Balance de tres fertilizantes nitrogenados ^{15}N en un Oxisol cubano cultivado con *Coffea arabica* L.

Bustamante C.*, Ochoa M. & Rodríguez Maritza I.

Key words: Coffea – N fertilizer – ^{15}N – Oxisol.

Resumen

*Utilizando tres fuentes de fertilizantes nitrogenados ($^{15}NH_4NO_3$, $(^{15}NH_2)_2CO$ y $K^{15}NO_3$) se desarrolló un experimento de campo en un Oxisol cultivado con cafetos (*Coffea arabica *L.) bajo sombra de pinos (*Pinus cubensis *Griceb) con el objetivo de establecer el balance del N en el sistema planta – suelo – fertilizante. Las fuentes se aplicaron en la dosis de 100 kg de N/ha con un enriquecimiento de 5 at % ^{15}N. Al finalizar el experimento, de acuerdo con la fuente, fue absorbido entre el 32,2 % y el 41,4 % del ^{15}N. Con las hojas de los cafetos regresó al sistema entre el 2,6 % y el 4,4 % del fertilizante aplicado. El 0,4 % del N del fertilizante permaneció en el suelo en forma amoniacal y las pérdidas no calculadas estuvieron entre 53,6 % y 64,3 % de los fertilizantes aplicados.*

Summary

*A field trial was carried out on Cuban Oxisol planted with coffee trees, (*Coffea arabica *L.) using three N-fertilizer sources ($^{15}NH_4NO_3$, $(^{15}NH_2)_2CO$ and $K^{15}NO_3$) under* Pinus cubensis *Griceb shade to estimate the N-balance in plant – soil – fertilizer system. The sources were applied at the rate 100 kg N/ha with the an enrichment of 5 % of ^{15}N. At harvesting time, between 32.2% and 41.4% of the ^{15}N, were taken up by the plants, according to the sources, with vegetative drop was returned to the system between 2.6 and 4.4% of the fertilizer applied. About 0.4% of N in ammoniacal form remained in the soil and the non-measured losses were between 53.6 and 64.3% of the fertilizers applied.*

Introducción

La determinación de la eficiencia del uso de los fertilizantes por los cultivos constituye uno de los principales objetivos de las investigaciones agroquímicas ya que mediante esta se puede llegar a establecer un sistema de abonado racional y ecológico.

En este contexto, el nitrógeno continúa siendo el elemento más estudiado, lo que principalmente se debe al dominio del método isotópico, mediante el uso del N marcado (19). Sin embargo estas investigaciones se han realizado principalmente en cultivos de ciclo anual, mientras que son pocos los resultados informados con cultivos perennes y en especial el cafeto (16).

El monocultivo del cafeto en conjunción con las prácticas agronómicas y los fertilizantes provocan cambios en las condiciones del suelo que se reflejan en los componentes de este ecosistema. Las investigaciones realizadas demuestran que los conocimientos sobre las transformaciones del nitrógeno son exiguos, y en muchos casos desconocidos (1, 2, 15).

El cafeto comienza su ciclo productivo a partir del cuarto año y es en esta fase donde se exportan cantidades considerables de nitrógeno, potasio y fósforo. Debido al costo del fertilizante marcado, el equipamiento especial y el tiempo requerido para el análisis es difícil conducir experimentos desde su plantación.

El objetivo de la investigación fue determinar en condiciones de campo, el balance del ^{15}N proveniente de tres fuentes de fertilizantes nitrogenados aplicadas a cafetos de 4 años de edad cultivados en un Oxisol de Cuba.

Materiales y metodos

El experimento se desarrolló en áreas de la Estación Central de Investigaciones de Café y Cacao localizadas en Pinares de Mayari (650 m.s.n.m.), en un Oxisol (0,17 % N) cultivado con *Coffea arabica* L. var « Isla 5 – 15 » de 4 años de plantado a 1 m x 2 m bajo sombra de pino (*Pinus cubensis* Griceb).

Se estudiaron las siguientes variantes :

Fondo (150 kg P_2O_5/ha + 100 kg K_2O/ha)
Fondo + 100 kg de N/ha en forma de $^{15}NH_4NO_3$
Fondo + 100 kg de N/ha en forma de $(^{15}NH_2)_2CO$
Fondo + 100 kg de N/ha en forma de $K^{15}NO_3$.

