

## Reseña

# EFECTO DE LA INTEGRACIÓN DE APLICACIONES AGRÍCOLAS DE BIOFERTILIZANTES Y FERTILIZANTES MINERALES SOBRE LAS RELACIONES SUELO-PLANTA

R. Martínez-Viera<sup>✉</sup>, B. Dibut y Yoania Ríos

**ABSTRACT.** The irrational chemical level reached by agriculture all over the world constitutes one of the main causes for the high environmental contamination in the planet, whose characteristics are described in the present paper. Therefore, the application of new biotechnologies is being imposed at present, such as biofertilizers, with the objective of adapting them to the sustainable development of the poorest locations in the planet, besides taking advantages of their benefits, to place the mineral fertilizers in its right position. Agricultural sustainability includes the rational use of agrochemicals integrated with biological elements. To reach this aim, a theoretical framework is required with new assumptions that permit to establish commitments adapted to the current situation, looking for more productivity and quality of the agricultural products. On the other hand, the present work also analyzes the need of integrating the biological and technical approaches, which are developing in agricultural sciences, with those derived from social sciences, for instance, the Political Ecology, that analyzes the relationships between economical and political power to manage natural resources, and the approach oriented to actors to get integrated into interdisciplinary and multiple scale researches.

*Key words:* biofertilizers, mineral nutrients, agricultural chemicals, nitrogen fixation, plant soil relations

**RESUMEN.** El irracional nivel de quimización que ha alcanzado la agricultura mundial constituye una de las causas de la elevada contaminación que sufre el ambiente en todo el planeta, cuyas características se describen en el trabajo. Por esta razón, hoy se está imponiendo el redimensionamiento del empleo de las biotecnologías y, entre ellas, los biofertilizantes, con el objetivo de adaptarlas al desarrollo sustentable de las localidades más pobres y necesitadas del planeta, y aprovechar los beneficios de su aplicación para situar a los fertilizantes minerales en su justo lugar. La sustentabilidad agrícola incluye los insumos industriales, pero utilizados de forma racional e integrados con elementos biológicos. Para lograr este fin, se requiere de un marco teórico y de supuestos nuevos, que permitan establecer compromisos adaptados a la situación actual, en la búsqueda de mayor productividad y calidad de los productos agrícolas. Por otra parte, se analiza la necesidad de integrar los enfoques biológicos e ingenieriles que están comenzando a desarrollarse en las ciencias agrícolas, con los procedentes de las ciencias sociales, tales como la Ecología Política, que analiza las relaciones de poder económico y político en el manejo de los recursos naturales, y el enfoque orientado a los actores para integrarlos a investigaciones interdisciplinarias y a escalas múltiples.

*Palabras clave:* biofertilizantes, nutrientes minerales, productos químicos agrícolas, fijación del nitrógeno, relaciones planta-suelo

## INTRODUCCIÓN

La producción agrícola en el mundo se ha desarrollado, durante más de 150 años, guiada por paradigmas que alcanzaron su etapa culminante cuando surgió la Revolución Verde y asumen que la totalidad, o al menos una parte importante, de

las limitaciones del agroecosistema puede ser eliminada mediante la aplicación de distintas clases y cantidades de insumos externos. De esta manera, la Revolución Verde logró incrementar los rendimientos agrícolas y cubrir gran parte de las necesidades alimentarias, sobre todo en los países desarrollados; sin embargo, las bases insostenibles de su concepción y la elevada contaminación química en alimentos, suelos, aguas y medioambiente, en general, cuestionaron el sistema como medio para garantizar la vida en el planeta que habitamos (1, 2, 3).

En el presente trabajo se ofrecen argumentaciones, para demostrar la necesidad de crear nuevas bases paradigmáticas, que permitan reflexionar y actuar para lograr el desarrollo de una agricultura, capaz de garantizar las necesidades alimentarias de la población en nuestros países, sin afectar la salud ambiental. Se pone como ejemplo la necesidad de manejar las actividades, que participan en las interacciones suelo-planta como un todo, para ponerlas en función de mejorar la fertilidad del suelo y, con ello, la productividad agrícola (4, 5, 6), ya que es precisamente en el estudio de las relaciones suelo-planta que

Dr.Sc. R. Martínez-Viera, Investigador Titular; Dr.Sc. B. Dibut, Investigador Auxiliar y M.Sc. Yoania Ríos, Investigadora Agregada del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT), calle 2 esq. a 1, Santiago de las Vegas, Ciudad de La Habana, CP 17200.

