



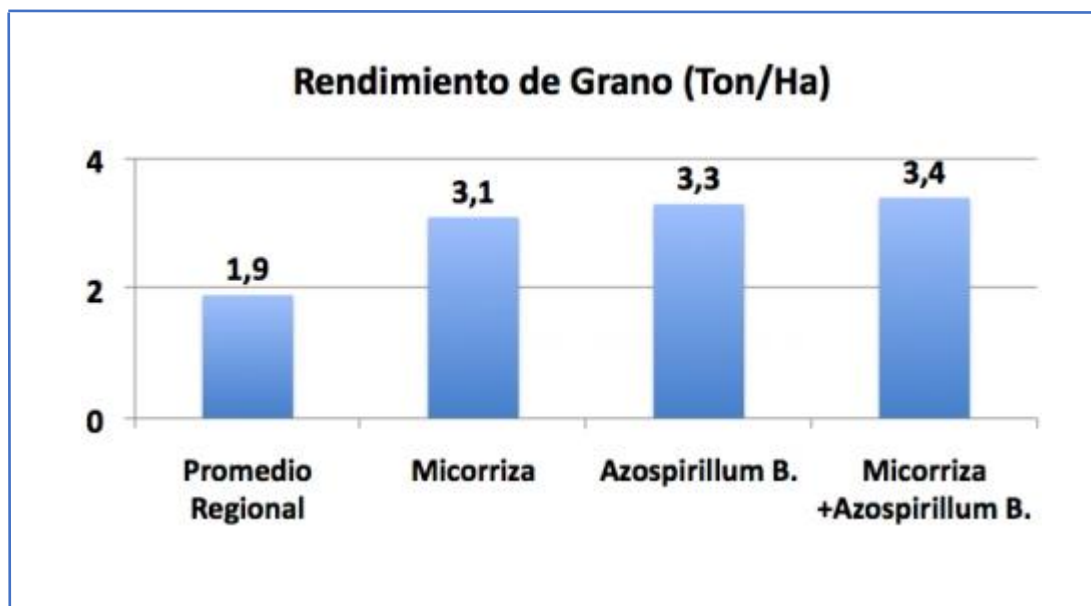
## 1. Antecedentes

En las últimas cuatro décadas se ha venido incrementando en la agricultura mexicana el uso de la bacteria *Azospirillum*, como un eficaz bio-fertilizante apropiado para maíz, frijol y trigo, entre varios otros cultivos. Los centros nacionales que han encabezado estas investigaciones son, principalmente, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) a través de su Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno. La bacteria modelo ha sido el *Azospirillum* brasilense, (Az39). El INIFAP reporta haber llevado a cabo una serie de proyectos en cultivos de maíz y frijol, en la "Huasteca Hidalguense", con resultados muy alentadores.

En la Huasteca Hidalguense, una zona de muy alta marginación, los agricultores no cuentan con recursos económicos suficientes para la adquisición de fertilizantes químicos. De aquí la importancia de validar y transferir a los agricultores alternativas tecnológicas a bajo costo, como son los bio-fertilizantes, para que esta región logre incrementar la productividad en cultivos de maíz y frijol.

### Resultados en Maíz.

Teniendo como referencia los rendimientos promedio a nivel regional reportados por la Secretaría de Agricultura (SAGARPA), es factible afirmar que – en el ciclo agrícola Otoño/Invierno 2008-2009 - se logró un impacto productivo y socioeconómico en la región, donde la asociación del bio-fertilizante Micorriza más la bacteria *Azospirillum* brasilense obtuvo el más alto porcentaje de incremento en rendimientos.



En resumen, los resultados finales muestran que el rendimiento en maíz de temporal puede incrementarse hasta en un 79% mediante el uso y manejo de la asociación Micorriza + *Azospirillum brasilense*, con lo cual se puede incrementar el ingreso neto en más del 100% en contraste con el rendimiento medio regional. En el cultivo de frijol la inoculación con *Rhizobium etli* obtuvo el mayor rendimiento de grano seguido de la Micorriza. En relación al incremento del Ingreso Neto, con *Rhizobium* se incrementa hasta en un 300% en comparación con la producción tradicional y costos actuales (2008/2009).