El fertilizante N con un enriquecimiento de 5 at % ^{15}N se aplicó en disolución acuosa fraccionados en tres momentos – enero, abril y julio (33 % en cada época). La dosis de ^{15}N a aplicar en cada mes se mezcló con la cantidad calculada de cada fuente sin enriquecer, se diluyó en agua y se aplicó alrededor de las plantas a la

* Estación Central de Investigaciones de Café y Cacao – Cruce de los Baños, Santiago de Cuba, Tercer Frente, CP 92.700 Cuba.
Recíbo en le 09.10.95 y aceptadó en el 11.02.97.

distancia de 30 cm del tallo a una profundidad de 5 cm. El fertilizante fosfórico y potásico se aplicó en el mes de enero.

Cada uno de los tres cafetos de cálculo que constituían las parcelas experimentales se aislaron mediante unas láminas metálicas sin fondo colocadas en cuadrado a 1 m de cada planta.

Las transformaciones del N se dividieron en cuatro renglones : utilización por las plantas; regreso al sistema; contenido de amonio en el suelo en la profundidad de 0 – 20 cm y nitrógeno no detectado durante la investigación.

Para la determinación de la utilización de los fertilizantes nitrogenados se cortaron los cafetos en el mes de diciembre, se dividieron en sus órganos vegetativos, se pesaron, se secaron a 70 °C hasta peso constante para el cálculo de la masa seca y se analizaron con los métodos convencionales. El coeficiente de utilización se calculó como lo relación : N tomado por la planta / dosis de fertilizante aplicado, en gramos.

El retorno al sistema del N de los fertilizantes se evaluó mediante la recogida mensual de las hojas caídas de los cafetos, su secado, pesado y posterior análisis químico.

La determinación del amonio de los fertilizantes en el suelo se evaluó según el método de Kuleshov y Kundu (8), a los 8, 16, 24, 32, 99 y 293 días de iniciado el experimento. Las muestras de suelo se tomaron a 20 cm de profundidad de la zona fertilizada. Estas muestras se secaron, molieron y guardaron en botellas de cristal para su análisis químico.

El renglón no contabilizado se calculó como la diferencia en % entre la suma de los tres renglones anteriores y la cantidad de nitrógeno aplicado tomando el último como 100 %.

Tabla 1

Variación del contenido de amonio del suelo (a – NH^+_4), y derivado del fertilizante (b – NH^+_4 ddf) por efecto de la aplicación de tres fuentes de fertilizantes N en un Oxisol (0 – 20 cm).

	mg NH^+_4 / 100 gr suelo					
	$^{15}NH_4NO_3$		$(^{15}NH_2)_2CO$		$^{15}KNO_3$	
días	a	b	a	b	a	b
8	19,16	n.d.	13,93	n.d.	12,93	n.d.
16	20,64	13,58	20,32	18,00	21,83	15,99
24	25,55	n.d.	25.25	n.d.	21,84	n.d.
32	22,85	18,49	23,66	17,66	19,82	8,63
99	15,12	5,83	15,68	5,16	15,98	5,29
293	13,44	2,08	12,28	3,39	14,82	3,55

n.d. no determinado.

En todos los casos el N se determinó por digestión Kjeldahl y destilación en corriente de vapor. Los destilados de cada determinación fueron evaporados hasta la determinación de la relación $(^{15}N^{14}N)^+/(^{14}N^{14}N)^{+\cdot}$.

El ^{15}N se determinó en un espectrómetro de masa perteneciente al Instituto de Investigaciones de suelo y agroquímica de Ucrania y en el ISONITROMAT del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas de Cuba.

Los valores del N derivado del fertilizante (%^{15}Nddf) en las muestras se calculó por la ecuación : X = A (B – C) / D; donde X – cantidad de fertilizante ^{15}N en suelo o planta, A – total de nitrógeno en la muestra, B – exceso de %^{15}N en la muestra, C – %^{15}N en el control y D – exceso de ^{15}N en el fertilizante aplicado.

Resultados y discusión

N – fertilizante en el suelo

Las concentraciones de amonio aumentaron y alcanzaron los mayores valores el día 24 post-aplicación para el nitrato de amonio y la urea y al décimo día para el nitrato de potasio (Tabla 1), siendo estos valores superiores a los 14 días informados para la urea en un Oxisol en Costa Rica (10).

El incremento de la concentración de amonio al aplicar urea fue más lento que al aplicar nitrato de amonio, lo que puede estar relacionado con la ausencia en la urea del catión amonio, siendo necesaria su hidrólisis inicial en el suelo. Ese proceso en los suelos lateríticos de la India (18) demoró más de 20 días. En un suelo Ferralítico rojo compactado en Cuba se encontraron los mayores valores de amonio a los 30 días de la aplicación de la urea (14).

