

Atomos para una agricultura sostenible: Enriquecimiento de los suelos cultivables

Examen de cómo las técnicas nucleares e isotópicas ayudan a encontrar formas de mejorar los suelos deficientes y sostener la producción agrícola del mundo

por
Christian Hera

La tierra representa un escaso 29% de la superficie total del planeta, y sin embargo, proporciona alrededor del 98% de sus alimentos. En su mayor parte no es muy fértil: sólo el 11% se caracteriza por una alta fertilidad, mientras el 28% es moderadamente fértil y el 61%, poco fértil.

Al mismo tiempo, en la mayoría de los países en desarrollo, las prácticas de gestión de los suelos, los nutrientes, los cultivos y los recursos hídricos son muy deficientes. La minería, por ejemplo, ocasiona el deterioro del suelo, lo cual es tan peligroso como cualquier otra forma de degradación ambiental. Esta es una de las razones de que la protección de los nutrientes y el agua sea una preocupación central en muchas partes del mundo, sobre todo en los países en desarrollo.

Es imprescindible adoptar medidas para reducir al mínimo el empobrecimiento de los suelos y reponer los nutrientes. Muchas organizaciones están cada vez más interesadas en la creación de un sistema integrado de nutrición de plantas basado en el concepto fundamental de mantener y posiblemente aumentar la fertilidad de los suelos, para sustentar la producción agrícola mediante una mejor utilización de todas las posibles fuentes de nutrientes de las plantas. Este enfoque es viable desde los puntos de vista ecológico, social y económico.

Las técnicas nucleares y las isotópicas conexas son una parte importante de esas soluciones agrícolas. Normalmente se utilizan como complemento de técnicas convencionales o clásicas en la investigación agrícola y proporcionan una información que no se puede obtener por otros métodos. En el presente artículo se examina la forma en que las técnicas nucleares se han utilizado y se siguen utilizando en la investigación de los suelos y los cultivos, uso este que se ha visto estimulado en gran medida por los esfuerzos conjuntos del OIEA y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Desde 1964 ambas organizaciones han ejecutado programas por conducto de la División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura, con sede en el OIEA en Viena.

El Sr. Hera es Jefe de la Sección de Fertilidad de Suelos, Riego y Producción Agrícola de la División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura.

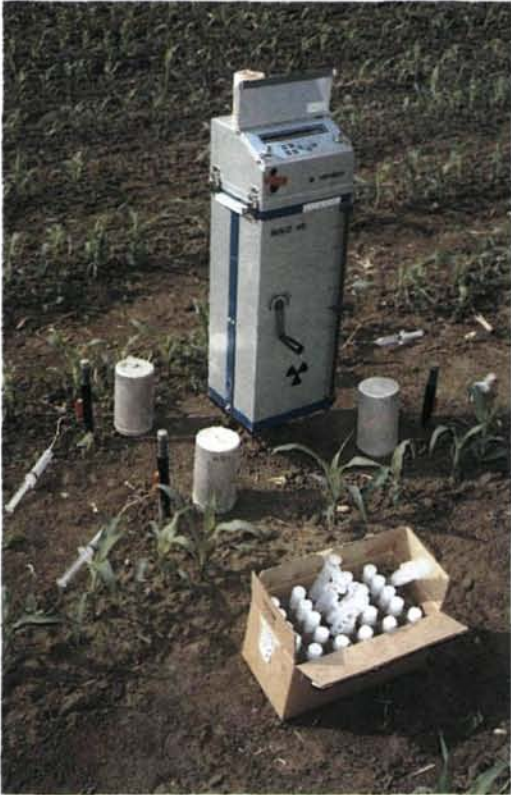
Perspectiva histórica

Las investigaciones con isótopos datan de 1923 y los trabajos de G.V. Hevesy, que marcaron el comienzo de la aplicación de isótopos en las investigaciones de los suelos y los cultivos. Unos 35 años después, en 1959, el recién creado OIEA otorgó los primeros contratos de investigación al Japón y la República Federal de Alemania a fin de apoyar los estudios sobre la eficacia del uso de fertilizantes. A partir de 1962, los contratistas de investigaciones de países en desarrollo y los contratados de países desarrollados se integraron por medio de los programas coordinados de investigación (PCI) del OIEA. Los dos primeros PCI iniciados por el OIEA fueron también en la esfera de la fertilidad de los suelos y se centraron en la aplicación de isótopos en la fertilización del arroz (1962-1968) y el suministro de nutrientes a las plantas y el desplazamiento de éstos en los sistemas de suelos (1962-1968).

