
Las técnicas isotópicas en la dinámica de nitrógeno en el continuo suelo-planta de agrosistemas en Venezuela

The isotopic techniques on soil-plant nitrogen dynamic of agro systems in Venezuela

Evelyn Cabrera-Bisbal¹

¹ INIA-CENIAP-Recursos Agro ecológico, Maracay, Apdo. Postal 4653, Venezuela
ecabrera@inia.gov.ve

RESUMEN

Se da una visión de la aplicación de la técnica isotópica de ^{15}N en estudios de la dinámica y procesos involucrados del nitrógeno en agro sistemas. El uso de ^{15}N como un trazador en fertilizantes nitrogenados para evaluar las transformaciones orgánicas e inorgánicas del N en el suelo. Medir las tasas de transformaciones de compuestos de N, los efectos en un proceso en particular por el suelo, tipo de planta, manejo y variables climáticas. Finalmente, nos permite evaluar cuantitativamente el sistema suelo-planta, midiendo las tasas de los diferentes procesos simultáneamente y contabilizar pérdidas, tal como en los estudios de balance de nitrógeno. En Venezuela, el uso de la técnica se ha generalizado en la última década con la creación y consolidación del laboratorio de isótopos estables de ^{15}N en UNILAB- Recursos Agro Ecológicos del INIA-CENIAP, con el apoyo de convenios-proyectos de la OIEA. Los alcances de investigación con la aplicación de la técnica han sido tanto al nivel básico, en procesos específicos de la dinámica de nitrógeno, como aplicada, en el manejo de fertilizantes, utilizando ensayos de invernadero y en ensayos de campo en diferentes sistemas de cultivo. Se señalan los resultados de investigaciones de eficiencia de uso de N-fertilizante y su

ABSTRACT

The purpose of this paper is to give an overview of how nitrogen isotope analysis has been used in different agro systems. In general, ^{15}N technique has been useful in the routine measurement of transformation rates of nitrogen-containing organic and inorganic compounds in the soil. The use of ^{15}N makes it possible to explore, quantify, and understand the transformations in a soil, a type of plant, management and climatic condition. In Venezuela, the ^{15}N of isotope technique has become widely used during the last decade with formation the ^{15}N Stable Isotope laboratory in UNILAB- Recursos Agro-ecológico- INIA with Co-ordinated research programmers of FAO/IAEA. Results of the efficient fertilizer N management practices and the environmental behavior of fertilizer N in various agricultural systems are discussed.

Key word: nitrogen, agro systems, ^{15}N , soil-plant system.

balance - destino en los sistemas de los cultivos estudiados.

Palabras claves: nitrógeno, agro sistemas, ^{15}N , sistema suelo-planta.

INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos y sus contenidos de proteínas son componentes claves para mantener la población de la región. En los sistemas de cultivo del trópico, el nitrógeno frecuentemente limita los rendimientos, siendo necesaria la aplicación de N externo al sistema para optimizar el desempeño y productividad del cultivo.

Tradicionalmente las recomendaciones de N están basadas en fertilizantes de bajo costo, desconocimiento de la variabilidad espacial y poca atención de sus efectos en el medio ambiente. Actualmente, es importante desarrollar prácticas racionales de fertilización de N que asegure el uso eficiente del N bajo principios económicos y ambientales. Las recomendaciones de fertilizante requieren ser tan específicas como sea posible, para ello es necesario conocer los requerimientos de N por la planta, las fuentes de N externas y las pérdidas de N del sistema, como se señala en la ecuación 1 (Rice *et al.* 1995).

$$N_{\text{fertilizante}} = N_{\text{req. cultivo}} - (N_{\text{suelo}} - N_{\text{pérdidas}}) \quad (1)$$

En donde el N requerido por el cultivo es una función o integración de lo que la planta demanda para alcanzar determinado nivel de producción (rendimientos de materia seca y concentración de N en el tejido). La estimación precisa de este parámetro es difícil, considerando las variaciones climáticas, la introducción de nuevos cultivares y de tecnologías de manejo (Urquiaga y Zapata, 2000).

Las fuentes de N externo al sistema incluyen fertilizante inorgánico, orgánico y la fijación biológica de N. En sistemas tropicales (caña de azúcar, arroz, pastizales, agroforestal y cultivos asociados) las contribuciones por fijación biológica vienen siendo reconocidas como importantes al sistema (Boddey *et al.*, 1996; Watanabe, 1987). De menor impacto se consideran las entradas mediante el riego y la precipitación.