✉ viviana.martinez@infomed.sld.cu

existe un gran número de conocimientos no integrados, lo que no ha permitido la manifestación de los supuestos beneficios que se esperaban con la aplicación práctica de estos conocimientos.

## PROBLEMAS DERIVADOS DE LA APLICACIÓN IRRACIONAL DE FERTILIZANTES MINERALES

Las consecuencias de la quimización en la agricultura han sido nefastas para el ambiente, por la elevada contaminación causada por el uso irracional de fertilizantes y plaguicidas, que puede causar graves daños en la salud del hombre y los animales. Sin tomar en consideración a los plaguicidas industriales, por no estar relacionados con el tema que nos ocupa, el impacto ambiental causado por el uso excesivo de fertilizantes minerales puede resumirse de la siguiente manera:

1. Su fabricación produce emisiones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{NO}_2$  a la atmósfera, lo cual contribuye a incrementar los problemas con la capa de ozono (7).
2. Su aplicación excesiva en el campo da lugar al lavado de nitratos y a emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{NH}_3$ , especialmente a partir de urea, con la consiguiente contaminación de todos los factores del agroecosistema (7, 8). La abundancia de compuestos nitrogenados en los mantos acuíferos, como consecuencia del lavado, hace que en todos los reservorios donde van a desembocar estas corrientes subterráneas se produzca el efecto llamado eutricación, que consiste en el crecimiento anormal de microorganismos, que agotan el oxígeno disuelto en el agua y producen la muerte masiva de peces y otros organismos acuáticos. Estos graves problemas de contaminación se han puesto ya de manifiesto en algunos de los ríos más caudalosos del mundo, como el Mississippi en EE.UU. y el Yang Tse en China, en cuyas desembocaduras se aprecia una notable carencia de

flora y fauna. Hay que tomar en cuenta que en las aguas afectadas por la eutricación se estimula el desarrollo de *Pfiesteria*, un organismo que mata a los peces y es dañino para el hombre (8, 9, 10).

3. Son muy numerosos los informes que indican la presencia de altos niveles de nitratos en los productos agrícolas, lo que constituye una importante fuente de toxicidad para el hombre y ha obligado a un establecimiento más riguroso del control de los niveles críticos de estos compuestos en las actividades de comercialización de los alimentos.

Pero, además de la contaminación, el incremento en el uso de los fertilizantes nitrogenados ha estado acompañado por un aumento exponencial en el consumo de formas no renovables de energía, las cuales se han convertido en un factor limitante para lograr aumentos de los rendimientos agrícolas. Se necesitan aproximadamente 1.3 t de combustible, para fijar 1 t de nitrógeno atmosférico con alta presión y temperatura por el proceso industrial de Haber-Bosch. Los 77 millones de toneladas anuales que se aplicaron en el mundo en el 2002, como fertilizante nitrogenado, requirieron de 100 millones de toneladas de combustible para su fabricación, lo que correspondió al 1.2 % de todo el combustible consumido en el planeta (11). Esta insostenibilidad se acrecienta si se toma en cuenta que en el 2020 deben aplicarse 130 millones de toneladas de fertilizante nitrogenado solo para la producción de cereales, de acuerdo con proyecciones realizadas (1), para cuya fabricación se necesitarán 169 millones de toneladas de petróleo, lo que reduciría a un ritmo alarmante las reservas conocidas en el mundo.

Por otra parte, hay que tomar en cuenta la insostenibilidad económica del uso exclusivo de fertilizantes minerales, cuyos elevados precios los hacen inaccesibles para las mayorías campesinas de los países subdesarrollados.