Desde entonces se han realizado decenas de PCI. En total, durante los tres últimos decenios, la Sección de Fertilidad de Suelos, Riego y Producción Agrícola de la División Mixta ha tenido a su cargo los aspectos técnicos de 29 PCI. Una buena parte de las investigaciones fue inspiración de algunos de los principales edafólogos del mundo, entre ellos Mac Fried, quien fue el primer Director de la División Mixta FAO/OIEA, y Hans Broeshard, quien dirigió el Laboratorio Agrícola de Seibersdorf. Sus esfuerzos iniciales dejaron su impronta en los edafólogos de todo el mundo.

Desde el comienzo mismo, el uso de los isótopos y las técnicas conexas resultó ser en extremo útil para elevar la eficacia de los fertilizantes y optimizar la nutrición de las plantas, además de toda una amplia gama de otras aplicaciones. Por ejemplo, la utilización de un isótopo para marcar un nutriente en un fertilizante o en el suelo es un método directo de valor incalculable para diferenciar las cantidades de nutrientes que las plantas absorben de cada fuente.

Estudios de fertilizantes. En los 30 últimos años, mediante actividades de la División Mixta, el uso de las técnicas isotópicas se ha dirigido mayormente a estudios sobre la eficiencia de los fertilizantes en los principales cultivos de cereales comestibles, como el arroz, el maíz y el trigo. Los objetivos fundamentales han sido obtener un rendimiento mayor y más estable de los cereales, elevando al



De izquierda a derecha a partir de arriba: Humedímetro neutrónico utilizado para medir el contenido de agua de los suelos; el Director General del OIEA, Dr. Hans Blix (el primero de la izquierda) y el Director General de la FAO, J. Diouf (en el centro) encabezan un grupo de participantes en la Conferencia General del OIEA que reciben información del autor sobre el empleo de técnicas nucleares y conexas en los estudios sobre suelos y cultivos; la Dra. Helga Axman, de la Dependencia de Edafología FAO/OIEA con participantes en un curso de capacitación regional celebrado en Ghana; participantes en un curso de capacitación regional celebrado en 1995 en Bangkok, sobre el uso de los isótopos en las relaciones suelo/planta. (Cortesía: C. Hera, OIEA)



máximo la absorción de nutrientes de los fertilizantes aplicados y otras fuentes, y reducir al propio tiempo los posibles efectos nocivos para el medio ambiente. Por ejemplo, fertilizantes marcados con nitrógeno 15 se han aplicado a un cultivo en diferentes formas (fuente, oportunidad, colocación) para determinar y medir su absorción. Esa investigación ayudó a los científicos a determinar los métodos de aplicación de fertilizantes más eficientes para diferentes suelos y condiciones climáticas.

Una de las cuestiones abordadas en el primer programa de fertilización del arroz (1962-1968) fue la eficiencia relativa de las diferentes fuentes de nitrógeno cuando se aplicaban en la superficie o se incorporaban a los cinco centímetros de suelo más próximos a la superficie. En cinco países se realizaron experimentos sobre el terreno en los que se utilizó nitrato de amonio y sus dos componentes principales se marcaron con nitrógeno 15. Los resultados demostraron con toda claridad cuál componente era la fuente de nitrógeno más eficaz para los arrozales y cómo debía aplicarse. La mayor absorción de nitrógeno se obtuvo cuando el amoniaco se incorporó bajo la superficie. La colocación no tuvo un efecto notable en la utilización del nitrato.

Un PCI que logró un éxito rotundo estuvo relacionado con la fertilización del maíz, y en él participaron ocho países. El objetivo de los estudios era analizar las mejores formas de aplicar el fertilizante en los terrenos, en comparación con el método clásico de siembra al voleo sobre la superficie del suelo, seguida de la aradura. Se utilizaron fertilizantes marcados con nitrógeno 15 y fósforo 32. Los resultados llevaron a la conclusión de que los agricultores deberían dividir las cantidades de fertilizantes que utilizaban y aplicarlos en diferentes formas (denominadas aplicación en bandas) y en diferentes momentos del ciclo de cultivo.