En la mayoría de los ecosistemas terrestres, tanto naturales como agrícolas, la materia orgánica del suelo constituye el mayor "pool" de nitrógeno combinado. Los procesos más importantes de las transformaciones de nitrógeno (Fig. 1) involucran la mineralización del N-orgánico a NH_4 ; síntesis de N-orgánico desde NH_4 , NO_3 y N_2 ; la oxidación del NH_4^+ a NO_3^- (nitrificación) y la reducción del NO_3^- a N_2 (desnitrificación). La descripción del ciclo de nitrógeno en un ecosistema en particular debe idealmente estar fundamentada en la tasa de incorporación y desincorporación en los diferentes "pools". Las pérdidas de N incluyen el lavado de NO_3^- , pérdidas gaseosas (desnitrificación), volatilización del N del fertilizante y de la vegetación, y erosión. Así la ecuación 1 es una expresión más compleja (Rice *et al.* 1995), como se expresa en la ecuación 2.

$$N_{\text{fertilizante}} = N_{\text{req. cultivo}} - [(N_{\text{mineralizado de la MOS}} + N_{\text{inog. residual}} + N_{\text{residuos cosecha}} + N_{\text{fijación}}) - (N_{\text{lavado}} + N_{\text{desnitrificación}} + N_{\text{volatilización}} + N_{\text{erosión}}) - N_{\text{inmovilizado}}] \quad (2)$$

El manejo agronómico en un programa de fertilización debe buscar la reducción de las pérdidas de N y maximizar la recuperación del N aplicado, a través de un aumento de la eficiencia de uso del N.

La aplicación de las técnicas nucleares en la agricultura, ha promovido el desarrollo de tecnologías fundamentadas en el uso de isótopos estables de ^{15}N para estudiar la eficiencia de uso de fertilizantes, una gran diversidad de prácticas de fertilización nitrogenada: épocas de aplicación, formas de aplicación y diferentes fuentes orgánicas e inorgánicas; la eficiencia de absorción y redistribución de N en la planta por diferentes genotipos. En estudios del balance de nitrógeno en el sistema suelo-agua-planta, así como procesos individuales de transformación del N tales como: lavado, volatilización, desnitrificación, fijación biológica.

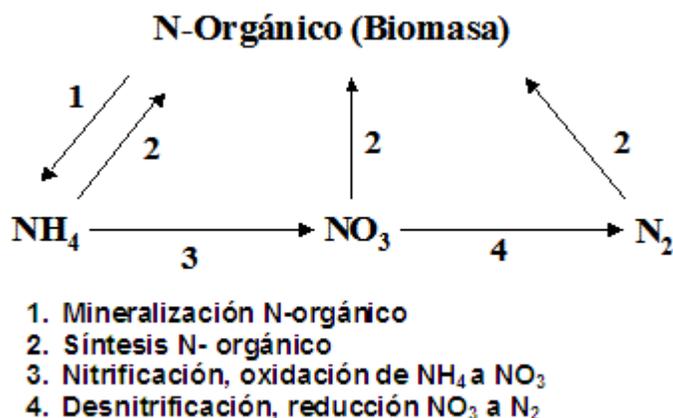


Figura 1 Componentes e interacciones en el ciclo de nitrógeno

Metodologías isotópicas en estudios del nitrógeno en el sistema suelo-planta

Las técnicas isotópicas empleando ^{15}N como herramientas de investigación permiten una mejor cuantificación de los procesos en los cuales se involucra el N en el continuo suelo-planta, con ello se puede realizar un mejor seguimiento de la dinámica de los mismos, en relativamente corto tiempo. El empleo del ^{15}N como trazador nos permite visualizar las transformaciones de una fuente externa de N, desde el mismo momento de su aplicación, el suelo como un sistema biológico actúa inmediatamente transformando biológica y químicamente el N-fuente.

Para asegurar el uso eficiente de la técnica ^{15}N es necesario que se puntualicen claramente el propósito del estudio y cuales son los problemas que se intenta solucionar, con ello podemos determinar el experimento más apropiado. Entre los principales tipos de estudios experimentales podemos mencionar: 1.- Ensayos de mecanismos (procesos), donde se cuantifica el N trasferido o transformado desde una forma química o metabólica a otra en el sistema suelo-planta. 2.- Medidas de la velocidad de un proceso en particular (Ej. mineralización, nitrificación, absorción de N por la planta). 3.- Balance ^{15}N , con la cuantificación del ^{15}N en diferentes componentes del sistema suelo-planta, así como la tasa de cambio de varios procesos simultáneamente y la cantidad de ^{15}N no cuantificado o perdidas y su destino.

La eficiencia de uso y balance de Nitrógeno

Las recomendaciones de fertilizante nitrogenado basadas en estudios de calibración incluyen implícitamente la eficiencia de uso de nitrógeno (EFUN), cada una de las fuentes de la ecuación 2 conforma la eficiencia asociada que es función de las pérdidas. La EFUN es afectada por el clima, las propiedades del suelo, el manejo del cultivo y del suelo. Si el sistema de cultivo cambia drásticamente; la EFUN requiere que el modelo de recomendación de fertilizante sea recalibrado.

