

BALANCE DE NITRÓGENO EN UN *FLUVENTIC HAPLUSTEPT* VENEZOLANO

Lily Marcano¹, Graciano Elizalde² y Carmen Ester Carrillo de Cori³

¹Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Carabobo, Venezuela, email lmарcano@uc.edu.ve

^{2y3}Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela, email elizaldeg@agr.ucv.ve y estercori@gmail.com

RESUMEN

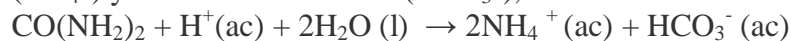
Se estimó el efecto de la fertilización con urea sobre la variación del N, en un *Fluventic Haplustept* derivado de sedimentos aluviales, después de aplicar 125 y 250 kg N ha⁻¹ de urea (U125 y U250) y riego equivalente a 1/3 del volumen que precipita durante 120 días. Se determinó el contenido del N orgánico e inorgánico antes y después de los ensayos y la cantidad total de N orgánico e inorgánico lixiviado. El riego induce a la pérdida del 76% del N total del suelo y la fertilización con 250 kg N ha⁻¹ de urea, estimula la “liberación” de 22% del N-total del suelo, mientras que con el tratamiento U125, se perdió el 11% del N-total. Se concluye que el riego provocó la mineralización de la materia orgánica, lo cual fue compensada parcialmente por la fertilización; ello aumentó el N inorgánico en el suelo y compensó en parte las pérdidas de NH₄⁺ y NO₃⁻ por lixiviación.

Palabras clave: Lixiviación de nitratos, fertilización con urea, efecto del riego sobre el N, N orgánico, N inorgánico.

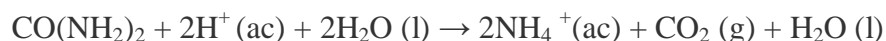
INTRODUCCIÓN

Estudios realizados sobre el efecto de la lixiviación de los nitratos del suelo sobre la contaminación de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, indican que existe una relación muy estrecha entre ésta y las prácticas inadecuadas de manejo de los suelos agrícolas (Sierra et al., 2001), tales como el uso intensivo de fertilizantes nitrogenados que se aplican al suelo y el riego intensivo (Waddell et al., 2000). El nitrógeno (N) en los suelos se encuentra básicamente bajo la forma de N orgánico. Addiscott y Whitmore (1991) señalan que el uso de fertilizantes nitrogenados produce un aumento de la mineralización del N del suelo y es este N y no el procedente del fertilizante, el que compone la mayor parte del nitrato que se pierde del suelo. Se considera que el nitrato es un serio problema en la calidad del agua y causa de su eutrofización; esto explica la permanente preocupación por aumentar la eficiencia de la fertilización nitrogenada y controlar pérdidas en la agricultura.

Cuando se aplica urea al suelo, ésta es oxidada a NH₄⁺, el cual, si las condiciones del suelo son adecuadas, se oxida rápidamente a NO₃⁻. El nitrato así formado puede perderse del suelo a través de la lixiviación o la desnitrificación (Dharani et al., 2009). En suelos con pH mayores que 6,3, cuando se agrega urea, ésta sufre un proceso de hidrólisis, generando como productos de la reacción amonio (NH₄⁺) y el anión bicarbonato (HCO₃⁻),



Si el pH es menor de 6,2, la hidrólisis de la urea es la siguiente:



La hidrólisis es catalizada por la enzima ureasa, cuya actividad es muy importante en el horizonte superficial de los suelos y se reduce con la profundidad, siguiendo el patrón de distribución de la materia orgánica del suelo (MOS).

Obviamente, para que ocurra la reacción inicial de hidrólisis es necesario que exista disponibilidad de agua en el suelo. La incorporación de la urea al suelo, sumada a la acción del agua de lluvia o riego, reduce el N eliminado a la atmósfera como NH_3 , ya que el fertilizante es muy soluble en agua y se desplaza hacia una zona de menor actividad ureásica.

La urea es uno de los fertilizantes más utilizados en Venezuela, debido a su bajo costo, su elevada concentración de nitrógeno (46% de N) y su gran solubilidad en la solución edáfica. Sin embargo, se conoce muy poco acerca del efecto que la aplicación de urea tiene sobre las diferentes formas de nitrógeno (N) en el suelo y sobre el N lixiviado. Con la finalidad de obtener una estimación del efecto de la aplicación de urea sobre las variaciones del N, se realizó el balance de este elemento en un suelo derivado de sedimentos aluviales, sin cultivo, después de la aplicación de riego sin fertilización (suelo control) y riego y urea a 125 y 250 kg N ha⁻¹ (U125 y U250 respectivamente).

