

# LA BIOFERTILIZACIÓN COMO TECNOLOGÍA SOSTENIBLE

**Arturo Díaz-Franco**  
**Netzahualcóyotl Mayek-Pérez**  
**(coordinadores)**



Primera edición: 2008

- © Arturo Díaz-Franco, Netzahualcóyotl Mayek-Pérez
- © Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
- © Consejo Tamaulipeco de Ciencia y Tecnología
- © Fondos Mixtos
- © Plaza y Valdés, S.A. de C.V.

Derechos exclusivos de edición reservados  
para Plaza y Valdés, S.A. de C.V. Prohibida  
la reproducción total o parcial por cualquier  
medio sin autorización escrita de los editores.

Plaza y Valdés, S.A. de C.V.  
Manuel María Contreras, 73. Colonia San Rafael  
México, D.F., 06470. Teléfono: 5097 20 70  
editorial@plazayvaldes.com  
www.plazayvaldes.com

Calle de Las Eras 30, B.  
28670, Villaviciosa de Odón.  
Madrid, España. Teléfono: 91665 89 59  
madrid@plazayvaldes.com  
www.plazayvaldes.es

ISBN: 978-970-722-706-4

Impreso en México / *Printed in Mexico*

## Índice

Presentación .....	15
Prólogo .....	17
1. Biotecnología de los hongos micorrízicos arbusculares .....	25
<i>R. Ferrera-Cerrato y A. Alarcón</i>	
2. Micorrización del sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> ): impacto en la productividad en Tamaulipas .....	39
<i>A. Díaz-Franco, I. Garza-Cano, V. Pecina-Quintero y A. Magallanes-Estala</i>	
3. Biofertilización bacteriana del pasto buffel .....	55
<i>C. Loredó-Osti, D. Espinosa, R. Ferrera-Cerrato, J. Castellanos y J. Pérez</i>	
4. Biofertilizantes: micorrizas y bacterias promotoras de crecimiento .....	67
<i>V. Olalde-Portugal y R. Serratos</i>	
5. Labranza y biofertilización como manejo de sostenibilidad en la producción de frijol .....	73
<i>J. R. Salinas-García, A. Díaz-Franco e I. Garza-Cano</i>	
6. Crecimiento y rendimiento de sorgo de grano con biofertilización en el centro de Nuevo León .....	83
<i>J. Martínez-Medina</i>	

7. Biotecnología de los hongos ectomicorrízicos . . . . .	93
<i>J. Pérez-Moreno</i>	
8. Respuesta en campo de la inoculación de simbioses y tratamiento con fungicidas a la semilla en soya ( <i>Glycine max</i> ) . . . . .	111
<i>P. Pérez-García, A. Díaz-Franco y N. Maldonado-Moreno</i>	
9. Biofertilizantes microbianos: antecedentes del programa y resultados de validación en México . . . . .	117
<i>J. F. Aguirre-Medina</i>	
10. Aislamiento, selección, producción y evaluación de un inoculante basado en cepas nativas de <i>Azospirillum</i> en el norte de Tamaulipas . . . . .	137
<i>A. Mendoza-Herrera, M. A. Cruz-Hernández, y C. Jacques-Hernández</i>	
11. Efecto de la biofertilización con <i>Azospirillum brasilense</i> en sorgo y maíz en la región semiárida de Tamaulipas, México . . . . .	153
<i>J. G. García-Olivares, V. R. Moreno-Medina, I. C. Rodríguez-Luna, A. Mendoza-Herrera y N. Mayek-Pérez</i>	
12. Inoculantes microbianos sintéticos: ¿son el futuro? . . . . .	167
<i>Y. Bashan, L. E. de Bashan, J. P. Hernández, M. E. Puente, M. Bacilio y L. A. Leyva</i>	

