

## Reseña

# UTILIZACIÓN DE NUEVOS PARADIGMAS QUE PERMITAN PROFUNDIZAR LOS CONOCIMIENTOS SOBRE LAS RELACIONES SUELO-PLANTA EN CONDICIONES TROPICALES

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

**ABSTRACT.** This work presents an outline to demonstrate the need of creating new paradigmatic bases that allow developing a more productive agriculture, optimizing soil-plant relationships without affecting the environmental health. Therefore, it is necessary to make up the new biological and technical approaches of agricultural sciences with those coming from social sciences. It is concluded that to develop a sustainable agriculture, the social, economic and political demands that enable to create a sustainable society should be taken into account. Current paradigms leading soil-plant relationships assume that agroecosystem restrictions can be removed just by applying different kinds of external inputs; they are concentrated on soil exogenous processes and leave behind the endogenous ones, and do not consider plants as organisms with their own abilities and strategies to grow and survive in close relationship with effective soil biological processes. At present, interrelationships existing with the ecological, socioeconomic and cultural contexts, where productive processes settle down, are not considered, so it is wrongly concluded that the knowledge and technologies can be applied in the same way everywhere. So that to solve the current serious feeding troubles, a qualitative jump represented by paradigmatic changes must be made, that allow to assume new commitments, setting down the interdisciplinary nature and systemic approach on research, education, technological transfer and agricultural practice.

*Key words:* alternative agriculture, plant soil relations, biota, soil, biofertilizers

**RESUMEN.** El presente trabajo ofrece argumentaciones para demostrar la necesidad de crear nuevas bases paradigmáticas, que permitan garantizar el desarrollo de una agricultura más productiva, optimizando las relaciones suelo-planta sin afectar la salud ambiental. Para ello, se hace necesario integrar los nuevos enfoques biológicos y técnicos de las ciencias agrícolas con los procedentes de las ciencias sociales y se concluye que para desarrollar una agricultura sustentable hay que tener en cuenta las exigencias sociales, económicas y políticas que conducen a crear una sociedad sustentable. Los paradigmas actuales que orientan las relaciones suelo-planta asumen que las limitaciones de los agroecosistemas pueden ser eliminadas solamente con la aplicación de distintas clases de insumos externos, se concentran en los procesos exógenos del suelo y olvidan los endógenos, y no consideran a las plantas como organismos con sus propias capacidades y estrategias para crecer y sobrevivir en estrecha relación con los procesos biológicos efectivos del suelo. Hoy no se consideran las interrelaciones que existen con los contextos ecológicos, socioeconómicos y culturales, donde se establecen los procesos productivos y se concluye falsamente que los conocimientos y las tecnologías pueden ser aplicados de la misma manera en cualquier lugar. Es por ello que para resolver los graves problemas alimentarios que hoy existen, debe darse un salto cualitativo representado por cambios paradigmáticos, que permitan asumir los nuevos compromisos, estableciéndose la interdisciplinariedad y el enfoque sistémico en la investigación, docencia, transferencia tecnológica y práctica agrícola.

*Palabras clave:* agricultura alternativa, relaciones planta suelo, biota, suelo, biofertilizantes

## INTRODUCCIÓN

Los paradigmas son caminos del pensamiento que organizan ideas y evidencias. Ellos privilegian algunos factores y explicaciones sobre otros,

Dr.C. R. Martínez-Viera y Dr.C. B. Dibut, Investigadores Titulares del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT), calle 2 esquina a 1, Santiago de las Vegas, Ciudad de La Habana, Cuba.

✉ viviana.martinez@infomed.sld.cu

mientras que dejan a algunos fuera de consideración, y tratan de ofrecer aclaraciones y predicciones simples y coherentes que hacen más comprensibles y accionables algunas realidades complejas, por lo que son importantes como guías para el pensamiento y la acción. Aunque son inmateriales por ser ideas, tienen impactos muy concretos sobre el hombre, ya que influyen sobre las decisiones (1).

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. Hoy existen por lo menos 850 millones de personas que están aún subalimentadas, a pesar de las superproducciones que se logran aplicando los principios de la Revolución Verde (2).

Los actuales paradigmas pueden considerarse como reduccionistas y asumen la investigación y operación de cada factor que interviene en el proceso productivo aislándolo de los demás, lo que no permite afrontar la problemática y las demandas que actualmente exige la población del planeta, ni pueden proporcionar las respuestas que se reclaman (3). Por esta razón, se requiere de un marco teórico y supuestos nuevos, que permitan comprender la evidencia empírica y establecer nuevos compromisos por parte de la ciencia, 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.