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en un suelo agrícola representativo de los sedimentos aluviales de la Cuenca del Lago de Valencia, estado Aragua, en la región Centro Norte Costera de Venezuela (W 67°36' – N 10°21') [Figura 1], de textura franca, moderadamente drenado y con bajo contenido de materia orgánica, clasificado como Fluventic Haplustept. Algunas de las propiedades físicas y químicas de este suelo se presentan en la Tabla 1.

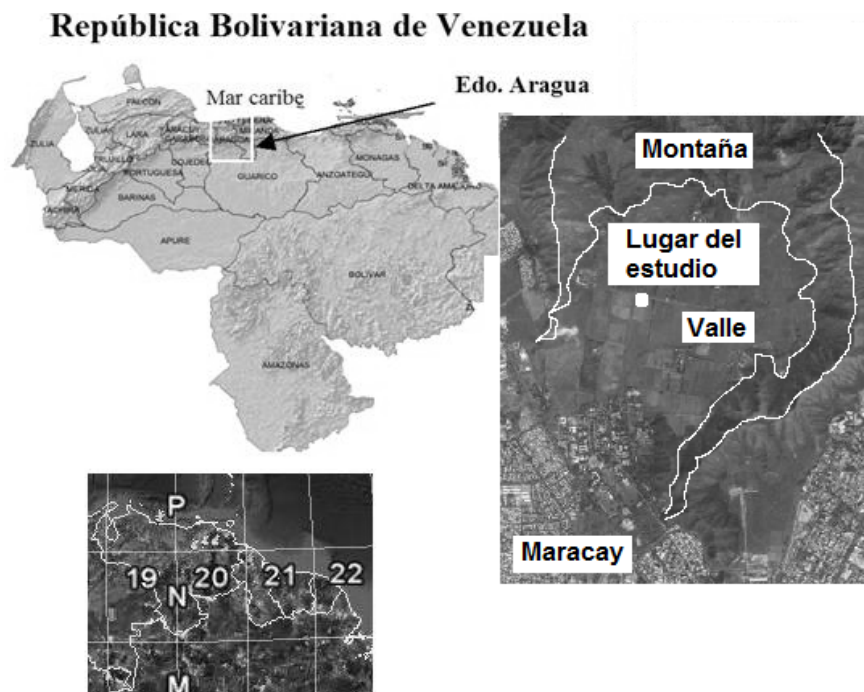


Figura 1. Ubicación del suelo estudiado en el valle del río Güey (Maracay).

El ensayo se llevó a cabo en columnas de suelos sin disturbar de 20 cm de diámetro por 60 cm de largo, las cuales fueron extraídas, preparadas, evaluadas y estabilizadas antes de la aplicación de los tratamientos (Marcano, 2007). Se tomaron un total de 9 columnas, todas las cuales fueron regadas con agua destilada. Tres columnas fueron fertilizadas con urea en dosis equivalente a 125 kg N/ha (U125) y otras tres con una dosis de 250 kgN/ha (U250); las tres columnas restantes, con riego y sin fertilización,

fueron tomadas como control. La urea fue aplicada a 5 cm de la superficie del suelo. Para mantener los suelos permanentemente húmedos y cercanos a su máxima capacidad de retención de agua, a todas las columnas se les aplicó una lámina de agua de 1,11 cm (350 mL) cada 9 días durante 4 meses, hasta acumular una lámina de 16,65 cm en 15 riegos. Para evitar la perturbación de la estructura del suelo superficial, se tomó la precaución de aplicar el agua de riego por medio de un chorro suave y lento, después de cubrir la superficie con una tela delgada.