**Notas Científicas**

1. Respuesta de variedades de cacahuete ( <i>Arachis hypogaea</i> ) a la fertilización química y biológica en un suelo regosol . . . . .	189
<i>A. Durán-Prado, V. López-Galván y O. H. Tosquy-Valle</i>	
2. Respuesta de germoplasma de frijol a la fertilización química y biológica . . . . .	191
<i>A. Durán-Prado, V. López-Galván y J. Cumpián-Gutiérrez</i>	
3. Respuesta de variedades de frijol a la fertilización química y biológica en un suelo fluvisol de Veracruz . . . . .	194
<i>A. Durán-Prado, V. López-Galván y O. H. Tosquy-Valle</i>	

4. Respuesta de variedades de soya a la inoculación con micorriza <i>Glomus intraradices</i> en Veracruz .....	196
<i>A. Durán-Prado, O. H. Tosquy-Valle y V. López-Galván</i>	
5. Efectividad de micorriza arbuscular en genotipos de pasto buffel ( <i>Cenchrus ciliaris</i> ) .....	199
<i>A. Díaz-Franco, I. Garza-Cano y A. Méndez-Rodríguez</i>	
6. Influencia de micorriza arbuscular en el crecimiento y rendimiento de cártamo .....	203
<i>A. Díaz-Franco, A. Ortegón-Morales e I. Garza-Cano</i>	
7. Biofertilización: tecnología sustentable del siglo XXI .....	206
<i>L. Hernández-Flores, J. M. Covarrubias-Ramírez, R. Aveldaño-Salazar y J. J. Peña-Cabriales</i>	
8. Respuesta del maíz y sorgo a la fertilización biológica .....	208
<i>V. Pecina-Quintero, A. Díaz-Franco e I. Garza-Cano</i>	
9. Efecto de la micorriza arbuscular en sorgo bajo dos condiciones de humedad .....	211
<i>V. Pecina-Quintero, A. Díaz-Franco e I. Garza-Cano</i>	
10. Efecto de una composta y ácidos fúlvicos en la producción de lilies ( <i>Lilium</i> sp.) en el sureste de Coahuila .....	214
<i>M. R. Zúñiga-Estrada, J. M. Covarrubias-Ramírez y R. López-Cervantes</i>	
11. Transferencia tecnológica del maíz QPM y el biofertilizante en la Huasteca hidalguense .....	217
<i>J. P. Pérez-Camarillo, G. Zacatenco-González, R. Galván-Parra y R. Aveldaño-Salazar</i>	
12. Producción y evaluación de un biofertilizante ( <i>Azospirillum</i> spp.) para el noreste de México .....	220
<i>J. G. García, A. Mendoza, C. Jacques, A. Cruz y F. Serrano</i>	

13. Respuesta del sorgo a la inoculación de <i>Glomus intraradices</i> en campo .....	222
<i>A. Magallanes-Estala</i>	
14. Rentabilidad del sorgo mediante la inoculación de simbiontes en suelo con y sin fertilización química .....	224
<i>A. Magallanes-Estala, A. Díaz-Franco y V. Olalde-Portugal</i>	
15. Evaluación de biofertilizantes en cártamo .....	227
<i>A. Magallanes-Estala, A. S. Ortegón-Morales y A. Díaz-Franco</i>	
16. Interacción de <i>Azospirillum brasilense</i> , nitrógeno y azúcar en canola de riego bajo labranza convencional y de conservación .....	230
<i>M. Cepeda-Villegas, E. Venegas-González y B. Gómez-Lucatero</i>	
17. Respuesta del maíz al tratamiento con <i>Azospirillum brasilense</i> y nitrógeno bajo labranza de conservación .....	233
<i>M. Cepeda-Villegas y E. Venegas-González</i>	
18. Efecto estimulante de bacterias esporuladas sobre crecimiento y desarrollo del chile jalapeño ( <i>Capsicum annum</i> ) en invernadero y campo .....	236
<i>N. García-Licona, G. Gallegos-Morales, M. Cepeda-Siller y F. D. Hernández-Castillo</i>	
19. Resultados preliminares de la evaluación de biofertilizantes en maíz QPM .....	238
<i>J. E. Cervantes-Martínez</i>	
20. Efecto de biofertilizantes sobre el rendimiento del maíz .....	241
<i>C. A. Reyes-Méndez y M. A. Cantú-Almaguer</i>	
21. Evaluación combinada de inoculantes microbiológicos y fertilizantes químicos en el cultivo de sorgo .....	244
<i>O. M. Carrillo-Rendón, M. E. Salazar-Durán, I. Machuca-Orta y C. Jacques-Hernández</i>	

