

Investigación sobre el nitrógeno en los cultivos perennes

Los científicos estudian el papel que desempeñan los árboles en la recuperación y el mantenimiento de la fertilidad del suelo

por Glynn D. Bowen y Seth K.A. Danso

En muchos países tropicales, la producción de alimentos ha aumentado a un ritmo más lento que el crecimiento demográfico. Por ejemplo, en 35 de 41 países del África subsahariana el crecimiento demográfico ha superado a la producción de alimentos. La mayoría de los suelos tropicales son áridos o frágiles, y, por tanto, se necesita una ordenación adecuada para poder aumentar la producción de alimentos. El sistema de cultivo imperante en esas zonas se basa en los conceptos de rotación de cultivos y terreno en barbecho, según los cuales generalmente la tierra se cultiva durante 3 a 5 años y luego se deja sin cultivar de 4 a 10 años, a fin de permitir que se regenere la fertilidad del suelo. Los árboles perennes desempeñan una función vital en este proceso. Aquellos que son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico tienen una ventaja adicional por cuanto aceleran ese período de regeneración debido a su rápido crecimiento en los suelos pobres en nitrógeno, elemento nutriente indispensable para el crecimiento de las plantas.

El cultivo intensivo en respuesta al aumento demográfico y a las crecientes necesidades de alimentos ha provocado una disminución de los períodos de rotación. Esta situación ha dado lugar a una drástica disminución de la fertilidad del suelo y un aumento de la erosión en las regiones húmedas y semiáridas, lo que ha obligado a cultivar tierras marginales. Así pues, en la mayoría de las explotaciones agrícolas de pequeños agricultores el rendimiento de las cosechas ha disminuido, en ocasiones incluso entre el 70% y el 80% en el año o los dos años siguientes al desbroce. En las zonas más secas, el pastoreo excesivo y la tala de árboles han sido factores fundamentales en la disminución de la productividad, la erosión del suelo y la desertificación (6 millones de hectáreas por año). La situación tiende a agravarse a menos que se encuentren soluciones adecuadas. La recuperación de la fertilidad del suelo mediante la aplicación de fertilizantes, como se practica en la mayoría de los

agricultores de las zonas tropicales. Además, como el 65% de los suelos tropicales son frágiles, se deterioran rápidamente al someterlos al cultivo intensivo.

En los países en desarrollo, la leña también representa aproximadamente el 45% de la energía primaria; en las zonas rurales este porcentaje podría incluso duplicarse. De ahí que la deforestación haya acarreado otro problema: una escasez creciente de leña. La importancia que se atribuye a la leña es considerable, y en algunos países su acopio consume el 40% de la labor diaria de

Mujeres recogiendo leña en un país africano.



El Sr. Bowen es jefe de la Sección de Fertilidad de Suelos, Riegos y Producción Agrícola de la División Mixta FAO/OIEA para el Empleo de Isótopos y Radiaciones Nucleares en el Desarrollo de la Agricultura y la Alimentación, y el Sr. Danso es oficial técnico de esa Sección.



Tierras comunitarias deforestadas en proceso de decadencia en Africa.

las mujeres y los niños. En Africa, se estima que en algunas ciudades aproximadamente la mitad del ingreso familiar se invierte en carbón vegetal, que en la actualidad 55 millones de personas atraviesan una etapa de crisis de leña, y que para el año 2000 esta cifra podría aumentar a 550 millones (de una población estimada de 760 millones de habitantes). El Banco Mundial ha señalado que para el año 2000, 3000 millones de personas vivirán en zonas donde la leña será muy escasa o habrá que traerla de otros lugares.

La agrosilvicultura y sus beneficios

Los sistemas de cultivo que incluyen árboles pueden constituir un marco ecológico en el que es posible integrar la producción de alimentos, leña y fibras. Dada su naturaleza perenne, sus sistemas radicales amplios, y su usualmente elevado índice de biomasa, los árboles tienen ventajas particulares con respecto a otros sistemas. No se requiere la plantación anual, y una vez sembrados contribuyen a la conservación del suelo durante todo el año. Reciclan nutrientes que son inaccesibles para la mayoría de los cultivos alimentarios de raíces poco profundas, desde las capas inferiores del suelo hasta el nivel de superficie. También aportan materia orgánica y se utilizan para estabilizar los suelos frágiles. Los árboles que fijan nitrógeno revisten una importancia especial porque pueden sembrarse en suelos pobres en nitrógeno, y algunas veces en fósforo. Asimismo, pueden suministrar cantidades considerables de nitrógeno al suelo.