Desde otro punto de vista, el aumento en el uso de los fertilizantes nitrogenados se ha aproximado con gran rapidez al límite, en el que no

se logran incrementos del rendimiento proporcionales a su aplicación; así, en el Estado de Georgia (EE.UU.), se informó que el rendimiento de los cultivos se cuadruplicó entre las décadas del 70 y el 80, mientras que las aplicaciones de nitrógeno crecieron 11 veces (12). Un análisis de los rendimientos del arroz en Filipinas, Indonesia y Tailandia mostró que declinaban, a pesar de los incrementos de fertilizante nitrogenado (13). En Chile, el trigo recibió 62 % más de fertilizante entre 1985 y 1990, en comparación con la década anterior, pero los rendimientos aumentaron solo 3.1 % (14).

## EL PAPEL DE LOS BIOFERTILIZANTES EN LA AGRICULTURA MUNDIAL

De todo lo que se ha expuesto anteriormente, se deduce que la producción industrial de fertilizantes no puede satisfacer las necesidades de alimentos de una población mundial en creciente aumento, sobre todo cuando el exceso de las aplicaciones conduce a contaminar el agua de beber, a la eutricación de los reservorios de agua y a las emisiones de óxido de nitrógeno a la atmósfera, además del incremento considerable de la utilización de fuentes de energía no renovables. Por esta razón, hoy se está imponiendo en la agricultura mundial el redimensionamiento del uso de las biotecnologías y, entre ellas, los biofertilizantes, con el objetivo de adaptarlas al desarrollo sustentable de las localidades más pobres y necesitadas del planeta, de manera que se ayude a solucionar la problemática productiva del campesino pobre y lograr que este adquiera una mayor independencia y seguridad.

La sustentabilidad de los sistemas agrícolas a largo plazo debe fomentar el uso y manejo efectivo de los recursos internos de los agroecosistemas. Entre estos recursos, la biota del suelo realiza una serie de funciones que son esenciales para la integridad y productividad de los sistemas agrícolas, por lo que constituye una

fracción primordial de la biodiversidad terrestre. La composición de esta biota puede ser manipulada, casi siempre de forma temporal, para mantener e incrementar la productividad de un suelo (13).

En este sentido, los biofertilizantes y bioestimuladores microbianos representan un componente vital de los sistemas sustentables, ya que constituyen un medio económicamente atractivo y ecológicamente aceptable, para reducir los insumos externos y mejorar la cantidad y calidad de los recursos internos, mediante la utilización de microorganismos del suelo debidamente seleccionados, capaces de aportar a los cultivos el nitrógeno fijado de la atmósfera, el fósforo transformado a partir del que está fijado en el suelo y las sustancias fisiológicamente activas que, al interactuar con la planta, desencadenan una mayor activación del metabolismo vegetal (15, 16, 17).

A modo de ejemplo, los resultados científicos de los últimos 30 años han revolucionado el conocimiento sobre la fijación biológica de nitrógeno. Solamente sobre la simbiosis *Rhizobium-leguminosas*, se han publicado más de 5 000 trabajos desde 1990. Sin embargo, muy pocos de estos conocimientos se están utilizando en la práctica agrícola de nuestros países, para incrementar los rendimientos y reducir los costos de la producción agrícola. Esto se debe a que el paradigma que domina hoy en las relaciones suelo-planta se concentra en los procesos exógenos del suelo y pone mucha menos atención a los procesos endógenos, que deben ser mejor conocidos y utilizados más extensamente.

Los biofertilizantes y bioestimuladores microbianos pueden definirse como productos a base de microorganismos, que viven normalmente en el suelo, aunque en poblaciones bajas, y que al incrementar sus poblaciones por medio de la inoculación artificial, son capaces de poner a disposición de las plantas, mediante su actividad biológica, una parte importante de los nutrientes que necesitan para su desarrollo, así

como suministrar sustancias hormonales promotoras del crecimiento. La importancia de estos bioproductos radica en su capacidad para suplementar o movilizar nutrientes con un mínimo uso de recursos no renovables; además, tienen la ventaja de que los procesos microbianos son rápidos y los biopreparados pueden aplicarse en pequeñas unidades, para solucionar problemas locales específicos (5, 17, 18, 19, 20, 21, 22).