En el presente trabajo se ofrecen argumentaciones, para demostrar la necesidad de crear nuevas bases paradigmáticas en el estudio de las relaciones suelo-planta, que permitan reflexionar y actuar para ponerlas en función de mejorar la fertilidad del suelo y, con ello, la productividad agrícola. Se ha escogido este tema porque es precisamente en el estudio de las relaciones suelo-planta que 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.

## **NECESIDAD DE NUEVOS PARADIGMAS PARA OPTIMIZAR LAS RELACIONES SUELO-PLANTA**

Se plantea que el desarrollo de la agricultura hasta el presente se ha basado en la generalización del concepto "factor limitante", que postula que siempre habrá un factor limitante dominante, que debe ser mejorado mediante la aplicación de insumos externos (3). Luego de ser superada esta limitación, por ejemplo, mediante la aplicación de nitrógeno, los rendimientos pueden elevarse hasta que un nuevo factor se torne limitante y requiera también de otro insumo externo para ser superado, como es el caso de la aplicación de productos industriales para combatir los daños causados por las plagas y enfermedades, y así sucesivamente, generándose una espiral de aplicación de insumos.

La creciente utilización de insumos externos puede ejemplificarse con el caso del fertilizante nitrogenado. El incremento de su aplicación en la última década se debe al notable consumo de los países asiáticos, especialmente China, que tiene un promedio de aplicación de  $180 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , aunque en las áreas irrigadas del noroeste el promedio es de  $450 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  para la rotación trigo/maíz, lo cual ha originado la presencia de niveles de nitratos superiores a  $300 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  en suelos y aguas (4).

La presentación de estos ejemplos como muestra de la irracionalidad de los actuales paradigmas que, por otra parte, no siempre fueron irracionales, no quiere decir que la nueva agricultura del siglo XXI deba tener una orientación en la que no deban aplicarse insumos externos. La sustentabilidad agrícola incluye los insumos industriales, pero utilizados de una forma racional e integrada con elementos biológicos. Es decir, que el papel preponderante que se les concede actualmente debe cambiar en el futuro.

En general, en los paradigmas actuales las interrelaciones entre los

factores del proceso productivo se consideran lineales y constantes o se desconocen; tampoco son consideradas como básicas las interrelaciones entre el proceso productivo y los contextos ecológicos, socioeconómicos y culturales donde se establecen dichos procesos, lo cual permite concluir falsamente que los conocimientos y la tecnología pueden ser aplicados de la misma manera en cualquier lugar.

Por ejemplo, existen poderosas empresas transnacionales que exportan por toda América inoculantes rizobianos para las leguminosas, pero no toman en cuenta las grandes superficies agrícolas con suelos ácidos o con otros factores que afectan el establecimiento de las cepas importadas y, en consecuencia, fracasa la inoculación y los agricultores pierden su dinero sin recibir ningún beneficio. En estos casos, se impone el aislamiento y la selección de cepas microbianas adaptadas a estas difíciles condiciones, lográndose la mayor efectividad cuando se pone el potencial científico en función de la regionalización de las cepas de acuerdo con la variabilidad edafoclimática, pero eso todavía se practica en muy pocos lugares, debido a que aún se aplican de forma esquemática las tecnologías agrícolas disponibles, que incluso muchas veces son impuestas desde afuera.

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. La necesidad de conceder la importancia debida a estos últimos procesos se fortalece en momentos en que aumentan los costos de los insumos derivados de la petroquímica y se profundiza el conocimiento de su influencia negativa sobre el ambiente.

Hoy, a pesar de que no están todavía conciliados los conceptos e intereses para adoptar sistemas sostenibles de producción en todas las latitudes, se han logrado destacados avances en lo que puede lla-

marse período de transición, y se está adquiriendo conciencia de la necesidad de subsistir y desarrollarse a partir de fuentes naturales cada vez más degradadas y que necesitan ser mejoradas, incluidos el clima y un componente social que exige el cambio. Así, tradicionalmente se ha dado la mayor importancia a las características físicas y químicas de los suelos, mientras que el conocimiento de las características biológicas se mantuvo siempre en un nivel muy bajo, a pesar de que se conoce que la capacidad interna de los suelos derivada del funcionamiento de distintas poblaciones microbianas y de la micro y mesofauna muestran beneficios productivos a corto y mediano plazos.

Por esta razón, se impone el surgimiento de paradigmas alternativos encaminados a conocer y aplicar las relaciones suelo-planta con una orientación más biológica. Hoy se está en capacidad de utilizar los profundos conocimientos que se han adquirido en microbiología y ecología, integrándolos en el campo de la ecología microbiana, obteniéndose además efectos sinérgicos si se integra a ella todo lo que se conoce sobre biología molecular de las plantas (5).