22. Biofertilización en sorgo de temporal en la zona media de San Luis Potosí .....	246
<i>A. Ramiro-Córdova y C. Jasso-Chaverría</i>	
23. Simbiosis <i>Rhizobium</i> -micorriza arbuscular y uso de brassinoesteroide en frijol .....	249
<i>C. Jasso-Chaverría y M. A. Martínez-Gamiño</i>	
24. Efecto del biofertilizante y la preparación del suelo en la producción de maíz, sorgo y sorgo x Sudán en la zona media potosina .....	251
<i>M. A. Martínez-Gamiño y C. Jasso-Chaverría</i>	
25. Biofertilización por goteo a base de guano en cultivos diversos bajo un sistema hidropónico con producción de tilapia en Xalisco, Nayarit .....	254
<i>A. Betancourt-Vallejo, P. D. Flores-Peña, V. M. González-Velásquez, R. Quezada-Morales, V. Jiménez-García y R. Gómez Aguilar</i>	

**Prólogo.**  
**El uso de inoculantes microbianos como una importante  
contribución al futuro de la agricultura mexicana**

*Yoav Bashan*

*Grupo de Microbiología Ambiental,  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR),  
La Paz, B. C. S. México  
e-mail: bashan@cibnor.mx*

**L**as prácticas de inocular plantas con microorganismos benéficos (bacterias promotoras de crecimiento en plantas) se remontan a siglos atrás. Los campesinos sabían de manera empírica que una forma de mejorar las cosechas era mezclar el suelo que quedaba de cosechas anteriores de leguminosas con suelo en el cual no habían crecido leguminosas. A finales del siglo XIX, la práctica de mezclar suelos inoculados “de manera natural” con semillas, se convirtió en un método recomendado para inocular legumbres en Estados Unidos. Una década después, se registró la primera patente (Nitragin) para inocular plantas con *Rhizobium* sp. Con el tiempo, inocular leguminosas con rizobias se convirtió en una práctica común en países desarrollados. En los años treinta y cuarenta principalmente, la inoculación con bacterias rizosféricas no simbióticas y asociativas, tales como la fijadora de nitrógeno *Azotobacter*, o como la solubilizadora de fosfatos *Bacillus megaterium* fue utilizada a gran escala en Rusia y Europa del Este. Sin embargo, estas prácticas no dieron resultados conclusivos y fueron abandonadas durante la Segunda Guerra Mundial. Por casi 100 años se han venido produciendo alrededor del mundo inoculantes de