Pastizales a base de leguminosas

La desertificación —que amenaza a casi la quinta parte de la superficie del planeta— ocurre principalmente en las regiones con pastizales y terrenos de pastoreo. Muchos científicos que se dedican a la obtención de animales superiores mediante la selección genética han llegado a comprender paulatinamente que, pese a la importancia de la explotación adecuada y la salud del ganado tropical, la producción deficiente de pastos es, con mucho, la mayor limitación en las regiones de suelos

marginales. Al necesitarse más cereales para el consumo humano directo, el aumento de la productividad y la calidad nutritiva de los pastos se hace más crítico. Los suelos ácidos áridos abundan en las zonas tropicales. Representan aproximadamente poco más de la mitad de toda la extensión territorial de la América tropical, lo que equivale a unos 850 millones de hectáreas*. Se ha demostrado que con una selección y una ordenación adecuadas de las plantas es posible sembrar abundantes pastos en estos suelos, lo que libera zonas altamente productivas para dedicarlas a la producción de alimentos. Las leguminosas forrajeras son especialmente útiles para estos suelos marginales porque muchas de ellas pueden utilizar parte del abundante nitrógeno de la atmósfera para su crecimiento, y por consiguiente, pueden crecer en suelos pobres en nitrógeno. Sólo en Nueva Zelandia, se estima que el trébol en los pastos fija más de 1 millón de toneladas de nitrógeno anualmente, lo que equivale a más de 1000 millones de dólares de los Estados Unidos de fertilizantes de urea**. También se ha demostrado que las leguminosas para pastos pueden crecer en suelos pobres en fósforo si están infestadas por el hongo micorrizal. Por tanto, los pastos mixtos de leguminosas y gramíneas pueden proporcionar un elevado índice de biomasa a los suelos áridos y poseen un alto valor nutritivo. Dado su crecimiento perenne y denso, también protegen al suelo de la erosión y de las mermas por lixiviación de nutrientes y aportan cantidades considerables de materia orgánica y nitrógeno para aumentar la fertilidad del suelo.

* Véase "Investigación sobre los pastos tropicales en los suelos ácidos infértiles de América Latina: situación actual y necesidades futuras", por P.A. Sánchez en *Producción de pastos en los suelos ácidos de los trópicos*, publicado por P.A. Sánchez y L.E. Tergas, actas del seminario, CIAT, Cali, Colombia (17 al 21 de abril de 1978).

** Véase "The effect of invertebrates on nitrogen-2 fixation", informe de K.W. Steel, R.N. Watson y P.M. Bonish en la Primera Reunión de Coordinación de las Investigaciones, Programa Coordinado de Investigación FAO/OIEA sobre la utilización de técnicas nucleares en la ordenación de pastos, Viena (14 al 18 de noviembre de 1983).



Casuarina stricta, planta predominante en un suelo de bajo contenido de nitrógeno y fósforo en Australia con 200 milímetros anuales de precipitación.

Labor del OIEA en esta esfera

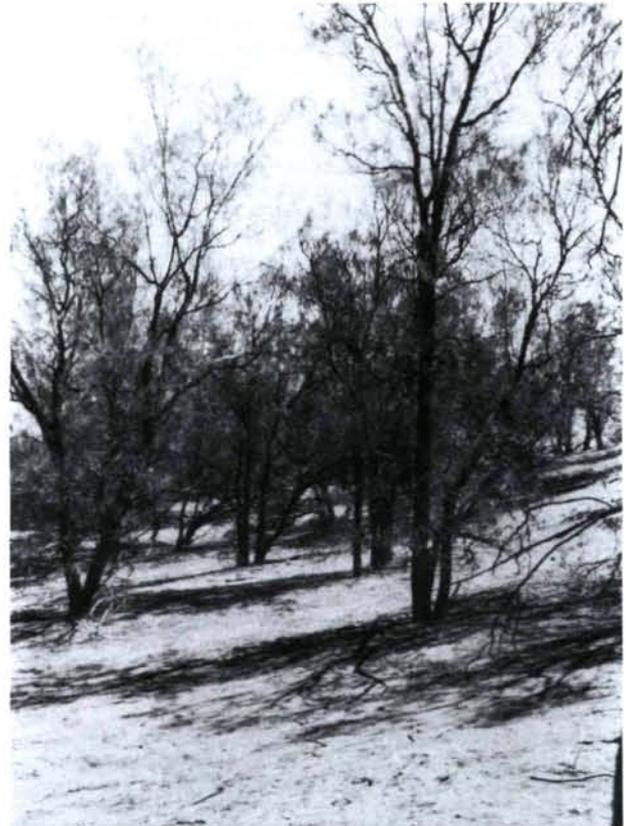
El OIEA ha reconocido la importancia del problema, y participado activamente en estudios sobre las leguminosas para pasto que fijan nitrógeno, y está a punto de emprender estudios análogos sobre los árboles. Estos programas están a cargo de la Sección de Fertilidad de Suelos, Riegos y Producción Agrícola del Organismo, perteneciente a la División Mixta del OIEA y la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Se ejecutan en colaboración con el laboratorio agrícola del OIEA en Seibersdorf, Austria. Las investigaciones abarcan la labor que se realiza en Seibersdorf y en otros 21 laboratorios de los Estados industrializados miembros del OIEA. Los objetivos inmediatos del programa de pastos son crear metodologías adecuadas para medir el nitrógeno fijado en estas plantas perennes, definir las prácticas de ordenación para maximizar la fijación del nitrógeno y desarrollar sistemas estables y altamente productivos de pastizales de leguminosas y gramíneas.

