

EFICIENCIA DE USO DEL NITRÓGENO EN ARROZ DE SECANO EN UN SUELO ÁCIDO DEL OCCIDENTE DEL ESTADO GUÁRICO¹

NITROGEN USE EFFICIENCY IN UPLAND RICE ON AN ACID SOIL IN WESTERN GUÁRICO STATE¹

Nidia Alfonzo*, Mingrelia España**, Marisol López***, Evelín Cabrera-Bisbal*** y Pablo Abreu*

¹Trabajo financiado por AIEA-Proyecto INIA-CENIAP 109-62R3 del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA).

*Investigadores. INIA Guárico. **Investigadora. IDEA. ***Investigadores. INIA-CENIAP. Recursos Agroecológicos.

Correo electrónico: nalfonzo@inia.gob.ve - mespana@idea.gob.ve

RESUMEN

Con el fin de evaluar la eficiencia de absorción, el uso agronómico y la recuperación de nitrógeno (N) en arroz secano, *Oryza sativa* L., cultivados en condiciones de suelo ácido (Kandic Plinthustults ácido), se realizó un experimento de campo utilizando dos cultivares, el CT-102 y el FONAIAP-2000 (F-2000) en el sureste del estado Guárico. El diseño experimental fue de bloques al azar con tres repeticiones. Las dosis de nutrientes (kg ha⁻¹) fueron 80, 100 de N, 80 de fósforo (P) y 80 de potasio (K) se utilizó urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio como fuentes nutricionales. ¹⁵N - urea (5% de exceso de átomos) se empleó en las microparcelas isotópicas. Al momento de la cosecha se tomaron muestras de suelo y plantas (cultivo y malezas) para realizar determinaciones químicas y calcular las eficiencias de uso fertilizante N (EUFN), eficiencia agronómica (EA) e índice de cosecha (IC). El rendimiento de grano varió desde 5,0 hasta 5,9 t ha⁻¹ significativamente mayor en F-2000 entre cultivares no se observaron diferencias estadísticas para EUFN e IC. Sin embargo, se observaron diferencias estadísticas significantes de N derivado del fertilizante y EA. Se observó el mayor rendimiento de grano y N eficiencia en F-2000 con un alto potencial para ser utilizado en suelo ácido. Los resultados también muestran que aunque el cultivo obtuvo una mejor respuesta con la mayor dosis de N, la eficiencia del uso de N tiende a disminuir, lo que implica que el exceso de N eliminado del sistema suelo-planta podría causar más contaminación ambiental.

Palabras Clave: eficiencia; nitrógeno; *Oryza sativa* L.; sabanas mal drenadas; secano; suelo ácido.

SUMMARY

In order to evaluate absorption efficiency, agronomic use and recovery of N in rainfed rice, *Oryza sativa* L., cultivars in soil acid condition (acid Kandic Plinthustults), a field experiment was carried out using two cultivars, the CT-102 and FONAIAP-2000 (F-2000) at southeastern of Guárico State. The experimental design was randomized block with three replications. The doses of nutrients (kg ha⁻¹) were 80-100 N, 80 P and 80 K, was used urea, diammonium phosphate and potassium chloride as nutritional sources. ¹⁵N-urea (5 atom% excess) was used in the isotopic microplots. At moment of harvest samples were taken of soil and plant (crop and weed) for chemical determinations, were calculated the efficiency of use of nitrogen fertilizer (EUFN), agronomic efficiency (EA) and harvest index (IC). Grain yield ranged from 5.0 to 5.9 t ha⁻¹ significantly higher in F-2000. between cultivars were not observed statistical differences for EUFN and IC. Although were observed significant differences statistical for N derived from fertilizer and EA. The highest grain yield and N efficiency was observed in F-2000 with high potential to be used in soil acid. The results also show that although the crop had a better response with higher doses of N, efficiency use of N tends to decrease, implying that excess of nitrogen removed of the soil-plant system could cause more environmental pollution.

Key Words: acidic soil; efficiency; nitrogen; *Oryza sativa* L.; poorly drained savannas; rainfed.