*Rhizobium*, producidos particularmente por compañías pequeñas. Algunas leguminosas, tales como la soya en Brasil, solamente se inoculan, no se fertilizan con nitrógeno. En la mayoría de países en desarrollo de Asia, África, Centroamérica y Suramérica, y en México, la tecnología de los inoculantes no ha tenido mayor impacto en la productividad de las granjas familiares, debido en gran parte a que no se utilizan inoculantes o los que se usan son de baja calidad. Solo en años muy recientes se ha iniciado la inoculación semi-comercial a gran escala con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y bacterias promotoras de crecimiento en plantas (BPCP) del género *Azospirillum*, principalmente en el noreste mexicano y Argentina. Aunque se han investigado otras especies bacterianas, éstas raras veces han alcanzado las prácticas agrícolas. Los dos descubrimientos más importantes para la tecnología de inoculación de plantas se dieron a finales de los años 70: por un lado, se encontró que *Azospirillum* mejoraba el crecimiento de plantas no leguminosas, afectando directamente el metabolismo de la planta. Por otra parte, se iniciaron estudios intensivos en bacterias como agentes de control biológico de plagas, principalmente *Pseudomonas fluorescens* y *P. putida*. En años recientes han sido evaluados varios géneros de BPCP tales como *Bacillus*, *Flavobacterium*, varios microorganismos relacionados con *Azospirillum* y bacterias endófitas tales como *Gluconobacter*. Aunque los inoculantes de *Rhizobium* han estado en el mercado por cerca de un siglo, sólo recientemente han aparecido las primeras preparaciones comerciales de BPCP y HMA. Se reconoce que los productos biológicos han tenido una penetración menos espectacular que los pesticidas químicos en el mercado. Se han hecho grandes promesas que no han llenado las expectativas del mercado. La respuesta inmediata a la inoculación del suelo con BPCP varía considerablemente, dependiendo del tipo de bacteria, especies de plantas, tipo de suelo, densidad del inoculante y condiciones ambientales. En general, poco después de que la bacteria ha sido introducida en el suelo, su población declina progresivamente. Este fenómeno (aunado a la producción de biomasa bacteriana y al estado fisiológico de la bacteria en el inoculante) puede impedir la acumulación en la rizósfera de una población de BPCP lo suficientemente grande para obtener una respuesta positiva en la planta. El principal obstáculo es el hecho de que el suelo es un ambiente heterogéneo e impredecible, donde en muchos casos las bacterias inoculadas no pueden encontrar un nicho vacío donde puedan sobrevivir, con excepción de suelos esterilizados, condición que no existe en agricultura a gran escala. Estas bacterias deben competir con una microflora nativa a menudo mejor adaptada y afrontar la predación por protozoarios. En este sentido, el inoculante proporciona a la bacteria introducida un microambiente más apropiado (aun temporalmente), que evita la rápida disminución de la población bacteriana una vez inoculada en el suelo. El primer objetivo a tomar en cuenta cuando se considera la inoculación con bacterias

benéficas, es encontrar la mejor bacteria o el mejor HMA disponible. Como siguiente paso es necesario estudiar la formulación específica del inoculante. En términos prácticos, la formulación escogida determina el éxito potencial del inoculante. Muchas bacterias que han sido reportadas en la literatura científica como potenciales bacterias benéficas nunca han aparecido en el mercado comercial, tal vez debido a una formulación inapropiada o a que no hay real éxito en los experimentos intensivos de campo, necesarios para establecer el valor práctico real de cada inoculante. La optimización técnica de una formulación del inoculante es independiente de la cepa bacteriana usada, debido a que la mayoría de las cepas de la misma especie bacteriana o del HMA comparten muchas propiedades fisiológicas. Puede asumirse que un proceso tecnológico desarrollado para una cepa específica es fácilmente adaptable a otra cepa de la misma especie, solo con modificaciones menores. Este principio normalmente no puede aplicarse en el caso de diferentes géneros bacterianos. Aparte de esta regla de oro, las combinaciones cepa-formulación deben ser mejoradas en los casos de preparaciones que se sabe causan estrés a la bacteria, tales como formulaciones en polvo o líquidas. Formulaciones avanzadas de hongos micorrízicos son aún más complicadas, debido a la necesidad de mantener en la formulación también el material vegetal necesario para estos hongos. Hoy en día, las “formulaciones” usadas en México son simplistas (raíces y suelos de plantas colonizadas por HMA). Las fábricas productoras de inoculantes están localizadas en la mayoría de los casos en países desarrollados donde ya existe el mercado para éstos; por tal razón, a menudo no son tomados en consideración los problemas de aplicar estos inoculantes en países en desarrollo, ya que éstos representan sólo una pequeña porción del mercado. En la actualidad, ha habido una producción nacional de inoculantes (INIFAP) apoyada inicialmente por el gobierno mexicano y ahora por productores o gobiernos estatales, que está disponible a mayor escala para los agricultores a lo largo del país. A pesar de este positivo desarrollo, la aplicación a gran escala de inoculantes microbianos encara serias dificultades en la mayoría de países en desarrollo, incluido México. Las prácticas agrícolas en países en desarrollo o bajo condiciones semiáridas son dos ejemplos en los cuales los inoculantes bacterianos pueden encontrar sus mayores retos. En los países en desarrollo se practica principalmente una agricultura de bajo consumo, en la cual son escasos los fertilizantes, pesticidas y la tecnología agrícola. Los recursos financieros de un agricultor, dentro de un sistema de agricultura familiar, son pocos y el acceso al financiamiento por parte de los bancos es limitado. Por ejemplo, cerca del 80% de la tierra cultivable en México pertenece, es rentada o trabajada por familias pobres. Muchos agricultores trabajan sólo parcialmente en labores agrícolas, recibiendo un salario diario o un porcentaje de la cosecha. Las granjas familiares en los países en desarrollo producen cosechas a menudo escasas y mucho más pequeñas

