, las poblaciones de *Azotobacter* disminuyen, siendo su pH óptimo entre 7–7,5.

Medio de cultivo para *Azotobacter*

Uno de los medios de cultivo para aislar y crecer estas bacterias es el Agar *Azotobacter* (Manitol) La composición de este medio de cultivo es la siguiente:

Ingrediente	g/L
Fosfato dipotasio	1
Sulfato de magnesio	0,2
Cloruro de sodio	0,2
Sulfato ferroso	trazas
Extracto de suelo	5
Manitol	20
Agar	15
pH final	8,3

Beneficios del uso de *Azotobacter*

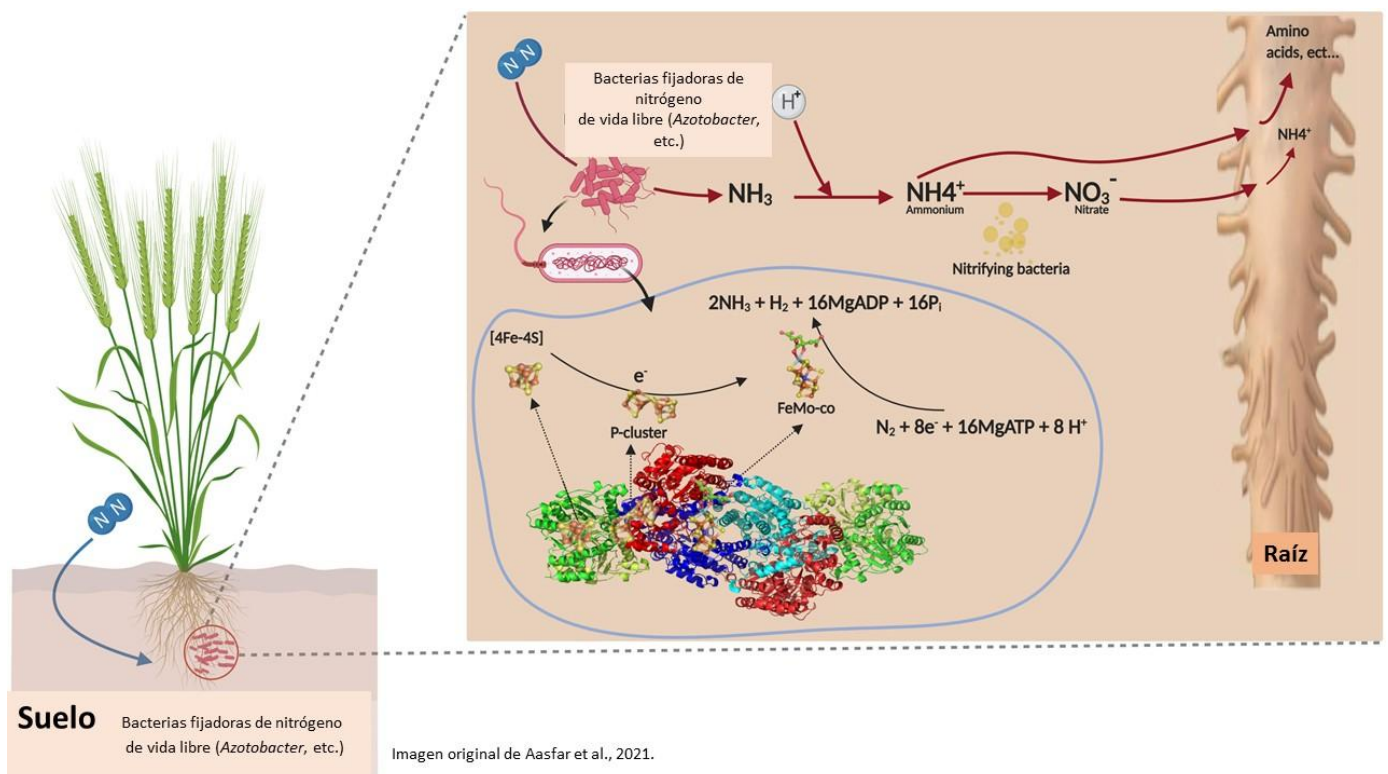
Estas bacterias poseen un impacto muy ventajoso en el crecimiento y rendimiento de los cultivos a través de la biosíntesis de sustancias biológicamente activas, impacto en los microorganismos de la rizósfera, producción de inhibidores fitopatogénicos, alteración de la toma de nutrientes y la fijación de nitrógeno. Varios posibles mecanismos han sido propuestos que incluyen la fijación de nitrógeno, la producción de hormonas de crecimiento y la liberación de sideróforos.