Los resultados se pusieron en práctica en Rumania. Se instalaron en las sembradoras dispositivos especiales para aplicar el fertilizante en el momento de la siembra, y se dotó a los cultivadores para la lucha contra las malas hierbas de dispositivos para aplicarlo en el período vegetativo. Esta experiencia se utilizó en la producción de maíz en dos millones de hectáreas. En un plazo de 6 años se logró un aumento medio del rendimiento de 0,62 toneladas por hectárea, en comparación con los rendimientos obtenidos con el método clásico de aplicación de fertilizantes.

La inversión para adaptarse al nuevo método representa sólo el 5% del valor total del aumento del rendimiento que puede obtenerse anualmente. Las ventajas de este método son aún mayores cuando se toma en cuenta que se elimina el trabajo adicional y los posibles efectos negativos conexos sobre el suelo que entraña la aplicación de fertilizantes clásica.

Nitrógeno de la atmósfera

A pesar de que en la atmósfera abunda el nitrógeno (78% del total de gases), el mismo es uno de los factores que más limita el crecimiento de los cultivos, pues sólo algunos de ellos pueden usar directamente el nitrógeno atmosférico. Vencer esta

limitación mediante la aplicación de fertilizantes nitrogenados es una de las tareas más costosas de la producción agrícola.

Un proceso conocido como fijación biológica del nitrógeno (FBN) se ha convertido en una opción factible para los agricultores de los países en desarrollo y desarrollados. Las leguminosas y algunas otras familias, en simbiosis con los microorganismos adecuados, pueden utilizar directamente el nitrógeno de la atmósfera mediante este proceso, el cual ofrece varias ventajas, entre ellas, menos gastos, menos riesgos de contaminación, mayor fertilidad de los suelos y mayor contenido proteico de los cultivos. Para cristalizar estos logros, se requiere una gestión adecuada de los sistemas de fijación del nitrógeno. Las técnicas isotópicas de nitrógeno 15 pueden proporcionar valores cuantitativos e integrados del nitrógeno fijado en los sistemas natural y agrícola.

En los dos últimos decenios, varios programas internacionales de investigación FAO/OIEA se han centrado en la medición y el aumento de la FBN, específicamente la fijación simbiótica por las leguminosas en diversos sistemas. En los programas actuales se hace hincapié en el mejoramiento del rendimiento y de la fijación del nitrógeno por las leguminosas de grano mediante un enfoque multidisciplinario integrado.

Hasta el presente, los resultados muestran grandes diferencias en la fijación del nitrógeno por las especies de leguminosas de grano. En algunos casos, por ejemplo, las habas, el proceso funciona con bastante eficacia, mientras en otros, como el frijol común, no es así. Estas diferencias se mantuvieron en una gran diversidad de condiciones ambientales. Asimismo, se hallaron variaciones genotípicas considerables en la fijación del nitrógeno entre cultivares de frijol común de diferentes países.

En la FBN revisten particular interés los árboles fijadores de nitrógeno. Los estudios muestran que son un componente importante de los sistemas agrícolas y desempeñan una función destacada en la restauración o el aumento de la fertilidad de los suelos y la disminución de la erosión de éstos, además de crecer sin dificultades en suelos deficientes de nitrógeno. Se han estudiado y se siguen estudiando métodos que permiten medir con exactitud los factores que afectan el crecimiento de estos árboles en diferentes condiciones.

Otros estudios se han centrado en la función que desempeñan las algas verde-azuladas y su asociación, en particular la *Azolla*, en las tierras bajas dedicadas al cultivo del arroz.