El método isotópico directo como herramienta para evaluar la eficiencia de uso del N-fertilizante consiste en la utilización de fertilizantes nitrogenados marcados, tanto tradicionales como materiales orgánicos diversos, durante su fabricación con el isótopo estable ^{15}N . Si un ^{15}N -fertilizante aplicado al suelo está disponible para el cultivo, este es absorbido por las plantas. Éstas presentarán en su nitrógeno acumulado un valor de % átomos de ^{15}N significativamente superior a la abundancia natural en el suelo (0,3663% átomos ^{15}N).

La evaluación de la eficiencia desde fuentes no tradicionales de N que no han sido marcadas con ^{15}N desde su origen, se puede realizar por métodos indirectos: Dilución isotópica de ^{15}N -cantidad disponible del nutrimento, y cantidad disponible del valor A (AIEA, 2001). En el primero de los métodos se establece una relación isotópica $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ superior a la abundancia natural uniforme en el suelo,

todos los tratamientos reciben la misma dosis y fuente de ^{15}N -fertilizante. En el suelo marcado con ^{15}N se aplican los tratamientos fertilizados con fuente de ^{14}N , comparando con un tratamiento control o referencia que nos indica la relación isotópica $^{15}\text{N} / ^{14}\text{N}$ del N disponible que las plantas ha tomado del suelo marcado, mientras las plantas de los tratamientos con fuente- ^{14}N presentaran valores mas bajos de ^{15}N , por la dilución del ^{15}N derivado del suelo. Mientras el valor A, se fundamenta en que la absorción de N de cada fuente, por plantas que disponen de diferentes fuentes de N, es proporcional a la cantidad disponible de cada fuente (Zapata, 1990).

El uso de residuos orgánicos como fuente de nitrógeno ha incrementado en el trópico húmedo. (Bingeman *et al.*, 1953; Azam *et al.*, 1993; Cadisch *et al.*, 1998; Sánchez *et al.*, 2000). Sin embargo tres cualidades del suelo son afectadas por el uso de residuos orgánicos: 1. Suministro directo de nutrientes, 2. efectos en el micro-clima del suelo, 3. efecto en la estructura del suelo. Para maximizar el potencial beneficiario de esta práctica agrícola es necesario predecir la cantidad de N suministrado por los residuos al cultivo y la sincronización de la liberación del nutriente y la absorción por el cultivo. Las técnicas empleadas son la de marcaje directo ^{15}N de residuos de cultivo y abonos orgánicos y la indirecta, el ^{15}N es añadido al suelo y a tratamientos con y sin residuos, la dilución por los aportes de N desde el residuo nos suministra el valor de nitrógeno desde los residuos (Hood *et al.*, 1999).

El N suministrado por el fertilizante bajo diferentes prácticas de manejo puede ser cuantificado: Método de colocación del fertilizante, tiempo de aplicación, naturaleza química y física de las fuentes (incluyendo fijación biológica), su interacción con manejo del cultivo (riego, uso coberturas, labranza y otros).

Abundancia Natural de ^{15}N

La variaciones en abundancia de ^{15}N de diferentes componentes de la biosfera esta típicamente entre 1 a 2 % del N_2 atmosférico (0,3663 atom% ^{15}N) Estas variaciones son resultado de la discriminación isotópica. En un sistema planta suelo dentro del ciclo de nitrógeno existen varios compartimientos, cuyos procesos generan fraccionamiento isotópico, enriqueciendo y/o empobreciendo los sustratos y los productos de procesos como desnitrificación, nitrificación, volatilización, fijación de N_2 , mineralización de N-orgánico, intercambio iónico, difusión y de masa. La definición de la unidad para expresar la Abundancia Natural de ^{15}N ocurre a nivel de $\delta^{15}\text{N} \text{‰}$, por mil de ^{15}N excesos ($^0/00 \text{ } ^{15}\text{N}$).

$$\delta^{15}\text{N} \text{‰} = \left(\left(\frac{^{15}\text{N}/^{14}\text{N}_{\text{Muestra}}}{^{15}\text{N}/^{14}\text{N}_{\text{Estándar}}} \right) - 1 \right) \times 100 \quad (3)$$

Como resultado de la discriminación isotópica que ocurre durante la formación de la mayoría de los suelos, éstos presentarán tenores más altos de abundancia ^{15}N que en la atmósfera. Así, el método de Abundancia Natural puede ser empleado para cuantificar la fijación biológica de plantas fijadoras, que tendrán un menor enriquecimiento de ^{15}N que las plantas no fijadoras (Kohl *et al.*, 1980; Hogberg, 1997).

Mineralización y Nitrificación

A través de técnicas isotópicas es posible medir la mineralización bruta, la conversión de materia orgánica en amonio, por el método de dilución (Barraclough, 1991). El principio de la técnica se fundamenta en el marcaje con ^{15}N del "pool" de amonio y cambios en el enriquecimiento de ^{15}N y el tamaño del pool son monitoreados en el tiempo. Se asume que el marcaje del amonio es uniforme y que las pérdidas de pool del amonio tiene la misma abundancia de ^{15}N que todo el pool.