INTRODUCCIÓN

El arroz, *Oryza sativa* L., alimento básico en las zonas tropicales y subtropicales, tradicionalmente se cultiva en suelo inundado por riego. No obstante, en los últimos años se amplió el área dedicada a la siembra de secano en América Latina. En Brasil por ejemplo, existen cerca de 4 millones de hectáreas de arroz de secano (Urquiaga y Zapata, 2000). Venezuela presenta condiciones edafoclimáticas que favorecen la producción de arroz de secano, cerca de 20% del territorio nacional (18,2 millones de hectáreas) se caracterizan por poseer mal drenaje, su principal ocurrencia es en zonas planas sujetas al desborde de ríos y en menor proporción a niveles freáticos altos, Comerma (2009) señala que taxonómicamente son suelos del suborden Acuic de Vertisoles, Inceptisoles, Entisoles, Ultisoles, Alfisoles y del orden Histosol, cuyos principales usos son la ganadería extensiva, el arroz y zonas de reserva de flora y fauna.

Así mismo, el estado Guárico forma parte de la llanura deltaica joven ocupada por la zona más deprimida de los llanos centrales y occidentales, según Comerma (2009) pudiera llamarse el centro geográfico de Venezuela que ocupa alrededor de 7,6 millones de ha, Guárico es uno de los principales estados productores de arroz (Sanabria *et al.*, 1999). Sin embargo, para obtener altos rendimientos en este rubro bajo inundación se emplean altas dosis de nitrógeno (N), este elemento representa aproximadamente 70% del total de nutrientes aplicados como fertilizantes (N + P₂O₅ + K₂O).

Por otra parte, el arroz es considerado como uno de los cultivos más demandante de fertilizantes nitrogenados en los países productores (FAO, 2004), y la urea es la fuente de N comúnmente usada, cuya eficiencia de recuperación de N, a partir de este fertilizante es generalmente baja, menor de 40% para arroz bajo inundación (Craswell y Godwin, 1984; Carrillo de Cori, 1992). Mientras que la producción de arroz en condiciones de secano y en suelos ácidos de sabana, generalmente, el N residual de un cultivo es aprovechado por el cultivo subsiguiente (Urquiaga y Zapata, 2000), lo que permite disminuir las dosis de aplicación de N-fertilizante y los riesgos de contaminación de los acuíferos y reservas de agua.

En este sentido, en el eje Píritu - Becerra, sector Tapicito del estado Guárico, se encuentra una gran proporción de suelos en posiciones bajas con mesas freáticas altas que están siendo dedicadas al sistema de arroz de secano por pequeños y medianos agricultores, quienes manejan el agroecosistema con el referencial tecnológico de altos

insumos similar al utilizado en el sistema de riego Río Guárico, pero sin aplicar riego ni la práctica de batido del suelo característico de este último. Respecto a estas condiciones se pudiera orientar un manejo más conservacionista y agroecológico, por lo que una de las estrategias debe estar dirigida a fomentar el uso eficiente de los fertilizantes nitrogenados de origen industrial, para no afectar la eficiencia de absorción y de utilización de N (kg grano kg⁻¹ N) tal como lo refieren Samonte *et al.* (2006). Los objetivos de este trabajo fueron evaluar la eficiencia de absorción, el uso agronómico y la recuperación de N en el sistema suelo-planta utilizando cultivares de arroz de secano en condiciones de suelo ácido y mal drenado en la localidad Tapicito en el occidente del estado Guárico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación: el experimento se realizó en sabanas mal drenadas, a posición fisiográfica estero-bajío en la localidad Tapicito, estado Guárico (8° 56' 68" de latitud norte y 67° 45' 70" de longitud oeste).

Características edáficas: el suelo se clasificó taxonómicamente como Kandic Plinthustults Af mixto Isohipertrémico (Ultisol) de muy baja fertilidad, materia orgánica (<6 g kg⁻¹), disponibilidad de P-Olsen (3 mg kg⁻¹), K-Olsen (20 mg kg⁻¹), calcio-Morgan (30 mg kg⁻¹) y magnesio-Morgan (19 mg kg⁻¹), de reacción ácida (pH suelo-agua 1:2 de 4,4), elevada cantidad de acidez intercambiable y alto porcentaje de saturación con aluminio (>83,7%), textura FL (arcillas 12-44 g kg⁻¹, limo 588- 721 g kg⁻¹ y arenas entre 235-400 g kg⁻¹). Agua aprovechable (>9,7%), mesas de agua alta.