Las variedades de arroz de alto rendimiento vinculadas a la "revolución verde" precisan grandes cantidades de costosos fertilizantes nitrogenados químicos. Hace tiempo que los científicos reconocieron que la simbiosis de la *Azolla-Anabaena* acuática, fijadora de nitrógeno, podría satisfacer, al menos en parte, las necesidades de nitrógeno del arroz. Durante 1984-1989, la Sección de Fertilidad de Suelos, Riego y Producción Agrícola de la División Mixta coordinó un programa con apoyo financiero del Organismo Sueco de Desarrollo Internacional (SIDA), para investigar los beneficios que ofrecía la utilización de la *Azolla* como biofertilizante para el arroz. En el programa participaron

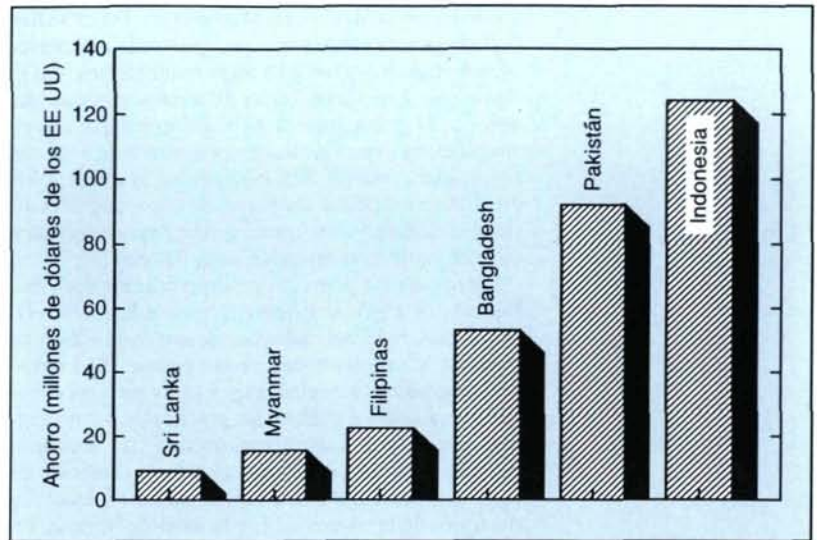
científicos de nueve países productores de dicho cereal, a saber, Bangladesh, Brasil, China, Filipinas, Hungría, Indonesia, Pakistán, Sri Lanka y Tailandia.

Aunque en zonas de China y Viet Nam la simbiosis *Azolla-Anabaena* se había utilizado durante siglos como estiércol verde para el arroz, la investigación científica intensa no comenzó hasta que la conmoción petrolera de 1973 elevó drásticamente el costo de los fertilizantes nitrogenados. En condiciones óptimas la *Azolla* puede crecer con gran rapidez y duplicar su peso en un lapso de tres a cuatro días. Sin embargo, antes de que comenzara este programa había pocas pruebas de experimentos de campo que indicaran si el nitrógeno que la *Azolla* acumulaba en el terreno se obtenía fundamentalmente de la atmósfera o del suelo. Aunque existían numerosas pruebas de que la incorporación de la *Azolla* al suelo aumentaba el rendimiento del arroz, sólo se habían realizado unos pocos experimentos para examinar las causas de ello.

Con la utilización amplia de la técnica de marcación con nitrógeno 15 se demostró que del 70% al 80% del nitrógeno presente en la *Azolla* provenía de la fijación atmosférica y que no había pruebas de que se produjera una gran competencia con el arroz para obtener el limitado nitrógeno del suelo. De hecho, los experimentos más recientes han demostrado que una cubierta flotante de *Azolla* en la superficie del agua de inundación del arroz puede incluso mejorar la eficacia de los fertilizantes químicos nitrogenados. La urea es el fertilizante nitrogenado que más se utiliza para el arroz. Sin embargo, su eficiencia suele ser poca y un 50% o más puede escapar a la atmósfera. La hidrólisis de la urea en el agua produce una reacción alcalina y si se combina con los efectos de la fotosíntesis de las algas, es común hallar valores de pH superiores a nueve. Con este nivel de pH, el amonio se convierte en el gas volátil amoníaco. Por suerte, la *Azolla* limita el crecimiento de las algas mediante la coloración de camuflaje del agua de inundación. Después de las aplicaciones de fertilizantes, se observaron valores de pH una o dos unidades inferiores en presencia de la *Azolla*.

El segundo efecto es que la *Azolla* absorbe parte del fertilizante nitrogenado del agua. Si seguidamente la *Azolla* se incorpora al suelo, ese fertilizante nitrogenado es aprovechado por el arroz junto con el nitrógeno fijado. En un experimento realizado en Fuzhou, China, las pérdidas de nitrógeno de una aplicación de urea en la superficie dos semanas después del trasplante se redujeron de 50% sin la *Azolla* a 25% cuando el campo fue inoculado con dicha planta en el momento del trasplante. La absorción por el arroz del fertilizante marcado aumentó de 26% a 35%. En Tailandia, la aplicación de urea en el momento del trasplante con inoculación de *Azolla* y sin ella, trajo como resultado un aumento de 10% a 15% de los rendimientos en las parcelas inoculadas.

