

## APLICACIONES BIOTECNOLÓGICAS DE LA PROMOCIÓN DE CRECIMIENTO VEGETAL: MICROORGANISMOS DE RIZOSFERA Y RIZOPLANO DE ZONAS ÁRIDAS

**Rueda Puente, Edgar Omar, López Elías, Jesús**

Huez López, Marco Antonio y Martínez López, José Rumualdo

Departamento de Agricultura y Ganadería- División de Cs´ Biológicas y de la Salud-Universidad de Sonora,  
Dirección: Hermosillo, Sonora Carr. Bahía de Kino Km. 21 Apdo. Postal 305. email: [erueda04@santana.uson.mx](mailto:erueda04@santana.uson.mx),  
[erueda818@gmail.com](mailto:erueda818@gmail.com)

### Resumen

Hay varios problemas que se generan cuando se da una explicación o definición de agricultura orgánica. Primeramente, hay varios conceptos erróneos acerca de este tópico que tiende a una visión llena de prejuicios y desvía la atención de los temas principales. En segundo lugar, la nomenclatura varía en diferentes partes del mundo, causando una confusión al observador sin conocimiento previo. En tercer lugar, existen muchos practicantes que creen que la agricultura orgánica exitosa involucra comprensión conceptual tanto como el empleo de técnicas prácticas específicas. La base sustancial de esta forma de producción, radicaba preferentemente en el uso de compostas y fertilizantes de origen vegetal. Inicialmente esta tecnología se utilizó sólo en escala familiar para la producción de alimentos de autoconsumo. Posteriormente se fue popularizando hasta convertirse en una actividad económica, cuya importancia crece al paso del tiempo. Recientemente, en las dos últimas décadas, con la relevancia que a nivel mundial han adquirido los conceptos ecologistas de preservación del medio ambiente y protección de la salud humana, esta práctica agronómica está adquiriendo aún más importancia, creándose a su abrigo, toda una cultura de consumo de alimentos y una productiva industria de comercialización de agro-insumos orgánicos..

**Palabras clave:** *agricultura orgánica, abonos, biofertilizantes*

### Abstract

There are several problems that occur when there is an explanation or definition of organic agriculture. First, there are several misconceptions about this topic that tends to a prejudiced and diverts attention from the main issues. Second, the nomenclature varies in different parts of the world, causing confusion to the observer without prior knowledge. Third, there are many practitioners who believe that organic farming involves successful conceptual understanding as well as the use of specific practical techniques. The base material of this form of production preferably lay in the use of compost and plant fertilizers. Initially this technology was used only in family scale food production for subsistence. Later it became popular to become an economic activity whose importance grows over time. Recently, in the last two decades, with global relevance that have acquired the concepts of ecological environmental protection and human health protection, this agronomic practice is gaining ever more, creating in his coat, a whole culture food consumption and production industry marketing organic agro-inputs.

**Key Words:** *organic agriculture, fertilizers, biofertilizers*

### Introducción

**Agricultura Orgánica.** Como resultado del incremento de las posibilidades de que los productos vegetales destinados al consumo humano, pudieran estar contaminados con residuos tóxicos de agroquímicos, en algunas partes del mundo, sobre todo en Estados Unidos de Norte América, y países europeos como Francia, Inglaterra y Alemania, se está desarrollando con fuerza lo que se ha denominado horticultura orgánica, en la que, los alimentos o cultivos que se producen bajo este sistema, no reciben aplicaciones de agroquímicos, sean fertilizantes, insecticidas, funguicidas o herbicidas. El concepto del manejo de productos naturales y materia orgánica en la agricultura, es tan viejo como la agricultura misma y como consecuencia, hace casi 100 años apareció la horticultura orgánica, que a medida que se fue desarrollando,