En general, el uso de los biofertilizantes microbianos en los sistemas productivos es una alternativa viable y de gran importancia, para lograr un desarrollo agrícola ecológicamente sustentable, ya que permite una producción de bajo costo, no contamina el ambiente y mantiene la conservación del suelo desde el punto de vista de la fertilidad y biodiversidad (23, 24).

A pesar de su inocuidad, el uso masivo de los inoculantes microbianos ha despertado algunas preocupaciones, acerca del posible impacto ecológico de la liberación de estos microorganismos en el medio ambiente, especialmente cuando ha existido una manipulación genética previa. La evaluación de dicho posible impacto es muy difícil, debido a limitaciones de tipo técnico que impiden hasta el momento determinar si la alteración de algún parámetro medioambiental, como consecuencia del uso de inoculantes, puede afectar de forma negativa el equilibrio futuro de los ecosistemas del suelo (25).

De todas maneras, en las condiciones tropicales de Cuba y en diversos cultivos, se ha demostrado que las poblaciones de *Azotobacter chroococcum*, que después de la inoculación alcanzaron niveles de  $10^9$  células.g<sup>-1</sup> de suelo rizosférico, recuperan su nivel natural ( $10^4$ - $10^5$ ) en un período máximo de cuatro meses, según el cultivo. Es decir, que no hay una contaminación a largo plazo, debido al empobrecimiento de las secreciones radiculares, por el envejecimiento de las plantas y al antagonismo de otras poblaciones microbianas del suelo (26).

## INTEGRACIÓN EN EL USO DE FERTILIZANTES MINERALES Y BIOFERTILIZANTES

Lo que se ha expresado aquí no quiere decir que la nueva agricultura del siglo XXI deba tener una orientación anti-productos industriales, ni que no deban aplicarse insumos externos. La sustentabilidad agrícola incluye los insumos industriales, pero utilizados de forma racional e integrados con elementos biológicos. Es decir, que el papel preponderante que se les concede actualmente a los fertilizantes minerales debe cambiar en el futuro. Para lograr esto se requiere de un marco teórico y de supuestos nuevos, que permitan establecer, por parte de los científicos, compromisos adaptados a la situación actual, tomando en cuenta que cada día se impone con más fuerza el carácter holístico de la investigación-producción agropecuaria, en la búsqueda de una mayor productividad y calidad de los productos agrícolas (12).

Por otra parte, se ha demostrado que los cultivos toman menos del 50 % del nitrógeno aplicado; el restante es inmovilizado por los microorganismos del suelo en forma de nitrógeno orgánico, que se utiliza lentamente o se pierde del suelo a través de emisiones gaseosas de las formas nitrogenadas, así como por el lavado de los nitratos al manto freático, lo que causa la contaminación del agua. Por esta razón, las prácticas de uso excesivo del fertilizante nitrogenado en los países desarrollados y subdesarrollados es totalmente insostenible, tanto desde el punto de vista económico como ambiental.

Hoy, a pesar de que no están todavía conciliados los conceptos e intereses para adoptar globalmente un sistema sostenible de producción en toda su extensión, se han logrado destacados avances en lo que puede llamarse período de transición, habiéndose adquirido conciencia de la necesidad de subsistir y desarrollarse a partir de fuentes naturales cada vez más degradadas y que necesitan ser mejoradas, incluido el clima y un componente social que exige el cambio.

Como ejemplo, ya en algunos países se aplican nuevas concepciones en el control integrado de plagas, el cual se contempla no solo como un medio para combatir las plagas y enfermedades con el menor uso de agroquímicos, sino también como un punto de entrada para lograr un manejo más comprensivo del agroecosistema, utilizando otras múltiples funciones naturales que actúan en sinergia con los esfuerzos para lograr los controles y permiten incrementar la producción agrícola (2).