Cuando se incorporó *Azolla* al suelo, se observó que era tan buena como la urea como fuente de nitrógeno para el arroz. No solo la absorción de nitrógeno a partir de la *Azolla* era igual a la que se obtenía a partir de la urea, sino que también se lograba el beneficio adicional de que después de la cosecha quedaba en el suelo más nitrógeno añadido gracias a



la *Azolla*. En algunos ensayos quedó suficiente nitrógeno disponible para la próxima cosecha como para duplicar o triplicar el rendimiento en comparación con la urea, sobre todo cuando después de la cosecha de arroz se cultivaba trigo. El ahorro estimado en una cosecha de arroz con la utilización de la *Azolla* como fertilizante nitrogenado es considerable. (Véase el gráfico.)

El éxito de este programa demostró que un grupo de científicos de diferentes partes del mundo podía trabajar mancomunadamente, utilizar la misma metodología crítica y avanzar con rapidez hacia metas comunes. Como los estudios se realizaron en una gran variedad de entornos, los resultados se pueden aplicar ampliamente.

Posible ahorro en la producción de arroz con la utilización de la *Azolla* como fertilizante nitrogenado

Fotosíntesis y utilización del agua

Las técnicas isotópicas son indispensables para el estudio de la fotosíntesis, el metabolismo de las plantas, el desplazamiento y la absorción de los nutrientes. Al exponer las plantas a dióxido de carbono marcado con carbono 14, puede vigilarse la fotosíntesis y el desplazamiento de los metabolitos por las plantas utilizando técnicas como la autorradiografía. En los últimos tiempos se ha venido utilizando cada vez más el carbono 13 en estudios de trazadores por su mayor disponibilidad y la facilidad con que se puede medir. Además, como isótopo estable, es inocuo para el medio ambiente y, por consiguiente, de valor incalculable para los estudios de la materia orgánica de los suelos y los gases de efecto de invernadero. Sin embargo, las plantas discriminan el carbono 13 durante la fotosíntesis. Aunque existen variaciones según la especie de planta de que se trate, esa discriminación se relaciona estrechamente con la capacidad de la planta para utilizar el agua.

Esta técnica puede ser útil para seleccionar cultivos de plantas y especies de árboles capaces de aprovechar con eficacia las existencias de agua. Mediante un PCI, se han identificado en suelos deficientes varios genotipos de cultivos alimentarios y árboles que aprovechan con suma eficacia los recur-

osos hídricos limitados. En Marruecos y Túnez se han hallado genotipos de trigo que aprovechan eficientemente el agua y producen altos rendimientos. En el Sudán, se han identificado diferentes especies del árbol de la goma arábiga *Acacia Senegal* que crecen sin dificultad en regiones propensas a la sequía. En Sri Lanka, esta técnica también ha ayudado a los científicos a detectar cultivares de coco muy tolerantes a la sequía y, en consecuencia, muy adecuados para el cultivo en la región seca del país.

Mediante un proyecto de investigación reciente, iniciado en 1990, se estudia el aprovechamiento eficaz de los recursos hídricos escasos para elevar al máximo la productividad de las plantas. El empleo de humidímetros neutrónicos y otras técnicas conexas ha ayudado a evaluar las prácticas y los programas de riego. Los humidímetros se utilizaron provechosamente no solo para medir el contenido de agua de los suelos, sino también para comprender la dinámica de las aguas en condiciones de terreno. En otro PCI se ha examinado la eficiencia del uso del agua y los fertilizantes en sistemas agrícolas semiáridos. Como por definición en las zonas semiáridas las precipitaciones pluviales son escasas, el crecimiento de las plantas y los rendimientos de los cultivos dependen en gran medida del aprovechamiento y la conservación adecuados del agua. Esta investigación ayudó a determinar las medidas necesarias para garantizar que las plantas recibieran una cantidad adecuada de nutrientes en esas condiciones de cultivo.