se estableció como un sistema con prácticas bien definidas. Los cultivos orgánicos tuvieron una nueva perspectiva durante los 80s, no sólo en Inglaterra sino alrededor del mundo. Los problemas de sobreproducción en los países industrializados, y una baja producción en países en vías de desarrollo, además del impacto de la agricultura al medio ambiente, ha concentrado las mentalidades y ha traído una nueva forma de ver los logros obtenidos a partir de 1945. Hay varios problemas que se generan cuando se da una explicación o definición de cultivos orgánicos. Primeramente, hay varios conceptos erróneos acerca de este tópico que tiende a una visión llena de prejuicios y desvía la atención de los temas principales. En segundo lugar, la nomenclatura varía en diferentes partes del mundo, causando una confusión al observador sin conocimiento previo. En tercer lugar, existen muchos practicantes que creen que la agricultura orgánica exitosa involucra comprensión conceptual tanto como el empleo de técnicas prácticas específicas. La base sustancial de esta forma de producción, radicaba preferentemente en el uso de compostas y fertilizantes de origen vegetal. Inicialmente esta tecnología se utilizó sólo en escala familiar para la producción de alimentos de autoconsumo. Posteriormente se fue popularizando hasta convertirse en una actividad económica, cuya importancia crece al paso del tiempo. Recientemente, en las dos últimas décadas, con la relevancia que a nivel mundial han adquirido los conceptos ecologistas de preservación del medio ambiente y protección de la salud humana, esta práctica agronómica está adquiriendo aún más importancia, creándose a su abrigo, toda una cultura de consumo de alimentos y una productiva industria de comercialización de agro-insumos orgánicos. En México ya existen compañías que se responsabilizan de verificar y certificar la producción de alimentos cosechados bajo tal procedimiento. Los abonos orgánicos son usados en cantidades elevadas; por la materia orgánica que aportan al suelo, le confieren una decisiva mejora físico-química, que se traduce en hacer el suelo más blando y en aumentar su poder de retener agua, haciendo menos frecuentes los daños por escasez de precipitaciones. Lo anterior, porque el humus impide la formación de costra superficial en los terrenos arcillosos, facilita la penetración del agua de lluvia, reduce la evaporación superficial y permite la conservación de la humedad por la presencia de coloides orgánicos. En efecto, el humus está formado por partículas finísimas por lo cual es parte de la materia coloidal del terreno, o sea de los coloides orgánicos que tienen características análogas a los minerales, propios de los terrenos arcillosos .

***Tipos de abonos.*** Los abonos se distinguen en orgánicos y minerales. Los primeros dividiéndose como subproducto del metabolismo de microorganismos y aquellos microorganismos que son utilizados como biofertilizantes. Los abonos minerales provienen principalmente de la intemperización de las rocas y de la industrialización de acuerdo al Proceso Habber.

***Abonos minerales.*** En el cultivo del chile, la mayor demanda de fertilización se presenta durante el desarrollo del fruto e inmediatamente después que es cosechado; las necesidades de fertilizantes aplicados al suelo son nitrógeno y fósforo. Varios autores relacionan altas producciones con altas concentraciones de fósforo en la planta. Es conveniente apoyarse en los resultados de un análisis de fertilidad del suelo, al fin de saber aplicar las dosis adecuadas. Cada cultivo, para poder desarrollarse, necesita encontrar en el terreno suficientes cantidades de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, cobre, manganeso, hierro y boro, los cuales contribuyen en diferentes, pero bien reguladas proporciones, a formar la solución nutritiva que es absorbida por las raíces de las plantas. De estos elementos nutritivos, algunos, como el nitrógeno, el fósforo y el potasio, juegan un papel importante sobre el proceso de nutrición de los cultivos, en tanto que los restantes, desempeñan un papel complementario de estímulo, de mejoramiento, pero menos importante. En particular el nitrógeno, por el cual están formadas cerca de las 4/5 partes de la atmósfera, excepto para algunas leguminosas, es utilizable por las plantas en forma de nitratos y en menor cantidad en forma amoniacal. El papel del nitrógeno es el de mejorar la vegetación y asegurar un crecimiento rápido de las plantas. Esto favorece el desarrollo de las semillas de las leguminosas, que resultan más provistas de proteínas, acelera la fase vegetativa y retarda el proceso de lignificación de muchos cultivos. Su deficiencia en el terreno causa mal desarrollo de los cultivos, especialmente en las hortalizas de hojas cuyas dimensiones resultan reducidas, presentan manchas amarillas y su colorido es verde pálido. Los abonos nitrogenados son de fácil disolución en el terreno, ya que las plantas pueden absorberlos rápidamente en forma de nitratos, lo que reduce también las formas amoniacales de la flora bacteriana existente en el terreno. El nitrógeno contenido en el abono debe sufrir, primeramente, una transformación