En el caso de la nitrificación, el "pool" de nitrato es el marcado con ^{15}N , el enriquecimiento de ^{15}N y el tamaño del pool de nitrato es medido en el tiempo (Stark y Hart, 1997).

Aspectos técnicos del uso de ^{15}N

La escala de los experimentos utilizando las técnicas de ^{15}N va desde ensayos de incubación de suelo, en cámaras de crecimiento e invernaderos hasta estudios de campo. En los primeros se concentran estudios de mecanismos de transformaciones del nitrógeno mientras que en los estudios de campo, se miden procesos en condiciones más realistas, como las condiciones medioambientales y de manejo influyen sobre los procesos.

En estudios de campo se debe sortear la complejidad del sistema. Por ello se debe prestar especial atención a los siguientes aspectos:

- ✓ Estimación el grado de dilución del trazador en suelo y planta para decidir el enriquecimiento a usar. En ensayos de campo, el ^{15}N proveniente del fertilizante, es diluido en la planta dos a cuatro veces por el ^{14}N proveniente del suelo. Mientras, en estudios con fuentes orgánicas de ^{15}N , la dilución es mucho mayor.
- ✓ El material marcado con ^{15}N debe ser aplicado uniformemente en un área sustancial, su distribución en la parcela debe ser uniforme a pesar que se muestre solo el área central. Aplicaciones en sólido y en solución.
- ✓ Tamaño de la parcela para obtener resultados representativos y reproducibles. Está determinado por el tamaño de planta y la distancia de siembra, así como las propiedades de suelo y el clima (particularmente cantidad e intensidad de precipitación).
- ✓ Muestro y preparación de las muestras representativas, a fin de evitar contaminación cruzada. La representabilidad de las muestras de suelo y planta corrigiendo los efectos de borde y de variabilidad espacial dentro de la parcela y entre las parcelas.
- ✓ Métodos analíticos para determinar N total y ^{15}N en suelo y planta. El método debe asegurar una completa recuperación de todas las formas de N de la muestra.

Fertilización y dinámica del ^{15}N en sistemas de cultivo en Venezuela.

El uso de las técnicas isotópicas utilizando ^{15}N en la investigación de fertilizantes nitrogenados y la dinámica del nitrógeno en el país ha sido impulsado desde la década del los 90 (Cuadro 1), con la creación del Laboratorio de Isótopos Estables ^{15}N en la Unidad de Laboratorios de Suelo, CENIAP-INIA. El laboratorio fue instalado con la colaboración del Organismo Internacional de Energía Atómica, 1989.

Las técnicas isotópicas utilizando fertilizantes nitrogenados marcado con ^{15}N se han empleado mayormente para determinar la eficiencia de fertilización nitrogenada en cultivos cerealeros (Cabrer-Bisbal y Ramírez, 1993, Cabrer-Bisbal *et al.*, 1999; Delgado *et al.*, 2001), en la fijación biológica de leguminosas graníferas (Izaguirre-Mayoral y Sicardi, 2000; España *et al.*, 2000) y leguminosas forrajeras (Gil *et al.* 1997), en el uso de residuos de cosecha como fuente de nitrógeno (Torres *et al.* 2002; España *et al.* 2002) y en estudios de balance del N en sistemas de cultivo (Hétier *et al.*, 1989; Carrillo de Cori *et al.*, 1992; Cabrer-Bisbal *et al.* 2001).

En el marco del proyecto Técnicas Nucleares aplicadas a la Ciencia del suelo (Ven/5/016-1), los estudios se concentraron en determinar la recuperación del N-fertilizante (Ndff %) de los cultivos de maíz y sorgo. Delgado *et al.* (2001), se plantearon la posibilidad de realizar la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz previo a la siembra, considerando la forma de colocación. Se evaluó la forma de colocación de urea: al voleo e incorporado con rastra, al voleo incorporado con disco y en banda, en un Fluventic Haplustolls. Se reportan valores de eficiencia de recuperación del N-fertilizante bajos (19-24 %), donde los tratamientos de aplicación influyeron sensiblemente en la disponibilidad de N del suelo.

En un ensayo de campo, en un alfisol de los Llanos Occidentales, la eficiencia de recuperación de N-fertilizante por el maíz reportado por Hétier *et al.* (1989) fue entre 31 a 39 %. Mientras en un Vertisol de Guárico, la recuperación de nitrógeno por plantas de arroz fue entre 32 y 48 % con fertilización con sulfato de amonio y 27 a 35 % utilizando urea (Carrillo de Cori *et al.*, 1992). En estudios de labranza en

el sistema de cultivo de maíz, en un Typic Haplusterts de los Llanos Centrales, se reportan eficiencias de recuperación por el cultivo del 32 % para labranza conservacionista y del 36 % para la siembra directa previo un cincel (Cabrera-Bisbal *et al.*, 1999). La respuesta estuvo definida por las condiciones hídricas imperantes, la ruptura del cincel permitió un drenaje efectivo en la zona de enraizamiento del cultivo, aumentado las condiciones de aireación.