En relación con lo expuesto, hoy es común en muchos países, especialmente en aquellos en vías de desarrollo, el debate sobre la agricultura corporativa agrotóxica, propia del paradigma reduccionista de la Revolución Verde, y el papel que este tipo de agricultura ha jugado en el desarrollo social, económico y ambiental. A partir de estos debates, se han generado propuestas interesantes, por ejemplo, la visión holística y sistémica de la salud agrícola integral, definida como la salud primaria no solo de las plantas y los animales, sino también la salud del suelo, el agua, el aire, el ser humano y la estrecha interrelación entre cada uno de estos factores, incorporando principios de la ciencia agroecológica, que promuevan agroecosistemas sustentables y la participación popular en el diseño y la ejecución de proyectos de salud agrícola integral (19, 25, 27).

Pero todavía hay que introducir una racionalidad ecológica en la agricultura de América Latina, para minimizar el uso de agroquímicos y transgénicos, cada vez más utilizados en nuestros países, integrar los programas de conservación de agua, suelo y biodiversidad, planificar el paisaje productivo en función de las potencialidades del suelo y el clima de cada región, y potenciar el papel multifuncional de la agricultura como generadora de ingresos, alimentos, y servicios ambientales y culturales (22).

Para lograr esto, hay que integrar los enfoques biológicos e ingenieriles que están comenzando a desarrollarse en las ciencias agrícolas con los procedentes de las ciencias sociales, tales como la Ecología Política, que

analiza las relaciones del poder económico y político en el manejo de los recursos naturales, y el enfoque orientado a los actores para integrarlos en investigaciones interdisciplinarias y a escalas múltiples, aceptando que las percepciones sobre ambientes y medios de vida significan visiones y construcciones sociales diferentes para los distintos actores. Es decir, que para desarrollar una agricultura sustentable, hay que tomar en cuenta las exigencias sociales, económicas y políticas que ilustran las necesidades, para crear una sociedad sustentable. Resulta inconcebible estimular los cambios ecológicos del sector agrícola, sin apoyar los cambios similares en todas las demás áreas interrelacionadas de la sociedad (8, 28).

Es así como los movimientos y las organizaciones sociales de base, junto a miembros de la comunidad científica y estados sensibilizados, enarbolan hoy banderas que promueven la conservación y preservación de todos los componentes naturales de los agroecosistemas, apoyándose en distintas áreas del conocimiento, de tal manera que puedan construirse nuevos paradigmas que respondan a las realidades actuales (21).

## **BENEFICIOS ECONÓMICOS DERIVADOS DE LA SUSTITUCIÓN DE LOS FERTILIZANTES MINERALES POR BIOFERTILIZANTES**

De acuerdo con datos internacionales (22), en lo que se refiere a las superficies en las que se aplican biofertilizantes, se deduce que en Australia se realiza en el 100 % de la superficie agrícola. En la India existen 69 fábricas de biofertilizantes que se aplican sobre leguminosas, oleaginosas, arroz y gramíneas, en general, hortalizas y otros cultivos que incluyen viveros forestales; en 1995 se aplicaron en ese país 1 107 t de inoculantes a base de *Rhizobium* y *Bradyrhizobium*. En China se inoculan 6 millones de hectáreas de soya, 2.3 millones de maní y 1 millón de no leguminosas. Entre los impactos de la Biotecnología en Cuba, se

encuentra la disminución en el uso de fertilizantes minerales, que han sido sustituidos por los biológicos. En el país se utilizan hoy 11 veces menos fertilizantes minerales que en los años 90, lo que constituye un ejemplo de años de labor y resultados del trabajo científico (29).

Como ejemplo de los beneficios económicos que pueden lograrse con la aplicación efectiva de biofertilizantes y bioestimuladores, puede hablarse de la fijación de nitrógeno atmosférico en la caña de azúcar en Brasil, donde hay 2.5 millones de hectáreas dedicadas a este cultivo. Si se calcula un modesto rendimiento promedio de 70 t.ha<sup>-1</sup> y 10 % de materia seca con un contenido de 1.4 % de N, del cual 15 % procede de la fijación atmosférica por las bacterias que viven normalmente en el suelo y las endofíticas, resultará que en la superficie cañera de Brasil se fijarán unas 43 000 t de N, que representan un ahorro no menor de 20 millones de USD. Esta fijación es natural y gratuita, y demuestra que todos los incrementos en los aportes de N que puedan lograrse por la aplicación efectiva de los biofertilizantes, tienen un elevado valor económico (7, 30).