en nitrógeno amoniacal y después en nítrico soluble en agua, para poder ser utilizado por las raíces de las plantas. El nitrógeno amoniacal se fija mejor en el terreno a causa de su insolubilidad en el agua, mientras que el nítrico (a menos que sea utilizado rápidamente por las raíces) está sujeto a continuas, rápidas y notables pérdidas debidas a la acción del agua que lo deslava hacia los estratos más profundos. El fósforo que se encuentra en la naturaleza (en las combinaciones más diversas) en el estado mineral, es utilizado prácticamente por las plantas en forma de anhídrido fosfórico. Los abonos fosfáticos desempeñan algunas funciones importantísimas, como el mejoramiento del desarrollo del aparato de las raíces, la lignificación de los tallos, la abreviación del ciclo vegetativo de las plantas. La mayor parte del ácido fosfórico, que proviene de los superfosfatos o de los abonos compuestos es, práctica y rápidamente utilizable por las plantas, pero una gran parte del mismo se vuelve y se fija en el terreno. Tal proceso de fijación resulta, sin embargo, disminuido por la presencia de materia orgánica en el terreno, dado que los ácidos por los cuales está formada disuelven los fosfatos insolubles y los hacen de fácil absorción para las raíces de los cultivos. El potasio, raramente presente en estado libre, se encuentra en forma de sales, de nitratos, cloruros ó carbonatos y es utilizado por las plantas en forma de óxido de potasio. Asume la función de mejoramiento del metabolismo de las plantas, cuyos tejidos se lignifican mejor y se enriquecen con mayor facilidad de azúcares. El potasio es retenido en el terreno, pero tiende a ser deslavado por las aguas. Aun no siendo insoluble, no es siempre fácilmente utilizable por las raíces de las plantas. Los elementos anteriormente citados, deben aplicarse en cantidades proporcionales en el terreno si se quiere que los cultivos den su máximo rendimiento, ya que si alguno de ellos falla, la producción disminuirá en sus proporciones, independientemente de una mayor cantidad de los otros elementos.

**Abonos orgánicos.** El estiércol es sin lugar a dudas el abono más importante. En la horticultura ecológica juega un papel fundamental. Contiene los mismos elementos fertilizantes que los abonos complejos ternarios, es decir, nitrógeno, fósforo y potasio, con diferente tenor según la especie, la edad de los animales que lo han producido, la cantidad de alimento ingerido, la cantidad y hasta la calidad misma de la capa usada. El estiércol está compuesto por la íntima unión y consiguiente putrefacción, de residuos vegetales con deyecciones de animales domésticos. Por su variada composición, por las activas y profundas modificaciones que en él se generan en el periodo de la maduración y por el gran valor agronómico que tiene en el campo físico, químico y biológico, tiene y tendrá siempre la importancia de abono orgánico fundamental. Entre uno de los abonos orgánicos figura la gallinaza, que es el desecho de aves de corral. Este abono es de acción rápida y es el adecuado para la preparación de semilleros y de camas calientes. Dentro de los abonos orgánicos podemos mencionar también a las aguas negras o desechos urbanos, residuos animales como el polvo de hueso desgrasado, harina de hueso, harina de pescado etc., residuos vegetales como pajas, tortas de oleaginosas, orujos de uva, hojas y mantillos orgánicos, entre otros. Para el mantenimiento de la fertilidad y de la estructura del suelo las siguientes cantidades se recomiendan: hasta 20 ton/ha de estiércol de animales mayores; hasta 50 ton/ha de estiércol de animales menores; hasta 20 ton/ha de gallinaza y hasta 50 ton/ha de composta.

La temperatura es el determinante principal para el buen crecimiento de cultivos, cualquier suelo es bueno si el clima es apropiado; los suelos con alto contenido de materia orgánica son los mejores. El estiércol descompuesto o el compost suplementado con fertilizantes minerales es ideal y se recomienda de 20 a 30 ton/ha. El estiércol no se suministra nunca en cantidad menor de 100 ton/ha si se trata del establecimiento de una huerta, y no dejar bajar de 60 ton/ha. Para los cultivos ordinarios que exigen estiércol en la huerta ya establecida. Este fuerte abono mejora también las condiciones físicas del terreno, haciéndolo más asimilable. Casi siempre se dispone de estiércol de vacuno que es más frío que el de caballo. El sector agrícola se está preocupando cada día más en lo que concierne a la implementación de practicas que no impacten al medio ambiente, para promover la calidad y disminuir la degradación del mismo medio ambiente. A través de estudios desarrollados en la identificación de costo beneficio asociado con la aplicación de nitrato de amonio, gallinaza 7 ton/ha, y gallinaza 14 ton/ha en cultivos como lechuga y fresa, producidas bajo condiciones de invernadero, a través de la utilización de la técnica valor presente en red (Net Present Value NPV) que compara los costos beneficios, se obtiene como resultado que la gallinaza en 7 ton/ha como en 14 ton/ha es más redituable que el uso del nitrato de amonio; sin embargo, para las medidas ambientales, recomienda la dosis más baja porque es menor que el valor crítico de 13 ton/ha, que