Protección ambiental

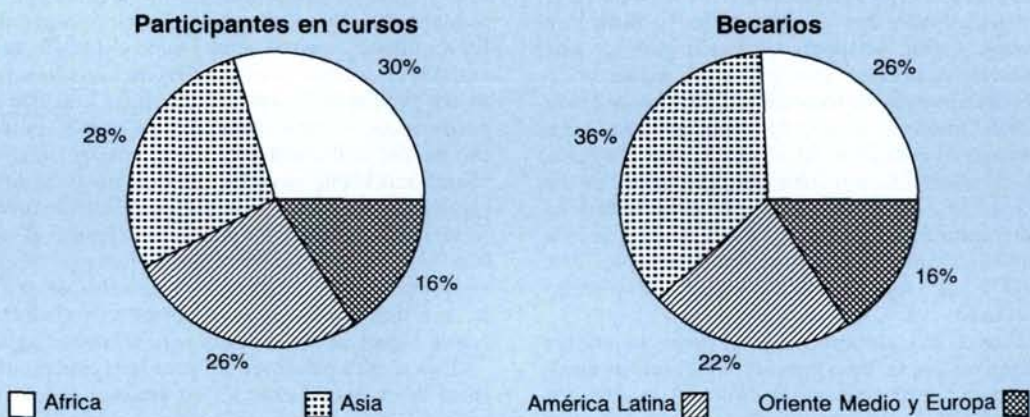
Junto a la necesidad de elevar la productividad agrícola, muchos países, en su mayoría industrializados, comparten otra clase de problema, a saber, la entrada del nitrógeno en el agua subterránea y la contaminación del agua potable y de los lagos. En este caso, existe la necesidad de proteger los suelos agrícolas y los recursos de nitrógeno reales y posibles, y a la vez satisfacer las normas cada vez más estrictas de protección ambiental en todo el mundo.

El nitrógeno 15 proporciona un instrumento particularmente poderoso para estudiar el comportamiento del nitrógeno de los fertilizantes en el medio ambiente. Con apoyo de Alemania, la Sección de Fertilidad de Suelos de la División Mixta FAO/OIEA ha llevado a cabo un programa internacional que ofrece una guía fundamental para abordar los problemas. Sobre la base de estudios realizados, se extrajeron varias conclusiones, a saber:

- Teniendo en cuenta las perspectivas y el tiempo que se necesita para crear prácticas agrícolas alternas, es preciso seguir intensificando y ampliando las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados convencionales en los próximos decenios.
- Como resultado de esta intensificación, cada vez serán mayores las cantidades de nitrógeno, tanto del suelo local como añadido en forma de fertilizante, que se perderán del sistema suelo-planta y pasarán al medio ambiente. No obstante, los nive-

Actividades de capacitación apoyadas por la FAO y el OIEA en edafología y agronomía

Cientos de científicos de todo el mundo han asistido a cursos y actividades de capacitación organizados por la División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura. De 1978 a 1994, se celebraron 18 cursos de capacitación para 345 participantes de 80 países. En el periodo 1962-1994 otros 142 becarios científicos recibieron capacitación. Véase abajo la distribución geográfica de los participantes en cursos y los becarios.



Nota: Los datos corresponden a actividades organizadas por la Sección de Fertilidad de los Suelos, Riego y Producción Agrícola y la Dependencia de Edafología de los Laboratorios del OIEA en Seibersdorf.

les de nitrógeno del suelo y la productividad contingente se podrán mantener estableciendo prácticas perfeccionadas de gestión del suelo y el nitrógeno.

- En algunos casos, es probable que sigan aumentando los niveles de nitrato del suelo y el agua potable. Debe hacerse un diagnóstico adecuado de las diversas fuentes que ocasionan este problema.
- En los países en desarrollo, las pérdidas de nitrógeno ocurren en fertilizantes cuyo costo como insumo es relativamente alto. Por otra parte, en los países industrializados más avanzados, la utilización de mayores cantidades agrava los problemas y eleva el costo de la protección de la calidad ambiental y la salud. Los datos generados y la información examinada indican que estos problemas se pueden resolver utilizando técnicas mejoradas de gestión de los suelos y las aguas en los sistemas agrícolas. En particular, parece haber grandes posibilidades de explotar mejor otras fuentes de nitrógeno, por ejemplo, la fijación biológica del nitrógeno en especies leguminosas y no leguminosas y/o los biofertilizantes.
- Mediante una mejor colaboración con los programas regionales y nacionales pertinentes, los organismos de las Naciones Unidas, como la FAO, el OIEA, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Mundial de la Salud, tienen una función vital e inaplazable que desempeñar en la aplicación de las mejoras necesarias y la satisfacción de las necesidades de investigación a corto plazo, así como en la aceleración de la educación y la capacitación que se precisan al mismo tiempo.