Cuadro 1. Estudios de Investigación usando la Técnica ^{15}N en Suelo-Planta

Tipo de Estudio	Descripción	Sistema de Cultivo	Referencias
		Pastos	Hetiér <i>et al.</i> (1989) Gil <i>et al.</i> (1997)
Mecanismos para incrementar la absorción de N-fertilizante por la planta	Prácticas de Manejo N-Fertilizante Fuentes, Épocas, Formas, Dosis	Maíz	Cabrera-Bisbal y Ramírez (1993) Cabrera-Bisbal <i>et al.</i> (1999) Delgado <i>et al.</i> (2001) Hetiér <i>et al.</i> (1989)
		Arroz	Carrillo de Cori <i>et al.</i> (1992)
		Sorgo	López <i>et al.</i> (2001)
Mejora de la nutrición de cultivo	Mejoras Fijación Biológica de N	Leguminosa forrajera	Gil <i>et al.</i> (1997)
		Leguminosa de grano	Izaguirre-Mayoral y Sicardi (2000) España <i>et al.</i> (2000)
	Cambios de materia orgánica en agro sistemas	Sorgo-Crotalaria	Torres <i>et al.</i> (2002)
		Maíz	España <i>et al.</i> (2002)
Ciclo del N en los suelos		Arroz	Carrillo de Cori <i>et al.</i> 1(1992)
	Balace de N suelo-Planta	Maíz-Pastos	Hetiér <i>et al.</i> (1989)
		Maíz-Soya	Cabrera-Bisbal <i>et al.</i> (2001)

En ensayos experimentales en el campo ubicados en el paisaje de altiplanicie de mesa conservada del estado Guárico (suelos ácidos de sabanas) se ha determinado la eficiencia de recuperación de N del fertilizante y del residuo en un sistema de producción del cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor*), encontrándose valores entre 21- 26% (López *et al.* 2001).

En el sistema planta-microorganismo fijadores de N_2 se ha realizado investigación con la aplicación de la técnica isotópica de ^{15}N concentrado prácticamente en leguminosas de importancia alimentaria (soya y frijón) y leguminosas forrajeras. Recientemente se han reportado algunos resultados en abonos verdes o cultivos de coberturas.

En estudios de Rhizobium- leguminosas del Laboratorio de Biotecnología y Virología Vegetal, IVIC se aplicó la metodología de ^{15}N en la cuantificación de fijación simbiótica de N de variedades de frijón, sometidas a sistemas contrastantes de inoculación (Izaguirre-Mayoral y Sicardi, 2000), el Ndfa% fue de

80% en la variedad Tuy, no reportándose una respuesta diferencial y significativa con el método de aplicación del inóculo. Los estudios realizados por España *et al.* (2000), señalan valores mucho más bajos de Ndfa% (54-67) en soya bajo dos sistemas de labranza en los Llanos Centrales. En leguminosas forrajeras se reporta la FBN de *Centrosema pubescens*, *Stylosanthes* y *Pueraria phaseoloides* (Gil *et al.* 1997), quienes reportan valores significantes (51-69%). En los tratamientos donde las leguminosas estaban en asociación con una gramínea (*Brachiaria humidicola*), no mostraron una clara transferencia del N fijado a la gramínea.

Estudios de balance - destino del nitrógeno en sistemas del cultivo de maíz se han realizado en dos localidades de los Llanos: Barinas y Guárico. Hétiér *et al.* (1989) en un Alfisol representativo de los Llanos Occidentales, determina que el maíz acumula un total de 138 Kg N ha⁻¹, de los cuales el 29 % proviene del fertilizante y el 71 % proviene del N del suelo, mientras las malezas acumularon 71 Kg de nitrógeno, donde sólo 2 Kg proviene del fertilizante. En el suelo (0-40cm) se recuperó el 39 Kg de N proveniente de fertilizante; finalmente 65 Kg de N del fertilizante no fueron contabilizados, atribuido a pérdidas, las cuales fueron relacionadas con el lavado, medido en el lisímetro. Con ensayos en el área de influencia del Sistema de Riego Río Guárico (Carrillo de Cori *et al.* 1992), se estableció el balance de N en arroz de riego, utilizando dos fuentes de nitrógeno (sulfato de amonio y urea). Los autores señalan que la recuperación de N en la planta fue mayor con la aplicación de sulfato de amonio (32 – 48 %) que con urea (27 – 35 %). En el suelo se recuperó una fracción importante (24-26 %) al final del ciclo del cultivo. Las mayores pérdidas de N con la aplicación de urea fueron atribuidas a la volatilización de amonio.