Drenaje: externo e interno lento. Los análisis con fines de diagnóstico de fertilidad son realizados según el Manual de Métodos y Procedimientos de Gilabert *et al.*, 1990; mientras la caracterización taxonómica fue descrita por Rey (2002).

Condiciones climáticas: las precipitaciones promedio anual 1 130,1 mm con distribución en el tiempo unimodal, con un valor promedio máximo en agosto de 254,4 mm, entre 5 a 6 meses. La temperatura media varió de 21 a 35,9 °C.

Materiales genéticos (C): cultivares de arroz CT-102 material segregante tolerante a suelos ácidos y FONAIAP-2000, material comercial producido por INIA y ambos con un ciclo vegetativo de 115 d.

Arreglo experimental y tratamientos: se empleó un diseño en bloques al azar con tres repeticiones. El tamaño de las parcelas fue de 2 x 5 m², dentro de esta área se ubicaron las micro parcelas isotópicas (1,5 x 1,5 m²), las cuales se marcaron con ¹⁵N. La siembra se realizó en condiciones de secano, sin riego. En cada parcela se mantuvieron once hilos separados a 0,20 m.

Fertilización: las dosis en kg ha⁻¹ fue: 100 y 80 de N, 80 de P₂O₅, y 80 de K₂O. El N se aplicó en tres partes, una al momento de la siembra (40 kg ha⁻¹) y dos reabonos de 30 kg ha⁻¹ cada uno para la dosis de 100. Con la dosis de 80 se utilizó 40 kg ha⁻¹ a la siembra y 40 kg ha⁻¹ de reabono, mientras que el P se fraccionó en dos partes (ambos en 40 kg ha⁻¹). La fuente de P fue fosfato diamónico y la de K cloruro de potasio (KCL-60% K₂O). El fertilizante utilizado en las parcelas isotópicas fue ¹⁵N-urea a 5% átomos en exceso, a fin de establecer la eficiencia de recuperación del N-fertilizante por la planta y el suelo.

Muestras de planta y suelo marcado: se muestrearon todas las parcelas isotópicas, tanto tipos de planta (malezas, cultivo y grano) y de suelo; el de suelo se realizó con un tomador de muestras Unland a seis rango de profundidades: 0 a 10, 10 a 20, 20 a 30, 30 a 40, 40 a 50 cm y 50 a 60 cm. Las muestras de plantas se secaron a 70 °C hasta peso constante y molidas hasta <0,1 mm; y se les determinó N-total por el método de Kjeldahl (Kjeldahl, 1983). Durante el tiempo que las muestras de suelo marcadas fueron secadas, molidas y separadas a < 0,5 mm, se obtuvo el ¹⁵N por Espectrofotometría de Emisión Óptica (IAEA, 2001).

Los cálculos se realizaron a través de las ecuaciones siguientes:

$$\%NDDF = \frac{\text{atom.exc.muestra}}{\text{atom.exc.fertilizante}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\%NDDF \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\%NDDF \times \text{Rend.dosisNtotal (kg ha}^{-1}\text{)}}{100} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$EUFN = \frac{DNF \text{ (kg ha}^{-1}\text{)}}{DNF} \times 100\%$$

NDDF = Nitrógeno derivado del fertilizante

EUFN = Eficiencia de uso de nitrógeno fertilizante

DNF= Dosis de nitrógeno aplicado como fertilizante

Los resultados son examinados usando análisis de variancia ANOVA de una cola (INFOSTAT, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de materia seca, de nitrógeno e índice de cosecha

El rendimiento en grano varió entre 5,0 a 5,9 t ha⁻¹ (Cuadro 1), con diferencias significativas (P < 0,05) entre los cultivares evaluados, mientras que en el rendimiento del vástago no se encontró diferencias significativas, los mayores rendimientos, tanto de materia orgánica como de N en cada cultivar, estuvieron relacionados a la mayor dosis de N aplicada, lo cual indica que hubo una respuesta del cultivo al N aplicado como fertilizante.