Servicios y actividades de apoyo

Varias actividades se realizan simultáneamente a fin de garantizar la transferencia de las tecnologías nucleares para el desarrollo agrícola. La Dependencia de Edafología del Laboratorio FAO/OIEA de Agricultura y Biotecnología de Seibersdorf ofrece apoyo en numerosas actividades investigativas y de capacitación.

Cursos de capacitación. Desde 1978, en los Laboratorios de Seibersdorf se han celebrado cursos de capacitación interregionales anuales sobre el empleo de técnicas isotópicas y radiológicas en los estudios de las relaciones suelo/planta. Por lo general, los cursos tienen una duración de cinco a seis semanas y pueden acoger a veinte participantes de todas las regiones geográficas. Además, se presta apoyo a cursos de capacitación nacionales y regionales.

Capacitación mediante becas. Todos los años se capacitan en la Dependencia de Edafología de Seibersdorf unos 10 becarios graduados en ciencias. Existen dos categorías de becarios. Los becarios analíticos se aceptan por un período de dos a tres meses para aprender las técnicas analíticas isotópicas que se utilizan en los estudios de investigación suelo-planta (por ejemplo, las técnicas de análisis de nitrógeno 15 por espectrometría de emisión óptica). Esta forma de capacitación incluye la enseñanza técnica y sesiones

prácticas. Los becarios investigadores se aceptan por períodos de seis a doce meses para trabajar en un tema del programa de trabajo FAO/OIEA. Reciben orientación sobre estrategias experimentales y el empleo de técnicas isotópicas y conexas pertinentes a la esfera en que se proponen trabajar al regreso a sus países de origen. Se espera que completen una actividad de investigación determinada y escriban una memoria sobre ella.

Además, el OIEA patrocina a visitantes científicos, generalmente experimentados, durante períodos cortos. Otras oportunidades en materia de capacitación para científicos de los países desarrollados y en desarrollo son su selección, de forma gratuita, como internos o expertos, o como funcionarios profesionales asociados.

Apoyo a las investigaciones. Gracias a los PCI y otros mecanismos, a lo largo de los años se han creado amplias redes de investigación internacionales y regionales. La Dependencia de Edafología FAO/OIEA presta diversos servicios de apoyo, entre ellos, el análisis de unas 15 000 a 20 000 muestras anuales para proyectos de los países en desarrollo. También se envían fertilizantes marcados con nitrógeno 15 a participantes en proyectos de investigación concretos. Asimismo, se presta apoyo analítico a los laboratorios de los países en desarrollo que reciben asistencia técnica del OIEA y carecen de instalaciones adecuadas. Normalmente, la Dependencia cumple una función principal en el desarrollo y transferencia de las técnicas de análisis de nitrógeno 15 que se utilizan en los proyectos de asistencia técnica del OIEA.

Servicios de garantía de calidad. Una iniciativa reciente insta a establecer un servicio internacional de garantía de calidad para el análisis del nitrógeno 15 por espectrometría de emisión óptica. Las instalaciones de la Dependencia de Edafología servirán de laboratorio de control de "referencia" FAO/OIEA. Se espera que este servicio:

- garantice que los datos sobre nitrógeno 15 generados por los laboratorios locales sean aceptables a nivel internacional;
- infunda confianza y aliento a las contrapartes en sus procedimientos analíticos;
- promueva la cooperación regional y garantice una transferencia eficaz de la tecnología del nitrógeno 15 a los países en desarrollo mediante los programas FAO/OIEA.

Este servicio es otro paso adelante en el empeño mundial encaminado a lograr la transferencia eficaz de las técnicas nucleares e isotópicas conexas para fines beneficiosos. Ello permitirá que los países en desarrollo incrementen sus conocimientos especializados en la aplicación de estos poderosos instrumentos para el desarrollo agrícola sostenible.