Con el propósito de establecer el flujo y eficiencia de recuperación de nitrógeno del fertilizante y del residuo se han realizado estudios en dos localidades de los Llanos Centrales. Con la técnica isotópica de ¹⁵N, se ha determinado cuanto nitrógeno aplicado es recuperado por la planta, cuanto es inmovilizado en el suelo, cuanto es perdido y cuanto es aportado por el cultivo en rotación por fijación, a fin de precisar tecnologías de manejo de fertilizantes y reducir costos de producción.

Cabrera-Bisbal *et al.* (2001) reporta el balance - destino de N-fertilizante en el sistema de cultivo de maíz, bajo tres tratamientos de labranza con incorporación de residuos de cosecha, en El Sombrero-Guárico. En la figura 2 se presenta el balance de N derivado del fertilizante en el tratamiento siembra directa SD, con su distribución en diferentes compartimientos del sistema suelo-planta, en el cultivo de maíz. En el sistema conservacionista, el N-fertilizante residual suelo más residuos (68,5 Kg ha⁻¹) fue 61,2 % que el alcanzado en la labranza convencional. Estos resultados fueron atribuidos a la mayor participación del N-fertilizante asociado a los residuos de cosecha, con pérdidas de 50,9 Kg de N ha⁻¹. En ensayos en Espino (Guárico), López *et al.* (2003) presentan la distribución de los 120 Kg de N/ha aplicados como fertilizante en el cultivo de *Sorghum bicolor*, indicando que sólo el 18% de esa cantidad permanece en los primeros 40 cm de profundidad del perfil del suelo, y que éste porcentaje sumado al 19 % del absorbido por la planta, nos permite conocer que el 63 % del N-fertilizante no se ha podido contabilizar, presentándose pérdidas de N del sistema de 75 Kg ha⁻¹; Es importante destacar que la precipitación de ese año durante el ciclo del cultivo fue de 549 mm, tres veces más alta que en años anteriores para ese mismo periodo del año; además hay que recordar que la textura de ese suelo es gruesa, arena francosa (aF) hasta los 60 cm, donde más del 80% es arena y menos del 12% arcilla; por lo cual se le atribuyen a importantes pérdidas por lixiviación en el perfil del suelo, más allá de los 40 cm, con lo que pudiéramos sugerir que gran parte de ese 63 % del N-fertilizante esté perdiéndose por lavado a estratos inferiores.

El uso de fuentes residuales de nitrógeno orgánico, especialmente las generadas en ciclos de cultivo previos, se ha promovido en los últimos años. La evaluación de los efectos de incorporación de residuos de cultivo marcados con ¹⁵N sobre la dinámica del nitrógeno, en el país lo podemos encontrar en dos tipos de estudios; en condiciones controladas y de campo. Torres *et al.* (2002) utilizando suelos agrícolas, aplicaron diferentes cantidades de residuos *Crotalaria* (75 y 88 Kg de N ha⁻¹, en Inceptisol (Guárico) y un Alfisol (Portuguesa). En estudios de campo en un Vertisol (Guárico) la cantidad de N liberado a partir de los residuos de cosecha de maíz fue 49,6 Kg N ha⁻¹ en labranza convencional, lo que representó 52 y 44 % mayor con relación a la siembra directa y cincel previo siembra directa (España *et*

al. 2002). Estos resultados confirmaron una mayor actividad de mineralización en los sistemas de cultivo de mayor perturbación de la cama de siembra. Sin embargo, la labranza convencional con los mayores contenidos de residuos marcados, mostró los menores valores de recuperación de ¹⁵N-residuos por la planta, lo que se asocio a las mayores pérdidas en el sistema de laboreo (Cabrera-Bisbal *et al.*, 2001).