Con la aplicación de nitrato de potasio se incrementaron los valores de amonio en el suelo. Este hecho se explica por el aumento de la actividad microbiana lo que acelera la mineralización de las sustancias orgánicas del suelo (6, 11).

El análisis isotópico del suelo a los 16, 32, 99 y 293 días reveló la existencia de amonio derivado del fertilizante, variando su participación en la composición del amonio total en dependencia de la fuente de fertilizante utilizada y del tiempo de muestreo (Tabla 1). De esta manera, si la mayor participación del ^{15}Nddf al aplicar urea y nitrato de amonio se encontró en el día 32 (74 % y 80 % respectivamente del amonio determinado) y luego disminuyó hacia el día 293 (27 % y 15 %), su participación al aplicar el nitrato de potasio mostró los mayores valores el día 16 después de la fertilización y disminuyó (23 % del amonio determinado) hacia el final del experimento.

Regreso al sistema

La caída de los restos vegetales (hojas) no dependió de la fuente aplicada, al igual que los contenidos de nitrógeno en las mismas (Tabla 2). La cantidad de residuos orgánicos incorporados al suelo estuvo condicionada por las características del cultivo y el clima de la zona. Los mayores valores se observaron en sep-

Tabla 2

Dinámica de caída, contenido de N y %^{15}Nddf en los restos caídos de los cafetos

	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Total
				Dinámica de caída, g					
$^{15}NH_4NO_3$	79,0	78,7	30,0	39,0	28,0	139,3	58,0	185,7	637,7
$(^{15}NH_2)_2CO$	104,7	89,0	43,3	55,3	56,0	203,7	60,7	189,0	801,7
$K^{15}NO_3$	64,3	66,7	27,6	35,0	24,7	105,3	48,7	151,4	523,7
				N, %					
$^{15}NH_4NO_3$	1,96	2,10	1,96	1,88	1,81	1,88	1,67	1,75	
$(^{15}NH_2)_2CO$	1,96	2,06	1,96	1,88	1,68	1,88	1,64	1,75	
$K^{15}NO_3$	1,89	2,13	1,96	1,75	1,74	1,75	1,68	1,75	
				%^{15}Nddf					
$^{15}NH_4NO_3$	0,029	0,088	0,059	0,054	0,107	0,096	0,117	0,070	
$(^{15}NH_2)_2CO$	0,082	0,103	0,063	0,079	0,138	0,116	0,151	0,089	
$K^{15}NO_3$	0,069	0,089	0,067	0,042	0,146	0,112	0,166	0,089	

tiembre y noviembre (meses de cosecha) y en los meses de mayor precipitación (marzo – mayo) con valores medios para las tres fuentes estudiadas de 3,3 t / ha de materia seca en 8 meses. El tratamiento con urea aportó la mayor biomasa, seguida de las formas nítricas del fertilizante nitrogenado.

El contenido de N (Tabla 2) varió en función del tiempo disminuyendo de abril a noviembre (a medida que ocurrió la maduración de los frutos), lo que confirma que al incrementarse las exigencias del cafeto en N el mecanismo de reutilización se vuelve más efectivo (12, 13).

Los restos vegetales retornaron al sistema entre 54 kg y 76,5 kg N / ha en los 8 meses evaluados.

El Nddf se encontró en las hojas caídas. En el periodo de abril a julio el contenido de ^{15}N osciló entre 0,029 % y 0,103 % y se alcanzaron los mayores valores en el tratamiento con urea. La aplicación del fertilizante en julio provocó un aumento considerable del ^{15}N y se encontraron los máximos contenidos en el tratamiento con urea y nitrato de potasio. Al finalizar el experimento los tenores de ^{15}N fueron cercanos al los del mes de abril.

Sin duda este N no se incluye inmediatamente en la nutrición de los cafetos, pues debe inmovilizarse paraluego mineralizarse. el acumulado del N en el periodo fue de 2,6 %; 4,4 % y 3 % del fertilizante aplicado para el nitrato de amonio, la urea y el nitrato de potasio respectivamente (Tabla 5).