Las técnicas del isótopo nitrógeno 15, desarrolladas en gran medida en Seibersdorf, se han empleado con

éxito para medir la fijación del nitrógeno en los pastos perennes*. Los resultados obtenidos hasta el presente indican que hay varias especies capaces de satisfacer más del 80% de sus necesidades de nitrógeno a partir de la

* Véase un informe sobre la labor del laboratorio de Seibersdorf en "Aumento de la capacidad de fijación biológica del nitrógeno", por S.K.A. Danso y D.L. Eskew, *Boletín del OIEA*, Vol. 26, No. 2 (1984).

Casuarina equisetifolia, árbol fijador de nitrógeno que se utiliza para estabilizar las arenas costeras en el Senegal.



Fijación del nitrógeno por las leguminosas de pasto

	Año	Nitrógeno fijado en tanto por ciento	
		Intervalo	Promedio
Austria	1983-84	71-98	88
Estados Unidos	1983	72-86	80
Grecia	1984	52-93	81
Colombia	1985	48-89	68
Sudán	1984	77-90	84
Islandia	1985	94-97	96
Nueva Zelandia	1984-85	71-90	84
Media		48-98	83

En el cuadro figuran los intervalos y promedios de nitrógeno fijado por las leguminosas de pasto de varios países que participan en el programa coordinado de investigación FAO/OIEA sobre el empleo de técnicas nucleares para mejorar la gestión de los pastos.

fijación del nitrógeno atmosférico, por lo cual resultan muy convenientes en los suelos pobres en nitrógeno. (Véase el cuadro adjunto.) Por tanto, al parecer lo que más se necesita son métodos de ordenación y fitotecnia capaces de aumentar el rendimiento de la biomasa y, como resultado, aumentar la cantidad de nitrógeno fijado. En la actualidad se trabaja en los aspectos relativos al cultivo, entre ellos el efecto del nitrógeno inorgánico en los niveles de fósforo del suelo, la infección provocada por el micorriza, la inoculación de *Rhizobia*, y la compatibilidad de las especies en los sistemas de pastos mixtos. Se espera poder abordar el aspecto de la fitotecnia posteriormente.

Respecto de los cultivos arbóreos, el OIEA auspició una reunión de un grupo asesor celebrada del 24 al 28 de noviembre de 1986, a la que asistió personal del Organismo, de la FAO, de la Autoridad Sueca para el Desarrollo Interaccional (SIDA) y 11 científicos de 7 países en calidad de invitados. El grupo definió las cuestiones más importantes que es preciso abordar para maximizar los beneficiosos efectos de los árboles en la recuperación y el mantenimiento de la fertilidad del suelo, así como el papel que pueden desempeñar los isótopos y las técnicas nucleares y afines en el estudio de la ordenación de los árboles en los sistemas combinados agrícolas y de

pastizales. Se analizaron muchos temas importantes sobre la nutrición de los árboles con nitrógeno, entre ellos los siguientes: ¿Qué árboles fijan el nitrógeno? ¿Qué se sabe respecto de sus necesidades concretas de bacterias? ¿Cómo se puede medir la fijación de nitrógeno (factor indispensable para la realización de estudios críticos sobre este tema)? ¿Qué factores ambientales afectan la fijación de nitrógeno y la recuperación de residuos orgánicos por el suelo?