se considera que causa contaminación del agua según la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (USEPA).

**Biofertilizantes: el género *Azospirillum*.** Aún cuando *Spirillum lipoferum* fue descrito en 1925 por Beijerinck, esta bacteria estuvo olvidada por varias décadas. Son las observaciones de Peña-Cabriales y Döbereiner en 1973, las que iniciarían la época moderna de esta bacteria. Estudios taxonómicos de *S. lipoferum* condujeron a su reclasificación en un género nuevo, *Azospirillum*. Actualmente son reconocidas seis especies en el género *Azospirillum*. Las dos primeras en ser descritas fueron *A. lipoferum* y *A. brasilense*, siendo éstas las más ampliamente estudiadas. Posteriormente fueron descritas las especies *A. amazonense*, *A. halopraeferans*, *A. irakense* y *A. largomobile* siendo el nombre de esta especie corregido a *A. largimobile*.

Pocos años después del redescubrimiento de *Azospirillum* y hasta alrededor de 1993, este género fue el más estudiado entre las bacterias asociadas a plantas. La capacidad de *Azospirillum* para estimular el crecimiento de las plantas y de aumentar el rendimiento de los cereales promovió numerosos estudios sobre la ecología, fisiología y genética de esta bacteria. En la actualidad su uso comercial comienza a extenderse en diferentes países, incluido México.

**Aislamiento.** El aislamiento de las bacterias del género *Azospirillum* resulta en lo general muy simple, ya sea a partir de suelo rizosférico o de la superficie de las raíces (rizoplasma) de numerosas plantas hospederas. También se le aísla del interior de las raíces o tallos de algunas plantas. El medio de cultivo usado por excelencia para el enriquecimiento de las especies de *Azospirillum* ha sido el NFB semigelificado "libre" de nitrógeno y con malato como fuente de carbono. No obstante, en este medio de cultivo son aisladas predominantemente cepas de las especies *A. lipoferum* y *A. brasilense*. El medio NFB con algunas modificaciones en su composición y pH permiten el aislamiento predominante de otras especies de *Azospirillum*. Estos medios son usados frecuentemente para evaluar la actividad reductora de acetileno, como indicativo de la fijación de nitrógeno. El cultivo puro se logra en diferentes medios de laboratorio, siendo muy comúnmente usado un medio adicionado del colorante rojo Congo, en el cual *A. lipoferum* y *A. brasilense* toman un color rojo escarlata que permite la diferenciación de otros géneros bacterianos. Aun cuando el medio denominado BLCR fue diseñado para mejorar el aislamiento de cepas de *Azospirillum brasilense*, su uso no fue aceptado por haberse demostrado que no era apropiado para el estudio de poblaciones naturales de esta bacteria. Posteriormente se observó que la concentración de estreptomycin usada (200 mg/litro) en el medio BLRC era inhibitoria del crecimiento de un gran número de cepas.

Además de los medios y métodos descritos, también existen reportados algunos medios de cultivo y métodos para el crecimiento de *Azospirillum* en cultivo puro y en asociación con plantas, así como para su conservación.

**Identificación.** El género *Azospirillum* pertenece a la subclase alfa de las proteobacterias, siendo *A. lipoferum* la especie tipo. Características útiles en la identificación rutinaria son la forma vibroide, el pleomorfismo y su movilidad en espiral. Las células contienen cantidades elevadas de poli-β-hidroxibutirato (PHB), hasta 50% del peso seco celular, observándose al microscopio las células jóvenes con abundantes gránulos refringentes. En cultivos semigelificados y gelificados con más de 24 h de incubación se presentan frecuentemente células refringentes con forma ovoide y de paredes gruesas similares a quistes. Una de las características fenotípicas más ampliamente usada como criterio para el reconocimiento tentativo del género *Azospirillum* es el color rojo escarlata que toman las colonias (Fig. 4) al crecer en un medio adicionado del colorante rojo Congo. No obstante, en este medio pueden hallarse colonias mutantes de *Azospirillum* de color blanco debido a la incapacidad de producir polisacáridos no identificados.