En Brasil, considerando el rendimiento promedio que se obtiene en soya sobre una superficie de 13 millones de hectáreas, que asciende a 2 400 kg.ha<sup>-1</sup> y tiene un contenido de N en los granos de 6.5 %, puede decirse que se exportan anualmente del sistema suelo-planta 169 kg.ha<sup>-1</sup> del elemento. Si se asume que en los residuos del cultivo se encuentran 60 kg.ha<sup>-1</sup> de N, puede concluirse que la soya acumula anualmente 230 kg.ha<sup>-1</sup> del nutriente, sin aplicar fertilizante. De estos resultados se deduce que la fijación biológica del nitrógeno, solo en el caso de la soya, le representa a Brasil una economía de fertilizante equivalente a 1 500 millones de USD (31).

Por último, para que se aprecien los grandes beneficios económicos que pueden obtenerse con la aplicación de biofertilizantes a base de bacterias fijadoras del nitrógeno atmosférico, en un cálculo global se ha informado que una ganancia de solo el 10 % de

N por los cultivos, mediante la fijación biológica anual, si ocurriera en todas las áreas cultivadas del mundo, tendría un valor de 3 billones de USD (20).

## REFERENCIAS

1. Dobermann, A. Site-specific nutrient management for intensive rice cropping systems in Asia. *Field Crop Res.*, 2004, vol. 74, p. 37-66.
2. Palm, C.; Swift, M. y Barois, I. Un enfoque integrado para el manejo biológico de los suelos. En: *Memorias del XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Varadero*. 2001.
3. Wardle, D. A. Communities and Ecosystems: Linking the Aboveground and Belowground Components. Princeton University Press. 2003, 320 p.
4. Dazzo, F. B. y Yanni, Y. G. The Natural Rhizobium-Cereal Crop Association as an Example of Plant-Bacteria Interaction. En: *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*. Boca Ratón : Taylor and Francis. Ed. 2006, p. 109-128.
5. Gregory, P. J. Roots, rhizosphere and soil: the route to a better understanding of soil science?. *European Journal of Soil Science*, 2006, vol. 57, no. 1, p. 2-20.
6. Sanjuan, J., Herrera-Cervera, S. A., Rodríguez-Alonso, A. I. y Olivares, J. Transformación genética en el suelo y biodiversidad. Disponible en: <<http://nostoc.usal.es/sefin/sanjuan.html>>.
7. Brown, L. R. Facing food insecurity. State of the World. Earthscan Publications Ltd. Londres. 1994, p. 110-131.
8. Altieri, M. A. Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo : Ed. Nordan-Comunidad. 1999, 325 p.
9. Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. Ecological impacts of modern agriculture in the United States and Latin America. En: *Globalization and the Rural Environment*. 2000, p. 121-135.
10. Liu, X., Li, L. y Zhang, F. Rhizosphere management as part of intercropping and rice-wheat rotation systems. En: *Biological approaches to sustainable soil systems*. Boca Ratón : Taylor and Francis Ed. 2006, p. 559-574.
11. Odum, L. P. Input management of production systems. *Science*, 1989, vol. 243, p. 177-182.
12. Martínez-Viera, R.; López, M.; Brossard, M.; Tejeda, G.; Pereira, H.; Parra, C. y Rodríguez, J. Procedimientos para el estudio y fabricación de biofertilizantes bacterianos. *INIA*, 2007, no. 11, p. 88.
13. Habte, M. The roles of arbuscular mycorrhizas in plant and soil health. En: *Biological approaches to sustainable soil systems*. Boca Ratón : Taylor and Francis Ed. 2006, p. 129-147.
14. Altieri, M. A. y Rojas, A. Ecological impacts of Chile's neoliberal policies, with special emphasis in agroecosystems. *Environment, Development and Sustainability*, 1999, vol. 1, p. 55-72.