De esta integración en el ámbito teórico se deriva el desarrollo de nuevos procesos biotecnológicos, con importantes salidas desde el punto de vista productivo, lo cual contribuirá en gran medida a fortalecer las bases conceptuales y de aplicación agrotecnológica de los bioproductos, que en la actualidad presentan esta debilidad, si se comparan con el basamento teórico-práctico con que ha contado el desarrollo de los agroquímicos.

Estas nuevas concepciones comenzaron a ser tratadas en la literatura científica a partir de 1994, cuando el profesor Pedro Sánchez presentó un segundo paradigma en el XV Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo en México, que dice: "Confiar más en los procesos biológicos adaptando germoplasma a las condiciones adversas del suelo, estimu-

lar la actividad biológica del suelo y optimizar el ciclo de nutrientes minimizando las aplicaciones externas y maximizando la eficiencia de su uso" (6). Pero antes de que ese paradigma fuera expuesto, ya en Cuba se estaban aplicando estas concepciones en la práctica agrícola del país desde la década de los años 80.

El segundo paradigma ofrece oportunidades productivas en su propia concepción. En lugar de ver a las plantas desde una perspectiva tecnocrática, como "máquinas vivas" diseñadas con ciertas especificaciones y creciendo gracias a la acción de aplicaciones planificadas, como implica el primer paradigma, este mira las plantas como organismos con sus propias capacidades y estrategias para crecer y sobrevivir (7, 8).

De acuerdo con esto, las plantas no pueden ser tratadas como especímenes aislados que crecen separadamente del resto de la naturaleza, sino como seres vivos que existen en interdependencia con otros organismos y que son afectadas positiva o negativamente por las condiciones edafoclimáticas. Las plantas permiten cubrir las necesidades de la biota del suelo y, a su vez, reciben los beneficios de esta, en lo que respecta al suministro de nutrientes y a los resultados de sus actividades como parte del complejo energético del suelo.

A partir de su presentación en 1994, se fue acumulando conocimiento y práctica para dar forma y articular este segundo paradigma, el cual tiene una aplicación para la pequeña y la gran agricultura, para los agricultores ricos y pobres. Naturalmente, los beneficios que pueden lograrse con este paradigma tardarán en manifestarse, debido a la falta de cultura científica que existe entre los productores, para conocer el papel de la biota edáfica en el aumento de la fertilidad del suelo, que constituye un medio continuamente variable en el que viven y se desarrollan gran número de seres vivos macroscópicos y microscópicos, cada uno de los cuales influye marcadamente sobre los demás,

estableciéndose un equilibrio muy dinámico. En general, la actividad biológica de los suelos es muy intensa, aunque el papel que puede desempeñar en el incremento de la productividad no ha sido aún debidamente apreciado.

Se hace necesario decir que este nuevo paradigma no está en contra de las aplicaciones exógenas, sino de su utilización irracional. Hay que evaluar cuidadosamente el impacto de los insumos exógenos sobre los procesos endógenos y determinar el punto en que estos impactos dejan de ser positivos y se convierten en negativos. Por ejemplo, se conoce que la aplicación de fertilizante nitrogenado inhibe la fijación de  $N_2$  atmosférico por los microorganismos, pero que este proceso biológico no satisface totalmente las necesidades de nitrógeno de las plantas. Por esta razón, hay que determinar el nivel máximo de fertilizante que puede aplicarse, sin que se ocasione este efecto negativo, lo cual no puede lograrse sin la integración de ambos procesos para obtener una óptima productividad.

Hoy está adquiriendo cada vez mayor fuerza la concepción de que 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 (9).

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 nitrógeno a los cultivos fijado de la atmósfera, fósforo transformado a partir del que está fijado en el suelo y sustancias fisiológicamente activas que, al interactuar con la planta, desencadenan una mayor activación del metabolismo vegetal (10, 11).

En general, el uso de 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. En Cuba, durante el llamado Período Especial originado por el bloqueo de Estados Unidos, se fabricaron unos 13 220 000 L de productos líquidos y 81 ton de productos en polvo entre 1991 y 1996, con los cuales se trataron más de 763 000 ha con gran efectividad (12). A pesar de estos beneficios, en la medida en que se fue saliendo del Período Especial y volvieron a adquirirse los agroquímicos, las cantidades que se utilizaron de biofertilizantes fueron reduciéndose, lo cual confirma lo que se ha expuesto en renglones anteriores, sobre la falta de empeño para sacarle el mayor provecho a la biota edáfica.

De forma parecida influyen las nuevas concepciones en las relaciones suelo-planta sobre el control de las plagas. Ya en algunos países se aplican nuevos puntos de vista en el control integrado, lo cual se contempla no solo como un medio de combatir las plagas y enfermedades con menor uso de agroquímicos, sino también como 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 que permiten incrementar la producción agrícola (13, 14).