## 2. Clasificación y Aislamiento

El género *Azospirillum* pertenece a la subclase alfa de las proteo-bacterias, teniendo actualmente reconocidas seis especies ; las dos más ampliamente estudiadas son *A. lipoferum* y *A. brasilense*. También han sido descritas las especies *A. amazonense* , *A. halopraeferans* , *A. irakense* y *A. largimobile*. Las bacterias del género *Azospirillum* han sido aisladas de la raíz de una muy amplia variedad de plantas y de su rizosfera, incluyendo cereales como maíz, trigo, arroz, sorgo, avena, y pastos forrajeros . Especies de *Azospirillum* fueron aisladas incluso del henequén (*Agave fourcroydes*) , y de plantas cactáceas que incluyen diferentes especies de *Opuntia* y *Stenocereus*.

## 3. Interacción con la planta

Aparentemente, una bacteria del suelo deberá sobrevivir a las múltiples interacciones que se presentan con la compleja comunidad microbiana que habita el mismo microambiente, antes de que ocurra cualquier interacción con las raíces de la planta. En el inicio de una interacción con las raíces de la planta hospedera, el microorganismo específico deberá llegar a la superficie de las raíces, adherirse y multiplicarse para colonizarla. Si la bacteria tiene la capacidad de invadir los tejidos internos, se diseminará en el interior de la raíz e incluso en otros órganos de la planta.

Una vez que las células de *Azospirillum* se han adaptado a las condiciones del ambiente rizosférico y han logrado llegar a la superficie de las raíces, se inicia el establecimiento de la asociación. Diferentes estudios han mostrado que *A. brasilense* tiene la capacidad para adherirse a las raíces de plantas gramíneas como el maíz y el trigo, así como a las raíces de plantas de otras familias que incluyen al algodón y al tomate. La capacidad de *Azospirillum* para adherirse a las raíces, es significativamente mayor que la mostrada por otras bacterias de la comunidad rizosférica como *Rhizobium* , *Azotobacter*, *klebsiella* o *Pseudomonas*.

La asociación de *Azospirillum* con las raíces de las plantas se desarrolla en dos etapas que son completamente independientes. La primera consiste en una adsorción rápida, débil y reversible, la cual es dependiente de proteínas de la superficie bacteriana. La segunda fase consiste en un anclaje lento pero firme e irreversible que alcanza su máximo nivel 16 horas después de la inoculación. La inoculación de diversas plantas con *Azospirillum* ha mostrado que los principales sitios de colonización son las áreas de elongación celular y las bases de los pelos radicales.

#### 4. La Estimulación del crecimiento de las plantas

La capacidad de *Azospirillum* para estimular el crecimiento de las plantas ha sido bien demostrada en decenas de experimentos, tanto de campo como de invernadero. Los mecanismos que se han sugerido como responsables del efecto estimulador observado en las plantas inoculadas son muy diversos. En numerosos estudios de inoculación con *Azospirillum*, además del mejor crecimiento de las plantas, se observaron incrementos en el contenido de nitrógeno total de las plantas inoculadas respecto a las testigo. No obstante, en la mayoría de estos estudios no fueron observadas diferencias significativas en el porcentaje de nitrógeno (o en el contenido de proteína) entre plantas inoculadas y no inoculadas, razón que contribuyó a desechar la idea de que la fijación biológica de nitrógeno fuera el mecanismo responsable de los efectos benéficos observados.

Debido a que los efectos de la inoculación con *Azospirillum* sobre el crecimiento de la raíz y la parte aérea de las plantas son similares a los que se presentan cuando las plantas son tratadas con fitohormonas, ha sido sugerido que estas sustancias podrían ser responsables del mejor crecimiento de las plantas, así como de los incrementos observados en el contenido de minerales y en el rendimiento de los cultivos. En años recientes ha sido revisada la función de las fitohormonas en las asociaciones planta-microorganismo. Se sabe que *Azospirillum* tiene la capacidad de producir auxinas, citocininas y giberelinas en medios de cultivo, No obstante, el mecanismo analizado con mayor amplitud ha sido la producción de auxinas, especialmente la del ácido indol - acético (AIA). Este ácido ( AIA ) producido por las bacterias puede modificar el contenido de fitohormonas de las plantas conduciendo a la estimulación del crecimiento de estas.