15. Bauer, T. Microorganismos fijadores de nitrógeno. (<http://www.microbiologia.com/nf/suelo/rhizobium.html>). 2004.
16. Boddey, R. M.; Alves, B. J. R.; Reis, V. M. y Urquiaga, S. Biological nitrogen fixation in agroecosystems and in plant roots. En: *Biological approaches to sustainable soil systems*. Boca Ratón : Taylor and Francis Ed. 2006, p. 177-190.
17. Chaturvedi, I. Effects of phosphorus levels alone or in combination with phosphate-solubilizing bacteria and farmyard manure on growth, yield and nutrient up-take of wheat (*Triticum aestivum*). *J. of Agric. and Social Sciences*, 2006, vol. 2, no. 2, p. 96-100.
18. Hinsinger, P.; Gobran, G. R.; Gregory, P. J. y Wennel, W. W. Rhizosphere geometry and heterogeneity arising from root-mediated physical and chemical processes. *New Phytologist*, 2005, vol. 168, p. 293-303.
19. Kamilova, F.; Kravchenko, L. V.; Shaposhnikov, A. I.; Azarova, T.; Makarova, N. y Lugtenberg, B. J. J. Organic acids, sugars and L-tryptophane in exudates of vegetables growing on stonewool and their effects on activities of rhizosphere bacteria. *Mol. Plant Microbe Interact*, 2006, vol. 19, p. 250-256.
20. Kannaiyan, J. Inoculant production in developing countries. Problems, potentials and succes. En: *Maximising the use of biological nitrogen fixation in agriculture*, La Haya : Kluwer Academic Press. 2005, p. 187-198.
21. Khalid, A.; Arshad, M. y Zahir, Z. A. Screening plant growth-promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. *J. Appl. Microbiol.*, 2004, vol. 96, p. 473-480.
22. Martínez-Viera, R.; López, M.; Dibut, B.; Parra, C. y Rodríguez, J. La fijación biológica del nitrógeno atmosférico en condiciones tropicales. Caracas : Ed. MAT. 2007, 172 p.
23. Sánchez, P. A. y M Swaminathan, S. Cutting world hunger in half. *Science*, 2005, vol. 307, p. 357-359.
24. Turner, B. L.; Frossard, E. y Oberson, A. Enhancing phosphorus availability in low-fertility soils. En: *Biological approaches to sustainable soil systems*. Boca Ratón : Taylor and Francis Ed. 2006, p. 191-205.
25. Ratnadass, A., Michelon, R., Randriamanantsoa, R. y Seguy, L. Effects of soil and plant management on crop pests and diseases. En: *Biological approaches to sustainable soil systems*. Boca Ratón : Taylor and Francis Ed. 2006, p. 589-602.
26. Martínez-Viera, R. y Dibut, B. Practical applications of bacterial biofertilizers and biostimulators. En: *Biological approaches to sustainable soil systems*. Nueva York : Francis and Taylor Publ. 2006, p. 467-477.
27. Kandeler, E.; Marschner, P.; Tschirko, D.; Gahoonia, T. S. y Nielsen, N. E. Microbial community composition and functional diversity in the rhizosphere of maize. *Plant and Soil*, 2002, vol. 283, p. 301-312.
28. Méndez, V. E. y Gliessman, S. R. Un enfoque interdisciplinario para la investigación en agroecología y desarrollo rural en el trópico latinoamericano. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 2004, vol. 64, p. 5-16.
29. Borroto, C. Palabras de inauguración del Congreso Biotecnología Habana. (<http://www.prensalatina.com.mx/print.asp?ID>). 2005.
30. Vélez, L. D. El paradigma científico de las ciencias agrarias: una reflexión. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 2005, vol. 57, no. 1, p. 2145-2160.
31. Uphoff, N. Opportunities for overcoming productivity constraints with biologically-based approaches. En: *Biological approaches to sustainable soil systems*. Boca Ratón : Taylor and Francis Ed. 2006, p. 693-713.

Recibido: 10 de julio de 2009

Aceptado: 26 de mayo de 2010