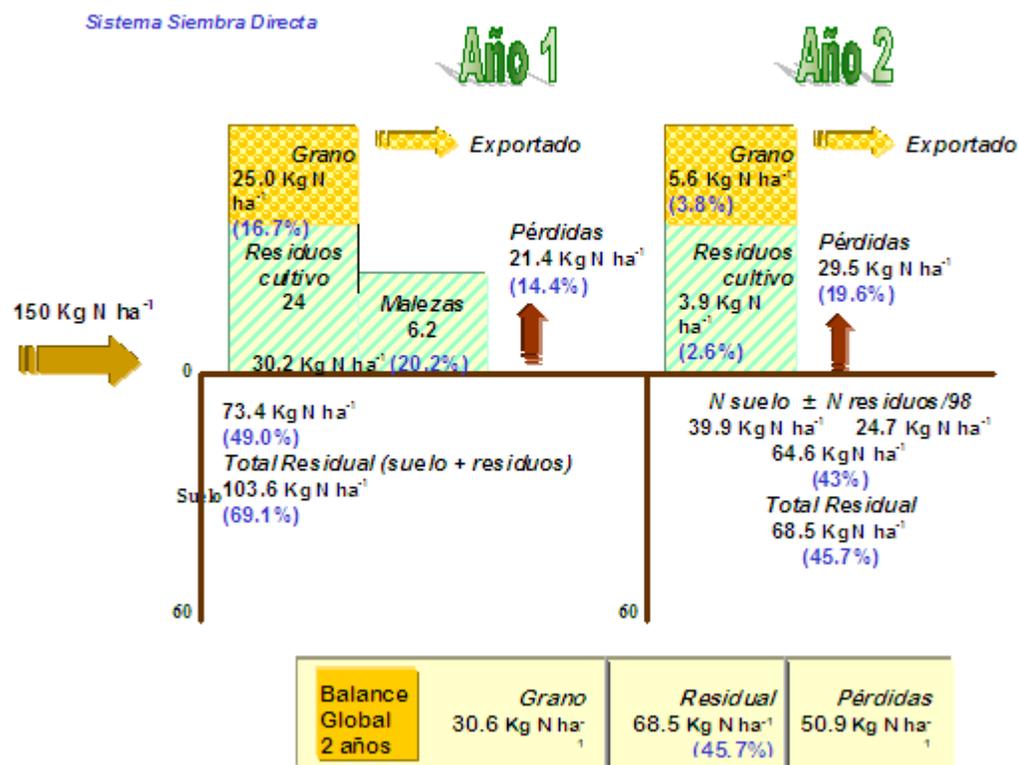


Figura 2. Destino del N-fertilizante en el sistema suelo-planta, en cultivo de maíz

CONCLUSIONES GENERALES

Con el uso del ¹⁵N es posible explorar, cuantificar, y entender los procesos en la relación suelo-planta que son imposibles de visualizar sin el uso de un trazador. A pesar de la acelerada aplicación de la técnica, es necesario tener una atención detallada en dos aspectos fundamentales de la misma: 1. Operatividad del uso del trazador en condiciones de campo, metodologías de laboratorio, preparación de muestras y el análisis. 2. Interpretación de los resultados, asumiendo que los datos deben ser evaluados críticamente para cada situación en particular.

Los datos generados con la aplicación de la técnica en combinación con la modelación matemática de procesos del sistema son una herramienta particularmente poderosa.

AGRADECIMIENTO

La autora desea expresar su agradecimiento al Fundacite-Aragua por el soporte financiero para asistir al V Congreso Venezolano de Ecología, marco del Simposio “El suelo como sistema viviente”.