que aquellas que pueden obtenerse bajo condiciones experimentales. En estos casos, es irrelevante si la respuesta a la inoculación bacteriana puede demostrarse bajo condiciones óptimas en estaciones experimentales, ya que los resultados tienen poca aplicabilidad en la agricultura de subsistencia. Naturalmente, la agricultura de subsistencia no tiene los recursos económicos para invertir en técnicas agrícolas mejoradas. La inoculación artificial con microorganismos particulares requiere de infraestructura para almacenar y transportar los productos biológicos en grandes cantidades a las áreas rurales, y esta infraestructura no existe. En países en desarrollo, aun los productores más ricos carecen del conocimiento suficiente de las técnicas agrícolas modernas o experimentales. Los servicios gubernamentales de extensión y la educación formal de los productores son generalmente insuficientes. La mayoría de los agricultores tienden a practicar métodos tradicionales o a copiar métodos desarrollados en países más avanzados sin estar conscientes de las deficiencias de tales prácticas en su región particular o sin conocer su “costo” ambiental. Más aún, en la mayoría de los casos, los fertilizantes son demasiado caros o el valor de la cosecha no justifica su costo. En lugares donde hay disponibilidad de fertilizantes, es común la sobre-fertilización, una práctica que puede contaminar los depósitos de agua subterránea, produciendo riesgos para la salud de las poblaciones circundantes y alterando el medio ambiente local. La contribución de este tipo de agricultura al suministro mundial de alimentos permanece muy por debajo de su potencial agronómico. El uso de inoculantes microbianos en estas áreas es prácticamente desconocido, excepto por rizobia, el cual fue introducido por varios gobiernos en el pasado. Cuando se propone a los productores reemplazar los fertilizantes de nitrógeno disponibles por inoculantes de rizobia, muchos de ellos son renuentes a hacerlo por miedo a reducir la fertilidad del suelo. A excepción de la soya, los inoculantes han tenido muy poco impacto en la producción de leguminosas en los países en desarrollo. Una dificultad adicional es que en muchos países en desarrollo no hay industrias de inoculantes (como es el caso de Centroamérica), lo cual hace aún más difícil la popularización del concepto. Finalmente, en muchas áreas rurales en países en desarrollo hay una renuencia básica a usar bacterias y hongos como microorganismos benéficos: en estas culturas rurales los microbios están asociados con enfermedades humanas y de animales.