Azotobacter como bacteria fijadora de nitrógeno

La fijación de nitrógeno es uno de los procesos biológicos más importantes del

planeta. Entre sus funciones, ayuda a mantener la fertilidad de los suelos y mejora la productividad de los cultivos.

Azotobacter es capaz de convertir el nitrógeno atmosférico en amonio, el cual es tomado y asimilado por las plantas. Estas bacterias son resistentes a la presencia de oxígeno durante la fijación de nitrógeno, debido a mecanismos de protección de la nitrogenasa contra la respiración. La presencia de niveles óptimos de calcio es fundamental para el crecimiento de *Azotobacter* y su capacidad de fijar nitrógeno. Por otro lado, altos niveles de nitrógeno afectan negativamente la actividad de *Azotobacter*.



La fijación biológica de nitrógeno es una de las principales funciones de *Azotobacter* en suelos. Imagen original de [Aasfar et al., 2021](http://tecnovitaca.com).

Se ha estimado que *Azotobacter* puede fijar alrededor de 20 Kg de nitrógeno/ha/año, pudiéndose aplicar en la producción de cultivos como sustituto parcial de fertilizantes nitrogenados. Algunos reportes indican que la aplicación de mezclas de cepas de *Azotobacter* puede reducir la necesidad de fertilizantes nitrogenados hasta en un 50 %.

Algunas cepas de *Azotobacter* son capaces de producir aminoácidos cuando son crecidas en medios de cultivos con determinadas fuentes de carbono y nitrógeno. En otros casos pueden producir pigmentos que están involucrados en el metabolismo de otros organismos. La especie *A. chroococcum* produce melanina, un pigmento oscuro soluble en agua durante la fijación de nitrógeno, el cual parece estar relacionado con la protección de la nitrogenasa del oxígeno.

Producción de hormonas vegetales por *Azotobacter*

Las hormonas de plantas incluyen sustancias producidas tanto por microorganismos como por la planta, las cuales estimulan o inhiben procesos bioquímicos y fisiológicos en el microbio y la planta. Entre las hormonas involucradas están las auxinas, las giberelinas y las citoquininas. Estas sustancias impactan positivamente en el crecimiento de las plantas.

Producción de sideróforos por *Azotobacter*

Azotobacter es capaz de producir sideróforos, un grupo de moléculas quelantes de hierro que alteran la disponibilidad de este elemento en el medio extracelular. Las bacterias de este género expresan nitrogenasas ricas en

hierro a través de las cuales reducen nitrógeno. Por otro lado, pueden tener acceso al hierro formando complejos hierro-sideróforos, los cuales son absorbidos por receptores de membrana. Estos complejos no están disponibles para ser usados por microorganismos competidores, lo cual le otorga a la bacteria propiedades de protección a la planta contra el ataque de patógenos. En algunas especies, los sideróforos puede unirse a otros metales como Molibdeno o Vanadio que son necesarios en la estructura de las nitrogenasas, e incluso puede tomar metales pesados tóxicos como Volframio y Zinc.

***Azotobacter* y biorremediación**

La remoción de hidrocarburos es otra de las propiedades de *Azotobacter* gracias a su capacidad de usarlos como fuente de carbono. Puede degradar derivados de compuestos aromáticos como el benzoato, p-hidroxibenzoato, 2,4 D, 2,4,6 Triclorofenol, entre otros. Otras sustancias degradadas por *Azotobacter* son: 2-clorofenol, 4-clorofenol, 2,6 diclorofenol, entre otras.

Los metales pesados una vez en el suelo, se acumulan preferencialmente en partes donde las raíces de las plantas se agregan y en formas que son fácilmente asimiladas por estas. Por lo tanto, son absorbidos y entran en la cadena alimenticia. *Azotobacter* puede resistir la presencia de metales pesados como el cobre, níquel y cobalto, por lo que pueden usarse en biorremediación. Así, estas cepas tienen una tendencia a unirse con Cadmio y Cromo disminuyendo su absorción por plantas de trigo en suelos contaminados. En estos casos, las sustancias poliméricas extracelulares juegan un papel importante como la primera barrera quelante de iones

metálicos, restringiendo el acceso al interior celular.