El crecimiento vegetativo de los cultivares, por efecto de las dosis de N, fueron interpretadas a través del índice de cosecha (IC), el cual varió entre 0,47 a 0,48 para materia seca, de 0,56 a 0,58 para N, no mostrando diferencias significativas entre los materiales, ni entre las dosis de N-fertilizante. Bufogle *et al.* (1997) señalaron que altos IC en variedades de arroz indican menor pérdida de N en el vástago (los residuos de cosecha), lo cual contribuye a una mayor eficiencia de uso de N-fertilizante. Sin embargo, bajo condiciones de manejo agroecológico donde se incorpore restos de cosecha de arroz en el suelo, como en este caso, resulta favorable que el IC de N sea bajo, porque la mayor cantidad de este elemento contenido en el tejido vegetal retorna al suelo y ayuda a incrementar su fertilidad y sustentabilidad.

Los resultados muestran que un poco más de la mitad del N absorbido, sale por la planta del sistema de producción exportado en el grano, pero, estos valores están dentro de los rangos reportados por otros investigadores, tanto para arroz como para otros cereales, como maíz y trigo (Bufogle *et al.*, 1997; Giambalvo *et al.*, 2010; Worku *et al.*, 2007).

Eficiencia agronómica de uso del nitrógeno

La cantidad de N derivado del fertilizante (NDDF) del total de N absorbido, por ambos cultivares, fue similar dentro de una misma dosis de N (Cuadro 2), a pesar de presentar diferencias significativas entre dosis aplicadas, correspondiendo los mayores valores a 100 kg ha⁻¹.

La mayor eficiencia en uso de N absorbido en grano refleja el efecto del componente genético intrínseco de la planta, así lo demuestran Tirol-Padre *et al.* (1996) en condiciones tropicales.

CUADRO 1. Rendimiento de materia seca y nitrógeno en cultivares de arroz de secano, con diferentes dosis de nitrógeno en un suelo ácido del estado Guárico.

| Cultivar | Dosis N kg ha ⁻¹ | Rendimiento materia seca kg ha ⁻¹ | | | Rendimiento de N kg ha ⁻¹ | | | IC | |
|----------|--------------------------------|---|---------|-----------|---|---------|-------|------|------|
| | | Grano | Vástago | Total | Grano | Vástago | Total | MS | N |
| CT-102 | 80 | 5 019 B | 5 638 A | 10,657 B | 68 B | 52 A | 120 B | 0,47 | 0,57 |
| | 100 | 5 532 AB | 5 933 A | 11,465 AB | 77 A | 57 A | 134 A | 0,48 | 0,57 |
| F-2000 | 80 | 5 205 AB | 5 916 A | 11,121 AB | 67 B | 52 A | 119 B | 0,47 | 0,56 |
| | 100 | 5 867 A | 6 306 A | 12,173 A | 80 A | 57 A | 137 A | 0,48 | 0,58 |

IC = Índice de cosecha; MS = Materia seca; N = Nitrógeno. Medias seguidas por la misma letra en columna no son significativamente diferentes entre sí (Tukey, $P \leq 0,05$).

CUADRO 2. Parámetros de eficiencia de uso del nitrógeno aplicado como fertilizante en cultivares de arroz de secano en un suelo ácido del estado Guárico.

| Cultivar | Dosis N kg ha ⁻¹ | Rend. N kg ha ⁻¹ | Nddf kg ha ⁻¹ | EUFN % | EA kg ha ⁻¹ |
|----------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------|---------------------------|
| CT-102 | 80 | 120 B | 55 B | 68,7 A | 62,74 AB |
| | 100 | 134 A | 69 A | 69 A | 55,32 B |
| F-2000 | 80 | 119 B | 56 B | 70 A | 65,06 A |
| | 100 | 137 A | 62 AB | 62 A | 58,68 AB |

NDDF = Nitrógeno derivado del fertilizante; EUFN = Eficiencia de uso de N fertilizante; EA = Eficiencia agronómica. Medias seguidas por la misma letra en columna no son significativamente diferentes entre sí (Tukey, $P \leq 0,05$).