En condiciones semiáridas la supervivencia de las bacterias introducidas es difícil, aun en países desarrollados como Israel, Australia, Estados Unidos, o en el noreste de México, donde la inoculación con HMA y *Azospirillum* ha comenzado a tomar fuerza sólo en años recientes. Las condiciones ambientales adversas, incluyendo sequías frecuentes, falta de suficiente irrigación, alta salinidad y erosión del suelo, pueden disminuir rápidamente la población de cualquier especie bacteriana introducida en el suelo, a menos que se tomen las precauciones necesarias para

## PRÓLOGO

seleccionar el inoculante adecuado y proveer irrigación simultánea con la inoculación. La agricultura en zonas semiáridas de países en desarrollo es un desafío mayor para la tecnología de inoculación, y en términos tecnológicos, parece destinada a fracasar. Sin embargo, en este tipo de agricultura las BPCP y los HMA pueden tener una importante contribución en caso de que puedan desarrollarse inoculantes baratos y de fácil uso. Así, las bacterias inoculadas estarían sujetas a pocos (si hay alguno), de los efectos secundarios de los pesticidas. Con una instrucción apropiada, el productor de pequeñas parcelas familiares podría aplicar los inoculantes en el tiempo justo y en las dosis exactas. Puesto que en cualquier caso las cosechas son pocas, cualquier mejoramiento tendrá mayor efecto que en la agricultura desarrollada, donde las plantas ya han crecido casi a su máximo potencial genético. Finalmente, la mayor parte de la agricultura mundial está localizada en países en desarrollo, aunque su productividad es en la actualidad sólo una pequeña fracción de la de países desarrollados. Con algún tipo de ayuda financiera, mejorando la educación agrícola y con una mejor transferencia de información (medios como el internet están ampliamente disponibles aun en zonas rurales de México), estos agricultores a pequeña escala son clientes potenciales para la tecnología microbiana, ya que los inoculantes microbianos pueden ser producidos y comercializados a bajo costo. Comparado con el suministro de químicos, el impacto de los inoculantes microbianos en el mercado agrario es muy bajo. Sin embargo, hoy en día la industria agroquímica está favorablemente dispuesta hacia el concepto de inoculantes bacterianos. Existe un genuino interés en desarrollar productos bacterianos que sean confiables, baratos y que puedan actuar como complemento a los químicos que existen actualmente en el mercado (el presente libro documenta tales esfuerzos en México). La investigación y los intentos de utilizar en campo las BPCP en la última década han abierto nuevos horizontes para la industria mexicana de inoculantes. Sin embargo, es incierta aún la respuesta a este desafío por parte del sector industrial. Son muchas las dificultades en el camino del desarrollo de un inoculante aceptable en México. Aunque muchos investigadores a través del país rutinariamente aíslan bacterias antagonistas a un fitopatógeno, o encuentran bacterias que aumentan el desarrollo radicular, los métodos para identificar la mejor bacteria para estas tareas son aún rudimentarios; adicionalmente, la rizocompetencia, característica necesaria para que una potencial bacteria benéfica sobreviva y funcione en su nuevo ambiente, es raramente estudiada. Un desafío adicional es el desarrollar acarreadores mejorados que proporcionen consistentemente un mayor número de bacterias y propágulos de HMA (las unidades de dispersión usadas para la inoculación) bajo condiciones de campo, que tengan un prolongado tiempo de almacenamiento, que proporcionen a la bacteria protección contra el ambiente en el suelo, que sean de fácil uso y costo atractivo. Hoy en México, la mayoría de inoculantes se utilizan en

leguminosas y en menor extensión para cereales y forraje; este último ha venido ganando importancia en el noreste mexicano.