LITERATURA CITADA

- Azam F., F.W. Simmons y R. L. Mulvaney** 1993. Mineralization of N from plant residues and its interaction with native soil N. *Soil Biology and biochemistry* 29:1295-1299.
- Barraclough D.** 1991. The use of mean pool abundances to interpret ¹⁵N tracer experiments. II Application. *Plant and Soil* 131:97-105.
- Bingeman C. W., Varner J. E: y W. P: Martín.** 1953. The effect of addition of organic materials on the decomposition of an organic soil. *Soil Science of Proceedings* 17:34-38.
- Boddey R. M., O. P. Oliveira, B. J. R. de Alves y S. Uргуиаgа.** 1996. The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agricultural system in the tropic. *Soil Biology and Biochemistry* 29:787-799.
- Cabrera-Bisbal E. y R. Ramírez.** 1993. Evaluación de la eficiencia de absorción y utilización de nitrógeno en algunos cultivos de sorgo. Informe CINAGRI Cooperación Técnica OIEA- Gobierno de Venezuela. Maracay, Venezuela. 23 p.
- Cabrera-Bisbal E., M. España, M. C. Núñez y B. Rodríguez.** 1999. Recuperación de fertilizante ¹⁵N por maíz en sistemas de labranza conservacionista en los Llanos Centrales de Venezuela. 14° Congreso Latino Americano de la Ciencia del Suelo. CD-Rom Resúmenes. Pucón Chile.
- Cabrera-Bisbal E., M. España y B. Rodríguez.** 2001. Nitrogen use and ¹⁵N-fertilizer fate in maize under conservation tillage systems in a tropical semiarid region of Venezuela. 11 th Nitrogen Workshop. Resúmenes. Reims, France. 281-282 p.
- Cadisch G., E. Handayanto, C. Malama, F. Seyni y K. E. Giller.** 1998. N recovery from legume prunings and priming effects are governed by residue quality. *Plant and Soil* 205: 125-134.
- Carrillo de Cori, C. E., E. Casanova y G. Rico.** 1992. Balance de nitrógeno en arroz de riego, en un vertisol del estado Guárico. *Agronomía Tropical* 42(1-2):67-84.
- Delgado R., R. Ramírez y S. Uргуиаgа.** 2001. Colocación del nitrógeno en el suelo y la eficiencia de uso por el maíz. *Agronomía Tropical* 51(3): 337-350.
- España M., B. Rodríguez, E. Cabrera-Bisbal y B. Cecatti.** 2002. Actividades enzimáticas y contribución de residuos de cosecha de maíz al nitrógeno del suelo en sistemas de labranza, en los Llanos Centrales, Venezuela. *Terra* 20:81-86.
- España M., E. Cabrera-Bisbal y B. Rodríguez.** 2000. Evaluación de la fijación biológica de nitrógeno en soya en dos sistemas de labranza mediante la utilización de ¹⁵N In: Peña Cabrales J. J (Ed.) La fijación biológica de nitrógeno en América Latina: El aporte de las Técnicas Isotópicas. Irapuato, México. 117-120.
- Gil J. L., O. Guenni y Y. Espinoza.** 1997. Biological N₂ fixation by three tropical forage legumes and its transfer to *Brachiaria humidicola* and mixed swards. *Soil Biology and Biochemistry* 29:999-1004.
- Hetiér J. M., G. Sarmiento, T. Aldara, M. Zuvia, D. Acevedo y J. M: Thiéry.** 1989. The fate of nitrogen under maize and pasture cultivated on an alfisol in the western Llanos Savannas, Venezuela. *Plant and Soil* 114:295-302.
- Hogberg P.** 1997. ¹⁵N natural abundance in soil-plant systems (review). *New Phytology* 137:179-203.
- Hood R. C., K. Goran , M. Aigner y G. Hardarson.** 1999. A comparison of direct and indirect ¹⁵N isotope techniques for estimating crop N uptake from organic residue decomposition. *Plant and Soil* 208: 259-270.
- IAEA.** 2001. Use of Isotope and Radiation Methods in Soil and Water Management and Crop Nutrition Manual. Training course series 14. Vienna, Austria. 245 p.
- Izaguirre-Mayoral M. L. y M. Sicardi de Mallorca.** 2000. Efecto de factores bióticos y abióticos sobre la fijación simbiótica de nitrógeno en leguminosas tropicales. In: Peña Cabrales J. J (ed) La fijación biológica de nitrógeno en América Latina: El aporte de las Técnicas Isotópicas. Irapuato, México. 109-116.
- Kohl H., G. Sheare y J. E. Harper.** 1980. Estimates N₂ fixation based on difference in natural abundance of ¹⁵N in nodulating and non-nodulating isolines of soybeans. *Plant Physiology* 66: 61-65.
- López M. E. Cabrera-Bisbal, M. España, A. Florentino, M. Toro y N. Alfonso,** 2001. Desarrollo de estrategias para el manejo sostenible de las sabanas ácidas de Venezuela Informe 2do Avance Contrato de Investigación INIA-AIEA/FAO (VEN 10962-R1). Maracay.

- López M. E. Cabrera-Bisbal, M. España, A. Florentino, M. Toro y N. Alfonso**, 2003. Desarrollo de estrategias para el manejo sostenible de las sabanas ácidas de Venezuela Informe 3er Avance Contrato de Investigación INIA-AIEA/FAO (VEN 10962-R1). Maracay.
- Rice C.W, J. L. Havlin y J. S. Schepers**. 1995. Rational nitrogen fertilization in intensive cropping systems. In: Ahmad N (Ed.) Nitrogen Economy in Tropical Soils. Netherlands. Kluwer Academic Publishers. 89-97.
- Sanchez P., G. Blair, R. Till y M. Faint**. 2000. Production of labeled plant materials to trace the fate of residue-derived carbon, nitrogen and sulfur. In: Proceedings of the FAO/IAEA International Symposium on Nuclear Techniques in Integrated Plant Nutrient, Water and Soil Management. Vienna, Austria, 16-20 October, 2000.
- Stark J. M. y S. C. Hart**. 1997. High rates of nitrification and nitrate turnover in undisturbed coniferous forest. *Nature* 385:61-64.
- Torres A., Rivero C., Ampueda J., y C. E. de Cori**. 2002. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos marcado con ¹⁵N sobre la dinámica del nitrógeno en dos suelos venezolanos. *Rev. Fac. Agronomía (Maracay)* 28: 105-116.
- Urquiaga S. y F. Zapata**. 2000. Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe. Porto Alegre: Genesis, Río de Janeiro, EMBRAPA Agro biología 110 p.
- Watanabe I**. 1987. Summary report of Azolla program of International Network of Soil fertility and Fertilizer evaluation for Rice. *Inter. Rice Res. Inst. Los Baños Philippines*.
- Zapata F**. 1990. Técnicas isotópicas en estudios sobre la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas. In: Hardson G. (Ed.) Empleo de técnicas nucleares en estudios de la relación suelo-planta. IEAE, Viena, Austria. 79-171.