La eficiencia agronómica varió entre 55 y 65%, mostrando diferencias significativas entre los cultivares, donde FONAIAP-2000 presentó la mayor eficiencia para la dosis de 80 kg ha⁻¹. Estos valores coinciden con Samonte *et al.* (2006) quienes señalaron un rango entre 56 y 64 kg grano kg⁻¹ N, asimismo, establecieron que los factores que afectaron los contenidos de N y la salud del cultivo de arroz fueron el año de evaluación y el genotipo.

La eficiencia de uso del N-fertilizante (EUFN) fue similar entre cultivares, variando entre 62 y 70%. No

obstante, al incrementar la dosis de N en 20 kg ha⁻¹ (100 kg N ha⁻¹), la EUFN se redujo aproximadamente 12% en F-2000, mientras que en el otro cultivar no se observan diferencias. Estas mismas condiciones fueron encontradas por Giambalvo *et al.* (2010) en un Vertisol, que al utilizar cultivares de trigo afectados por competición interespecífica, señalaron eficiencia de uso de N, 43% superior en el tratamiento control (sin N) en comparación con la dosis de 80 kg N ha⁻¹, los valores de eficiencia de uso de N mostrados por ellos resultaron entre muy bajos (8-20%) y medios (alrededor de 31%).

Recuperación de nitrógeno

La distribución del ¹⁵N aplicado al cultivo se presenta en el Cuadro 3, se observa que la cantidad de ¹⁵N recuperado por el sistema suelo - planta (SSP), entendiéndose como esté la cantidad de N recuperado por la planta, más lo que queda en el suelo a la profundidad de 0-60 cm; la cual varió de acuerdo con la dosis de N aplicada como fertilizante, donde la mayor recuperación se obtuvo con la dosis de 100 kg. Al mismo tiempo, para esa dosis se presentaron las mayores pérdidas de N las cuales variaron entre 25 y 32% del total aplicado, ello evidencia que aunque con una dosis alta N se observa aparentemente una mejor respuesta del cultivo, existe una menor eficiencia de uso de N, y el N que no utiliza el cultivo podría causar contaminación al ambiente, ya que altas cantidades se pierden del sistema, pudiendo ir a cuerpos de agua superficial o subterránea, manejo contrario a los principios agroecológicos que conduzcan a la sustentabilidad del agroecosistema arroz.

CUADRO 3. Distribución del ^{15}N aplicado como fertilizante en un sistema de cultivo de arroz en condiciones de Secano.

| | Cultivar (kg ha ⁻¹) | | | |
|--|---------------------------------|------|--------|------|
| | CT 102 | | F 2000 | |
| Entrada | | | | |
| Fertilizante | 80 | 100 | 80 | 100 |
| Recuperado en el Sistema Suelo Planta (SSP) | | | | |
| Grano | 31 | 40 | 31 | 37 |
| Residuo de cosecha (vástago) | 24 | 29 | 25 | 25 |
| Suelo (0-60 cm) | 3,1 | 4,8 | 3,1 | 4,8 |
| Malezas | 0,7 | 1,6 | 0,7 | 1,6 |
| Total Recuperado SSP | 58,8 | 75,4 | 59,8 | 68,4 |
| Pérdidas (E-Total SSP) | 21,2 | 24,6 | 20,2 | 31,6 |

CONCLUSIONES

- Los cultivares de arroz evaluados mostraron valores de eficiencia de absorción, uso agronómico y recuperación de N muy buenas para ser utilizados en suelos ácidos de muy baja fertilidad y con manejos agroecológicos, donde se aprovechen los restos de cosecha para mejorar la fertilidad del suelo, contribuyendo al uso más eficiente del N suministrado por el suelo y los fertilizantes, condiciones claves de los agroecosistemas sustentables.
- Los mayores rendimientos en grano y mejor eficiencia de uso del N aplicado como fertilizante en el cultivar de arroz FONAIAP-2000, indican un alto potencial para ser utilizados en agroecosistemas de bajos insumos y con prácticas agroecológicas.
- Los altos valores de N obtenidos en los restos de cosecha, en ambos materiales genéticos (FONAIAP-2000 y CT-102), reflejan el potencial de estos cultivares para aportar N al suelo y reducir las aplicaciones de fuentes industriales, lo que representa un manejo más agroecológico del sistema del cultivo arroz de secano.