El mercado para la inoculación de cereales y leguminosas en México dicta que el inoculante debe ser lo más barato posible. El costo de desarrollar un nuevo material para inocular, aun a partir de materias primas disponibles en grandes cantidades en el país, tales como el alginato, rápidamente pone los precios fuera del rango práctico para este tipo de agricultura. Sin embargo, hay varios mercados especializados de alto valor tales como cultivos de flores, frutas y vegetales orgánicos, donde el uso de químicos es indeseable o difícil debido a las restricciones por parte de los consumidores. Los cultivos de invernadero también son un objetivo importante para los inoculantes comerciales. Estos cultivos se desarrollan en suelos desinfectados, o aún sin suelo, y con altos costos de insumos, por lo que el costo de la inoculación adicional no sería una carga económica inaceptable para el productor. Al mismo tiempo, este tipo de cultivos evita todas las dificultades que se originan de la interacción de los inoculantes con el suelo. Estos mercados, si se desarrollan apropiadamente, pueden representar una oportunidad para nuevos inoculantes de BPCP y HMA en el país. Durante el siglo pasado, se produjeron formulaciones de acarreadores de turba para rizobia efectivos y aceptados en todo el mundo (México incluido), sin embargo, su desarrollo ha alcanzado casi su límite. Los acarreadores sintéticos, transferidos de conceptos experimentales a inoculantes comerciales, ofrecen un mayor potencial y flexibilidad para la industria de la inoculación. Si bien es cierto que la industria es aún renuente al desarrollo de este tipo de acarreadores, debido a que en las prácticas agrícolas contemporáneas los inoculantes sintéticos con frecuencia son demasiado costosos para el cultivo objetivo, la biorremediación de contaminantes podría sostener el desarrollo de tales inoculantes avanzados. Muchos tipos de formas encapsuladas de microorganismos se han desarrollado para su uso en la biorremediación. Muchos proyectos de este tipo son financiados por los gobiernos de países en desarrollo o por grandes industrias contaminantes en países desarrollados, los dos con muchos más recursos que un agricultor individual. A pesar del alto costo, los inoculantes más eficientes indudablemente serán usados en procesos de biorremediación, especialmente en emergencias. Los resultados de estos estudios pueden proporcionar nuevos materiales para inoculación y formulaciones con un reducido costo de desarrollo, para su uso en agricultura. Hay una confusión entre los términos “inoculantes microbianos” (común en la literatura científica), y “biofertilizante” (común en los círculos agrícolas). El “inoculante microbiano” es una formulación que contiene una o más cepas (o especies) de bacterias benéficas en un acarreador (orgánico, inorgánico o sintético) de fácil uso y económico. El inoculante es el medio de transporte bacteriano desde la fábrica hasta la planta. Los efectos deseados del inoculante en el crecimiento de la planta

## PRÓLOGO

pueden incluir fijar nitrógeno en leguminosas, actuar como agentes de biocontrol de (principalmente) enfermedades transmitidas en el suelo, mejorar la absorción de nutrientes, intemperizar minerales en el suelo y producir hormonas que mejoren el crecimiento de la planta en general. En algunos países, los procedimientos para registrar un inoculante bacteriano pueden ser largos y costosos. El “biofertilizante” —un término equivocado pero ampliamente utilizado, que significa “inoculante bacteriano”— se refiere a preparaciones de microorganismo(s) que pueden ser un sustituto parcial o total para la fertilización química (tales como los inoculantes de rizobia). Sin embargo, en estos fertilizantes no se tiene en cuenta si hay otros efectos bacteriales en el crecimiento de la planta. La razón por la cual se utiliza el término “fertilizante” es que en algunos países esto facilita su registro para uso comercial. En mi opinión, dicho término (aunque es apropiado para rizobias y HMA) debería ser abandonado. Desde una perspectiva realista, deberíamos aceptar que en el futuro cercano los químicos continuarán dominando el mercado. Debe esperarse sólo un modesto y gradual aumento en el uso de inoculantes. La agricultura en países en desarrollo es definitivamente la mayor promotora de inoculantes microbianos que sean “ambientalmente amistosos”. No obstante, en México debe ponerse especial atención a las necesidades y restricciones de los pequeños agricultores que necesitan formulaciones de fácil uso y baratas. A corto y mediano plazo, la investigación debería enfocarse en el desarrollo de inoculantes sintéticos de mejor calidad y más económicos, sosteniendo al mismo tiempo la producción de inoculantes de turba para la agricultura.

*La biofertilización como tecnología sostenible*  
se terminó de imprimir en febrero de 2008.  
Tiraje: mil ejemplares.