En relación con esto y especialmente en los países subdesarrollados, hoy es común 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 tales como la visión holística y sistémica de la salud agrícola integral, definida como la salud primaria no solo de las plantas y los animales, sino referida también a la del suelo, agua, 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.

Pero todavía hay que realizar muchos esfuerzos, para introducir una racionalidad ecológica en la agricultura de América Latina, que permita minimizar el uso de agroquímicos, cada vez más utilizados en nuestros países, integrar los programas de conservación de agua, suelo y biodiversidad, y planificar el paisaje productivo en función de las potencialidades del suelo y clima de cada región.

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, incluidos el clima y un componente social que exige el cambio.

La mayor parte de las biotecnologías que se han desarrollado para mejorar la actividad biológica en las relaciones suelo-planta no están siendo utilizadas todavía a gran escala, debido a una serie de prejuicios basados en la inconsistencia de los resultados de las condiciones de clima templado, donde se ha realizado la mayor parte de las investigaciones que generan las publicaciones más importantes y de más amplia divulgación. Pero estos prejuicios no

se justifican en las condiciones tropicales, con temperaturas constantemente favorables y una alta fijación de carbono, que alcanza hasta los 20 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> (15), lo que garantiza la presencia de altas poblaciones de microorganismos en la zona rizosférica y filosfera de las plantas.

En general, se han generado grandes contradicciones entre los resultados logrados con la aplicación de los bioproductos en condiciones templadas y tropicales, lo que ha sido manejado de forma negativa por los grandes monopolios que fabrican y distribuyen los productos agroquímicos, con el fin de aplazar lo más posible su introducción a gran escala.

De acuerdo con lo expuesto en párrafos anteriores, el uso de productos biológicos constituye una necesidad económica y ecológica. Puede decirse que se está viviendo el momento internacional más favorable para el desarrollo de investigaciones básicas y aplicadas sobre microorganismos con características como biofertilizantes, bioestimuladores o biocontroles y su utilización creciente. En un gran número de países, se trabaja actualmente para incrementar los niveles de aplicación con notable éxito y los beneficios económicos que se obtienen con la generalización de las nuevas tecnologías se van aproximando con rapidez a las potencialidades que han sido calculadas anteriormente.

Para lograr esto, hay que integrar los enfoques biológicos y técnicos que se están desarrollando 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 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 ne-

cesidades 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 (16, 17).

Es así como los movimientos y las organizaciones sociales de base, junto a los 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.

## REFERENCIAS

1. Kuhn, T. La estructura de las revoluciones científicas. Santa Fé de Bogotá: Fondo de Cultura Económica, 1998. 319 p.
2. Sánchez, P.A. y Swaminathan, M. S. Cutting world hunger in half. *Science*, 2005, no. 307, p. 357-359.
3. Vélez, L. D. El paradigma científico de las ciencias agrarias: una reflexión. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 2004, vol. 57, no. 1, p. 2145-2160.
4. 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. 559-574 p.
5. Wardle, D. A. *Communities and Ecosystems: Linking the Above-ground and Belowground Components*. Princeton University Press, 2003. 320 p.
6. Sánchez, P. A. Tropical soil fertility research towards the second paradigm. En: *Transactions of the 15<sup>th</sup> World Congress of Soil Science*, Acapulco, México, 1994. 65-68 p.
7. Clapperton, M. J.; Chan, K. Y. y Larney, F. J. Managing the soil habitat for enhanced biological fertility. En: *Soil Biological Fertility: A Key to Sustainable Land Use in Agriculture*. Kluwer Ed., Boston, 2003. 245-271 p.
8. 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. 693-713 p.
9. Palm, Ch.; 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.
10. Burdman, S.; Jarkevicht, E. y Okón, Y. Recent advances in the use of PGPR in Agriculture. En: *Microbial Interactions in Agriculture and Forestry*. Plymouth: Science Publishers Inc. 2000. 29-250 p.
11. Bauer, T. Microorganismos fijadores de nitrógeno. (Consultado: 2004). Disponible en: (<http://www.microbiologia.com/nf/suelo/rhizobium.html>).
12. Martínez-Viera, R. Utilización de los biofertilizantes durante el Período Especial en Cuba. Tesis Doctoral de Segundo Grado, La Habana, 2008. 96 p.
13. Copping, L. G. y Menn, J. J. Biopesticides: a review of their action, applications and efficiency. *Pest Management Science*, 2000, vol. 56, p. 651-676.
14. 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. 589-602 p.
15. Debinstein, J. A. *Tropical Rain Forest*. Nueva York: John Wiley and sons Ed., 1970. 230 p.
16. Altieri, M. A. *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Montevideo: Ed. Nordan-Comunidad. 1999. 325 p.
17. 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*, 2003, vol. 64, p. 5-16.

Recibido: 11 de julio de 2008

Aceptado: 24 de junio de 2009