AGRADECIMIENTO

Al agricultor Marcos Diamont por su apoyo y por haber facilitado la Unidad de Producción para desarrollar los experimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Bufogle, A. jr., P. K. Bolleck, J. L. Kovar, R. E. Macchianelli and C. W. Lindaw. 1997. Rice variety differences in dry matter and nitrogen accumulation as related to plant stature and maturity group. *J. Plant Nutr.* 20:1 203-1 224.
- 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 Trop.* 42:67-84.
- Craswell, E. T. and D. C. Godwin. 1984. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals grown in different climates. **In:** Tinker P.B. Lauchli A: (Eds.) *Advances in Plant Nutrition* 1:1-56.
- Comerma, J. 2009. Suelos mal drenados en Venezuela. *Agronomía Trop.* 59(1):25-32.
- FAO. 2004. FAOSTAT. Consultado en: www.fao.org.com. Disponible en línea: agosto 2009.
- Giambalvo, D., P. Ruisi and G. Di Micelli. 2010. Nitrogen use efficiency and nitrogen fertilizer recovery of durum wheat genotypes as affected by interspecific competition. *Agron. J.* 102(2):707-715.
- Gilabert de Brito, J., I. López de Rojas y R. Roberti. 1990. Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad. **In:** Manual de métodos y procedimientos de referencia. FONAIAP-CENIAP. Maracay. Cap.4.1-5.1 (Serie. D.Nº 26).
- IAEA. 2001. Use of isotope and radiation methos in soil and water management and crop nutrition, Vienna. IAEA-TCS-14.
- INFOSTAT. 2004. Infostat versión 1 2004 grupo infostat, F C.A, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 200 p.
- Kjeldahl, J. 1983. A new method for the determination of nitrogen organic matter. 2. *Analytical Chemistry* 366 p.
- Rey, J. C. 2002. Informe caracterización de suelos experimentales ubicados en el municipio Francisco de Miranda, estado Guárico. INIA-Guarico 6 p.
- Samonte, S. O. P. B., L. T. Wilson, J. C. Medley, S. R. M. Pinson, A. M. McClung and J. S. Lales. 2006.

Nitrogen utilization efficiency: Relationships with grain yield, grain protein and yield-related traits rice. *Agron. J.* 98:168-176.

Sanabria D., T. Rodríguez, F. Barreto y A. Torres. 1999. Arroz de secano: otra alternativa evaluada por FONAIAP para la diversificación de la producción en los Llanos Orientales de Venezuela. Consultado en: www.ceniap.gob.ve/publica/divulga.

Timsina J., U. Singh, M. Badaruddin, C. Meisner and M. R. Amin. 2001. Cultivar, nitrogen, and water effects on productivity and nitrogen-use efficiency and balance for rice-wheat sequences of Bangladesh. *Field Crop. Res.* 72:143-161.

Tirol-Padre, A., J. K. Ladha, U. Singh, E. Laureles, G. Punzalan and S. Akita. 1996. Grain yield performance of rice genotypes at sub optimal levels of soil N as affected by N uptake and utilization efficiency. *Field Crop. Res.* 46:127-143.

Urquiaga, S. y F. Zapata. 2000. Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe. Porto Alegre; Génesis; Río de Janeiro. EMBRAPA Agrobiología 110 p.

Worku, M., M. Banziger, G. S. auf'm Ealey, D. Friesen, A. O. Diallo and W. J. Horst. 2007. Nitrogen uptake and utilization in contrasting nitrogen efficient tropical Maize hybrids. *Crop Sci.* 47:519-527.