Utilización por las plantas

La fertilización N incrementó la extracción de N por los cafetos independientemente de la fuente utilizada (Tabla 4). La fertilización en la dosis de 100 kg de N / ha incrementó la participación del N nativo del suelo en la nutrición de los cafetos. Este hecho ha sido informado por varios investigadores a nivel mundial (2, 7, 17) y recibe el nombre de « priming – effect ». Este efecto fue similar para las fuentes de N nítrico y amoniacal e inferior para la urea.

El mayor porcentaje del ^{15}N se localizó en las hojas de los cafetos (10 %), en el resto de los órganos vegetativos se encontró la mitad de esta cantidad (Tabla 3). Los mayores valores de absorción se encontraron en los tratamientos con la urea y el nitrato de amonio.

A pesar de la corta duración de la investigación se determinó que en el Oxisol la ausencia de fertilizantes N reduce significativamente la producción (7,25 t / ha de café cereza). Valores estadísticamente superiores, pero sin diferenciarse entre si, se obtuvieron al aplicar las tres fuentes de fertilizantes estudiatas (Tabla 4).

Balance de los fertilizantes nitrogenados

Se logró captar dentro del sistema el 42,8 %; 46;4 % y el 35,7 % del fertilizante aplicado para el nitrato de amonio, la urea y el nitrato de potasio respectivamente (Tabla 5); valores que se encuentran dentro del rango observado a nivel mundial. A pesar de fraccionarse el nitrógeno en tres oportunidades la pérdida de los mismos es grande y presentó valores de 57,2 %; 53,6 % y 64,3 % para las fuentes citadas anteriormente.

La lixiviación puede haber sido una de las causas de estos altos niveles de no detección del N. En los suelos Ferralíticos de Costa de Marfil (3) cultivados con

Tabla 3

%^{15}Nddf en los órganos de los cafetos al finalizar el experimento.

	Hojas	Ramas		Tallo		Frutos
		verdes	viejas	verdes	viejas	
$^{15}H_4NO_3$	14,20	6,95	5,83	6,39	7,38	8,29
$(^{15}NH_2)_2$	15,07	7,57	6,00	7,33	7,98	7,92
$K^{15}NO_3$	10,39	6,39	5,70	6,58	7,46	6,34

Tabla 4

Utilización del nitrógeno del suelo y de los fertilizantes nitrogenados por el cafeto (g / planta). Coeficiente de utilización y producción de los cafetos.

	Extracción de N	Nddf	Ndds	Coeficiente de utilización	Producción t.c.c./ha
PK (F)	32,25	–	32,35	–	7,25
F + $^{15}NH_4NO_3$	38,70	7,97	70,73	39,85	12,33
F + $(^{15}NH_2)_2CO$	75,66	8,29	67,37	41,45	10,73
F + $K^{15}NO_3$	79,34	6,45	72,89	32,25	11,58
M.D.S.$_{0,5}$ T					2,19

t.c.c. / ha – toneladas de café cereza por hectárea.

maíz y algodón, las pérdidas por lavado alcanzan valores de 5 – 10 % para la urea y 8 – 25 % para las formas nítricas de fertilizantes. En Cuba (14), en suelo Ferralítico cultivado con caña de azúcar se lavó entre el 4 – 10 % del fertilizante y se relacionó con precipitaciones de 919 mm en el periodo mayo – julio. La volatilización de la urea en este tipo de suelo alcanzó a los 30 días valores del 2,6 % del fertilizante aplicado (9).

Las complejas interacciones entre los cafetos y los árboles de sombra no descarta la utilización por los pinos del fertilizante N. Se conoce de la respuesta de aumento de la producción de madera por el pino al aplicar una fertilización balanceada (5), así como el hecho de que la fertilización mineral aplicada al cafeto aumenta los rendimientos de resina del pino y acorta su periodo de recuperación (4).

Los resultados mostraron que para los cafetos cultivados bajo sombra de pino en Oxisol la fertilización nitrogenada es recomendable efectuarla con urea o nitrato de amonio, fuentes que posibilitan un mejor aprovechamiento del fertilizante adicionado y ocasionan una menor utilización del nitrógeno nativo. Por otro lado la baja residualidad del N en forma aminiacal sugiere la fertilización anual para lograr producciones estables.

Estos resultados permiten afirmar que la investigación debe profundizar en estos eslabones del ciclo del N y ampliar los estudios sobre su utilización por los árboles de sombra, para lograr un manejo ecológico de la fertilización mineral.

Tabla 5

Balance de tres fertilizantes N en suelo Oxisol cultivado con cafetos (% del aplicado).