En la reunión se recomendó insistentemente la incorporación de árboles, en especial árboles fijadores de nitrógeno, en sistemas agrosilvícolas estables y en sistemas silvícolas y de pastizales semiáridos. Las posibilidades que ofrecen dichos árboles son ya palpables en los sistemas de explotación por surcos de las zonas tropicales (donde se alternan hileras de árboles con varias hileras de cultivos alimentarios). En la reunión se convino en que las técnicas isotópicas y nucleares, muchas de las cuales se desarrollaron en el marco del OIEA, están llamadas a desempeñar una función importante y singular en cuanto a determinar las mejores formas de ordenar los árboles en los sistemas agrosilvícolas y maximizar la fijación de nitrógeno y el crecimiento de los árboles, con miras a recuperar la fertilidad del suelo y conservar sus recursos.

Mejoramiento de los cultivos de arroz mediante las investigaciones nucleares

La mayoría de los cultivadores de arroz en Asia saben desde hace siglos que el helecho acuático *Azolla* es un fertilizante orgánico natural para su arroz de regadío. Actualmente los científicos procuran hallar los medios de promover el empleo del *Azolla* en otras variedades de arroz que se cultiva en diferentes condiciones ambientales y agrícolas como parte de los esfuerzos para mejorar los cultivos. El arroz es un producto básico para las dos terceras partes de la población mundial.

Mediante un programa coordinado de investigaciones que ahora entra en su tercer año de ejecución, el OIEA, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Autoridad Sueca de Desarrollo Internacional (SIDA) apoyan conjuntamente las investigaciones en esta esfera. Uno de sus puntos de mira son los sistemas de fijación biológica del nitrógeno, concretamente la simbiosis de *Azolla* con las algas verdeazuladas (cianobacteria). Aunque la atmósfera contiene una reserva inagotable de nitrógeno, las plantas y los animales no disponen de la molécula de dinitrógeno de tres enlaces. Sin embargo, algunas bacterias y cianobacterias producen la enzima nitrogenasa que reduce la molécula de dinitrógeno a amoníaco, que se puede utilizar para la síntesis proteínica. En el helecho *Azolla*, la cianobacteria de fijación de nitrógeno *Anabaena azollae* se encuentra en la cavidad de la hoja. Cuando el helecho crece en los arrozales, puede acumular en un mes de 30 a 60 kilogramos de nitrógeno por hectárea cultivada de arroz y se han observado incrementos del rendimiento de hasta 1,5 toneladas por hectárea después de su eficiente incorporación al suelo. Debido a que la aplicación del fertilizante químico nitrogenado suele variar de 60 a 100 kilogramos de nitrógeno por hectárea de arroz y a que se ha determinado que la disponibilidad de nitrógeno de *Azolla* para

el arroz es la que se aplica en forma de urea, *Azolla* obviamente tiene grandes posibilidades.

La investigación es importante, ya que las variedades de arroz con mejores características genéticas logradas con la "revolución verde" necesitan más nitrógeno. Hasta la fecha los fertilizantes químicos nitrogenados han suministrado ese nitrógeno adicional. No obstante, no dejan de ser caros y de estar fuera del alcance de los agricultores pobres.

El programa FAO/OIEA/SIDA procura cuantificar la cantidad de nitrógeno derivada de la fijación del nitrógeno, evaluar la disponibilidad de nitrógeno para el arroz y crear prácticas de aprovechamiento de *Azolla* para incrementar el rendimiento del arroz. Con las técnicas que emplean el nitrógeno 15 como trazador, se ha demostrado que más del 80% del nitrógeno acumulado por *Azolla* deriva de la fijación del nitrógeno y que el helecho no es un fuerte competidor para el arroz en la búsqueda de este nutriente.

Dadas las posibilidades que ofrece el *Azolla*, los científicos estudian también la manera de mejorar el helecho desde el punto de vista genético para ampliar su aplicación. La propagación del helecho hacia otras zonas de cultivo del arroz se ha visto limitada, en parte, por su sensibilidad a diversas presiones ambientales, incluidos los herbicidas que se suelen utilizar para eliminar las malas hierbas en los arrozales. En su empeño por inducir mutaciones convenientes y aumentar la variabilidad genética de *Azolla*, los científicos del Laboratorio Seibersdorf del OIEA han hecho los primeros intentos de utilizar la irradiación ionizante. Trabajan además en la creación de métodos de búsqueda de las características que tengan importancia económica, como parte de las medidas en marcha para promover el aprovechamiento de *Azolla* como biofertilizante para el cultivo del arroz.