***Azotobacter* y control de fitopatógenos**

Otro papel importante de *Azotobacter* es el manejo de enfermedades en plantas a través de la supresión de agentes fitopatógenos. *Azotobacter chroococcum* ha demostrado ser capaz de controlar a hongos como *Alternaria*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Macrophomina*, *Curvularia*, *Helminthosporium* y *Aspergillus*. Este control lo realiza a través de varias estrategias como la producción de sideróforos, sustancias antimicrobianas, toxinas y hormonas del crecimiento vegetal. A ningún mecanismo se le puede atribuir por sí solo su capacidad de controlar patógenos, esto parece ser un efecto sinérgico. *Azotobacter* también puede producir sustancias antifúngicas que inhiben el desarrollo de hongos fitopatógenos como *Helminthosporium*, *Macrophomina* y *Fusarium*.

***Azotobacter*, *Rhizobium*, *Azospirillum* y micorrizas**

Azotobacter es un potente biofertilizante. Como esta bacteria no es simbiote sino de vida libre, su máximo potencial para incrementar la productividad puede ser alcanzado cuando es coinoculada con otros biofertilizantes ya que acelera la actividad benéfica de otras bacterias cuando son usadas en consorcio. Entre las mejores asociaciones con *Azotobacter* están las micorrizas solubilizadoras de fósforo como el hongo micorrízico arbuscular *Glomus*.

La mezcla de *Azotobacter* con *Rhizobium* también ha sido positiva, ya que la primera

produce hormonas incrementando el crecimiento radical y haciendo disponible más raíces para la infección de *Rhizobium* con más nodulación, más fijación de nitrógeno y mayor rendimiento.

Otra bacteria asociada con *Azotobacter* es *Azospirillum*. Cuando ambas se han inoculado juntas en cultivos de garbanzo, mostaza, colza y chile, han dado excelentes resultados. Además, estas dos bacterias juntas han demostrado mejorar el efecto en plantas contra el estrés por salinidad.

***Azotobacter* como biofertilizante**

El uso de *Azotobacter* como biofertilizante puede incrementar el crecimiento y el rendimiento de cultivos como brócoli (40%) y maíz (15-20%) en comparación con fertilizantes tradicionales. Estos efectos benéficos pueden ser atribuidos a la biosíntesis de sustancias biológicamente activas, la estimulación de otros microorganismos rizosféricos, la producción de inhibidores de fitopatógenos y el mejoramiento de la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, carbono y azufre a través de la fijación biológica de nitrógeno y la mineralización de residuos orgánicos del suelo.

La producción de ácidos orgánicos de bajo peso molecular, ha sido reconocido como el principal mecanismo de solubilización de fósforo. Se sabe que la fijación de nitrógeno en suelos está limitada por fósforo, pero también por Molibdeno en suelos ricos en fósforo y limitado tanto por fósforo y molibdeno en suelos bajos en fósforo.

La solubilización de potasio y zinc es otra de las funciones de *Azotobacter* en el suelo y

que promueven el crecimiento vegetal. Así, la producción de ácidos orgánicos en el suelo puede secuestrar cationes Zn y disminuir el pH del suelo circundante.

El mercado global de *Azotobacter*

Los biofertilizantes fijadores de nitrógeno como *Rhizobium*, *Azotobacter* y *Azospirillum* que son principalmente usados en tratamiento de suelos y semillas, representan

actualmente el segmento más grande del mercado global de biofertilizantes. Este mercado ha sido valorado en US\$ 800 millones en 2016 y se espera que alcance los US\$ 3000 millones en 2024, creciendo a una CAGR (tasa de crecimiento compuesta anual) de 14,3 %. En el caso específico de *Azotobacter*, el mercado fue valorado en US\$ 212 millones en 2017 y se espera que crezca a un CAGR de 8,7% entre 2020 y 2025.

En conclusión, la bacteria *Azotobacter* posee grandes ventajas que pueden ser explotadas desde el punto de vista agrícola. Su principal función es fijar nitrógeno, pero también puede ejercer otras funciones que complementan su potencialidad como bioinoculante agrícola. En estos microorganismos hay otra herramienta más para ser incorporada en Programas de Manejo Biológico de Cultivos. ¿Has usado alguna bacteria fijadora de nitrógeno en tus cultivos?

Si quieres saber más de *Azotobacter*, te recomiendo leer las publicaciones originales consultadas para elaborar este artículo:

[Sumbul et al., 2020. *Azotobacter*: A potential bio-fertilizer for soil and plant health management. Saudi Journal of Biological Sciences 27 3634–3640.](#)

[Aasfar et al., 2021. Nitrogen Fixing *Azotobacter* Species as Potential Soil Biological Enhancers for Crop Nutrition and Yield Stability. Frontiers in Microbiology. 12: 628379.](#)



Domenico Pavone es biólogo y especialista en protección vegetal. 18 años como profesor universitario y autor de artículos científicos en microbiología, biotecnología, biocontrol de plagas y enfermedades agrícolas.