	Utilizado	Retorno	En forma NH^+_4	No detectado
$^{15}NH_4NO_3$	39,8	2,6	0,4	57,2
$(^{15}NH_2)_2CO$	41,4	4,4	0,5	53,6
$K^{15}NO_3$	32,3	3,0	0,4	64,3

Referencias

1. Aranguren J., Escalante C. & Herrera R., 1982, Nitrogen cycle of tropical perenial crops under shade trees, Plant and Soil. **67**, 247-258.
2. Bornesmiza E., 1982, Nitrogen cycle in coffee plantations, Plant and Soil. **67**, 241-246.
3. Chabalier P.F., 1985, Étude comparative de deux engrais azotés marqués par ^{15}N : urée et nitrate, sur une culture de maïs en Côte-d'Ivoire, L'Agronomie Tropicale. **40**, 107-114.
4. Delgado A., 1988, Influencia de la fertilización aplicada al café (*Coffea arabica*) en los rendimientos de resina de *Pinus caribaea* var. Caribaea, Morelet, Información Express. Forestales. **8**, 18-19.
5. Herrera Gricel *et al.*, 1988, Influencia de la fertilización mineral y orgánica en el desarrollo de una plantación de *Pinus caribaea* var. Caribaea, Información Express. Forestales. **8**, 12-14.
6. Korenkov D., 1976, Agrojimia azotnij udobrenii, Nauka, Moscú. pp. 210.
7. Kudeyarov V., 1989, Tsikl azota v pochve y efectivnost udobrenii, Nauka, Moscú, pp. 216.
8. Kuleshov M. & Kundu S., 1986, Vliania gipsa na prevachenie $(^{15}NH_4)_2SO_4$ v razlichnij tipaj pochv. pp. 95-107. In : JCJI, Voprosi genesisa, occultorivania pochv y povichenia efectivnosti udobrenii, Jarkov.
9. López T., 1984, Estudio sobre balance del nitrógeno en algunos suelos de Cuba. p. 108. In : Tesis de grado C. Dr. Ciencias Agríco las. La Habana.
10. Martínez C., Bornesmiza E. & Kass D., 1987, El nitrógeno en un sistema maíz – chayote en un Typic Dystropet de Turrialba, Costa Rica. I. Comportamiento en el suelo. Turrialba, 7. 331-335.
11. Michustin E. & Prokoshev V., 1946, Izmenenie sostava pochvenoi miklofori v resultate dlitelnogo priminenia udobrenii, Mikrobiologia. **18,** 30-46.
12. Rivera R. & Sam Ofelia, 1983, Estudio preliminar de la relación crecimiento vegetativo del fruto y el estado nutricional en *Coffea arabica* L. (var Caturra), a plena exposición solar, cultivos Tropicales. **5**, 389-406.
13. Rivera R., 1987, Nutrición, fertilización y balance del fertilizante nitrogenado (^{15}N) para el cafeto en un suelo Ferralítico rojo compactado. p. 31. In · Tesis de grado C. Dr. Ciencias Agrícolas. La Habana.
14. Rivera R. & Treto Eolia, 1989, Influencia de la fertilización- N y el tipo de planta cultivada sobre la dinámica de las formas del N en suelo ferralítico rojo compactado, cultivos Tropicales. **11**, 71-79.
15. Roskoski J., 1982, Nitrogen fixation in a Mexican coffee plantation, Plant and Soil. **67**, 403-407.
16. Sommer K., 1978, Use of radioisotope in a agriculture, IAEA Report 1360, 16 p.
17. Turchin F., 1965, Prevachenia azotnij udobrenii v pochve y uzvoenie ij rasteniami, Agrojimia, **3**, 3-19.
18. Vyas B. & Mistry K., 1985, Hydrolisis of prilled urea, sulphur – coated urea and urea supergranules in an Oxisol, Vertisol and Inceptisol, Indian Journal of Agricultural Science. **55**, 35-40.
19. Westerman R., Kurtz L. & Hauck R., 1972, Recovery of ^{15}N-Labeled Fertilizers in Field Experiments, Soil Science Society of America Proc. **36**, 82-86.

C.A. Bustamante. Cubano, Ingeniero agrónomo, Doctor en Ciencias Agrícolas, Jefe Sección Nutrición, Estación Central Investigaciones de Café y Cacao.
M. Ochoa.Cubano. Ingeniero agrónomo. Investigador Agregado.
Maritza J. Rodriguez. Cubana. Lic. en química. Investigador Agregado.