Diversas pruebas bioquímicas y fisiológicas son utilizadas rutinariamente para el reconocimiento de las especies de *Azospirillum*. Algunas características fenotípicas que contribuyen a diferenciar las especies de *Azospirillum* a nivel género se logra evaluando la capacidad de usar diversos aminoácidos y su efecto sobre la fijación de nitrógeno, recomendándose el uso de la histidina para la caracterización y aislamiento selectivo de la especie *A. lipoferum*. En forma complementaria para la identificación fenotípica de las especies de *Azospirillum* pueden ser usadas diversas técnicas inmunológicas. El uso de la técnica de

ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) permite la identificación y numeración específica de cepas de *Azospirillum*, como fue demostrado con la cepa Cd de *A. brasilense* permitiendo evaluar la capacidad de colonización de esta cepa en plantas inoculadas.

**Distribución.** El género *Azospirillum*, muestra una muy amplia distribución geográfica alrededor del mundo. Aun cuando son más abundantes en las regiones tropicales, también se les encuentra en las regiones templadas, frías y desérticas. En las regiones templadas del sur de Brasil, los Estados Unidos y Kenia la presencia de *Azospirillum* es menor al 10% en las muestras analizadas. El pH del suelo juega un papel importante en la presencia de las especies del género *Azospirillum*. Las especies de *A. brasilense* y *A. lipoferum* se encuentran en mayor abundancia en suelos con valores de pH cercanos a la neutralidad, aun cuando a pH abajo de 5 se les encuentra en forma esporádica y no lográndose su aislamiento de suelos con pH menor a 4.5. Un estudio en el que se evaluaron 23 tipos de suelos con características diferentes mostró que algunos factores abióticos tales como porcentaje de arcilla, contenido de materia orgánica, capacidad de retención de agua y contenido de nitrógeno afectan positivamente la sobrevivencia de *A. brasilense*, en tanto que el tamaño de las partículas de arena y especialmente la alta concentración de carbonato de calcio afectan negativamente la sobrevivencia de esta especie en ausencia de plantas. No obstante, la sobrevivencia de *A. brasilense* en la rizosfera es independiente de la aridez del suelo.

### **Conclusiones**

Nutrir las plantas siempre ha sido un desafío para la Agricultura. Las primeras fuentes de alimento para el cultivo han sido los propios suelos que ofrecen su potencial mineral originado en las rocas madres y su componente orgánico (material que procede de lo vivo), derivado de los seres vivos que en ellos existe. Prácticas como la utilización de biofertilizantes constituyen una oportunidad de desarrollar y expandir el potencial productivo de los suelos y brindar una elevada calidad nutricional a los alimentos, sin agredir el medio ambiente. Se puede producir estos biofertilizantes con elementos que existen en el medio de quien esté plantando.

### **Literatura Citada**

- Bashan, Y. y Holguin, G. 1997 (a). *Azospirillum*-plant relationship: environmental and physiological advances (1990-1996). *Journal Microbiology*. 43: 103-121.
- Bashan, Y. y Holguin G. 1997 (b). Proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol-PGPB (Plant Growth- Promoting Bacteria) and PGPB. *Soil Biology & Biochemistry*. 30: 1225-1228.
- Puente, M. y Bashan, Y. 1993. Effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* strains on germination and seedlings growth of the giant columnar cardon cactus (*Pachycerus pringler*). *Symbiosis*. 15: 49-60.
- Puente, M., Holguin, G., Glick, B. y Bashan Y. 1999. Root-surface colonization of black mangrove seedlings by *Azospirillum halopraeferens* and *Azospirillum brasilense* in seawater. *Microbiol. Ecology*. 29:283-292.
- Rojas, A., Holguin, G., Glick, B. y Bashan, Y. 2001. Synergism between *Phyllobacterium* sp (N<sub>2</sub>-fixer) and *Bacillus licheniformis* (P-solubilizer), both from a semiarid mangrove rhizosphere. *Mycrobiology Ecology*. 1217: 1-7.