A pesar de que existe la tendencia de atribuir a las fitohormonas, especialmente al AIA, los efectos benéficos de la inoculación con *Azospirillum*, también existe la propuesta de que tales beneficios son el resultado de diversos mecanismos.

## 5. La Estimulación del crecimiento de las plantas



Cepas amplificadas de la bacteria *Azospirillum*

Algunas compañías en diferentes países han registrado inoculantes de *Azospirillum* para maíz y para algunos otros cultivos. Aun cuando el uso de *Azospirillum* como un buen bioestimulante del crecimiento de las plantas no se ha generalizado mundialmente, en México la aplicación de esta bacteria en diferentes cultivos ha superado con mucho lo alcanzado

en otros países. En el ciclo agrícola primavera-verano (PV) del año 1999 la Secretaría de Agricultura, a través de su Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y de la Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal, A.C., en colaboración con el Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno-UNAM, llevó a cabo la inoculación de alrededor de 450,000 hectáreas de maíz y 150,000 hectáreas de sorgo, cebada y trigo, empleando cepas de *Azospirillum* seleccionadas por su capacidad para promover el crecimiento de las plantas e incrementar el rendimiento de los cultivos. La evaluación del rendimiento de grano en alrededor de 675 hectáreas de los diversos cultivos, que comprendieron cerca de 170 sitios de México con características edáficas en regiones climáticas diferentes mostró el éxito de la inoculación en el rango de 62 % a 95 % de los casos analizados, con incrementos que fluctuaron en el rango de 6 a 98 %.

El incremento promedio en la producción de los cultivos de maíz, trigo, cebada y sorgo bajo las diferentes condiciones evaluadas fue del 26%. Los resultados fueron dependientes de la variedad y cultivo, tipo de suelo, uso y nivel de fertilizantes. La mejor respuesta a la inoculación se presentó en suelos de tipo ligero (arenosos), con niveles intermedios de fertilización en el rango de 45-90 Kg N/ha, y con las variedades "criollas" de maíz. Considerando la gran cantidad de variedades, cultivos, suelos y condiciones climáticas evaluadas, los resultados de la inoculación con *Azospirillum* reflejan muy claramente la capacidad de la bacteria para promover el desarrollo de las plantas y el impacto positivo sobre el rendimiento de los cultivos de grano. El programa de "Bio-fertilización" se continuó durante el ciclo PV-2000, inoculándose alrededor de un millón y medio de hectáreas.

Se considera que la aplicación de *Azospirillum* como bioestimulante que incrementa la producción de los cultivos debería extenderse a todos aquellos lugares donde la aplicación de fertilizantes es nula o escasa. En las regiones donde se practica una agricultura moderna, la inoculación con *Azospirillum* permitiría reducir las cantidades de fertilizantes que generalmente se aplican y con ello lograr disminuir tanto el costo de producción como los problemas derivados de su uso, principalmente la contaminación, sin detrimento de la producción.

## 6. Referencias

**\*Biofábrica.** Extraordinarios resultados en maíz y frijol con biofertilizantes.  
[www.biofabrica.com.mx](http://www.biofabrica.com.mx)

**\*UNAM.** El género *Azospirillum*. [www.biblioweb.tic.unam.mx](http://www.biblioweb.tic.unam.mx)

**\*Azospirillum.** La bacteria del suelo como biofertilizante en la agricultura.  
[agriculturers.com/Azospirillum](http://agriculturers.com/Azospirillum).



**LABORATORIOS A-L DE MÉXICO S.A. DE C.V.**

Calle Esmeralda # 2847. Colonia Verde Valle.

[www.laboratoriosaldemexico.com.mx](http://www.laboratoriosaldemexico.com.mx)

44550 Guadalajara, Jalisco.

Tel. 33 3123 1823 y 33 3121 7925.

Información adicional: [kcalderon@allabs.com](mailto:kcalderon@allabs.com). WhatsApp 33 28 03 79 60.

**Laboratorios de Agroecología con una visión social y solidaria.**

**VALORAMOS LA LIBERTAD DE INFORMACIÓN.**

**ESTE ARTÍCULO ES GRATUITO Y PUEDE SER REPRODUCIDO SIN NINGUNA LIMITANTE.**