Después de cada evento de riego, se midió el volumen lixiviado y se determinaron las diferentes formas de N (N-NO_3^- , N-NH_4^+ y N-orgánico) presentes en los lixiviados, para lo cual se reunieron los lixiviados de las tres repeticiones de manera de obtener una muestra compuesta.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del suelo aluvial. (Promedios ponderados)

Propiedades	Unidades	Valores
pH (en agua 1:2)		6,7
Conductividad eléctrica (en agua 1:2)	dSm^{-1}	0,09
MOS	%	1,27
CaCO_3 equivalente	%	4,6
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Cmol Kg^{-1}	9,1
N total	%	0,0485
C/N		14,78
Conductividad hidráulica	Cm h^{-1}	0,0028
Porosidad Total	%	39
Porosidad > 15 μm	%	6
Densidad aparente (Da)	Mg /m^3	1,59
Arcilla	%	19
limo	%	34
Arena	%	48
Mineralogía		Illita, vermiculita, esmectita y caolinita

Para la extracción de las columnas de suelo, se abrió una calicata de aproximadamente 4 m por 6 m, la cual se dividió en cuadrículas de aproximadamente 1 x 1,5 m, tomándose las columnas en el centro de cada una a 50 cm de los bordes y espaciados a 1,5 m una de otra para un total de 9 columnas. El suelo alrededor de cada cuadrícula seleccionada, fue retirado para la toma del monolito, y se procedió a tallar el suelo hasta dejar una columna perfectamente circular de aproximadamente 20 cm de diámetro y 60 cm de profundidad, con medidas algo más grandes que las dimensiones internas de un cilindro de PVC de 20 cm de diámetro y de 60 cm de largo, que se colocó a presión alrededor de la columna, a medida que estas eran talladas. Las columnas fueron trasladadas al Laboratorio de Agrología de la Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología de la UCV, donde fueron preparadas antes de ser utilizadas para

evaluar el proceso de lixiviación de nitratos. Para ello, después de enrasar el extremo inferior donde estaba el corte con el suelo original, se le colocó una malla de liencillo, una malla plástica fuertemente sujeta al cilindro y un embudo para facilitar la recolección del lixiviado. Los lisímetros se colocaron sobre una estructura metálica que los sujetó y facilitó la aplicación de la solución que iba a producir la lixiviación y la recolección del percolado de las columnas. El extremo superior de las columnas de suelo fue tapado después de agregar la solución para cada evento de lavado, para minimizar las pérdidas por evaporación.

Se determinó el contenido de nitrógeno total del suelo antes y después del ensayo por el método Kjeldahl modificado utilizando KMnO_4 -Fe reducido; este método incluye nitratos y nitritos (Bremner, 1996). El N-inorgánico se extrajo con solución 2M de KCl, (1:10 suelo: solución) y fueron determinadas las diferentes formas de nitrógeno inorgánico (N-NO_3^- y N-NH_4^+) (Mulvaney, 1996). El N-orgánico se obtuvo sustrayendo el N- inorgánico total del N-total Kjeldhal.

A partir del contenido de N orgánico (N_o) e inorgánico (N_i) presente en el suelo al principio (N_{oi} y N_{ii}) y al final del experimento (N_{or} y N_{ir}) y del N orgánico e inorgánico lixiviado (N_{ol} y N_{il}), expresados en g N columna^{-1} , se determinaron las variaciones porcentuales del N (orgánico e inorgánico) (ΔN_o y ΔN_i) después de los ensayos y se obtuvo de esta manera una estimación de la dinámica del N en los diferentes tratamientos. La variación del N orgánico (ΔN_o) se determinó mediante la fórmula (1):

$$\Delta N_o = (N_{oi} + N_f) - (N_{or} + N_{ol}) \quad (1)$$

Donde, N_f es el nitrógeno proveniente del fertilizante.

Dichas variaciones pueden ocurrir por mineralización y transformación en nitrógeno inorgánico y por lixiviación o por formación de materia orgánica nueva a partir de las formas inorgánicas (ganancia de N_o).

Las variaciones del N inorgánico se calculan mediante la fórmula (2):

$$\Delta N_i = N_{ii} - (N_{il} + N_{ir} + N_{ip}) \quad (2)$$

Donde, N_{ip} es el N inorgánico perdido. Se debe acotar que bajo las condiciones del ensayo se considera que el N_f pasa rápidamente a N_i . De la fórmula (2) se deduce que el N_{ip} puede ser calculado a partir de la fórmula (3):

$$N_{ip} = N_{ii} - (N_{il} + N_{ir}) \quad (3)$$

El denominado N_{ip} corresponde al inmovilizado en forma de N orgánico del suelo y evaporación de NH_3 , ya que, dadas las condiciones termodinámicas del suelo y las precauciones tomadas durante el ensayo, se considera que las pérdidas por volatilización de N_2 y NO_x no fueron posibles o fueron insignificantes. De lo anterior se desprende que es posible estimar la variación del N total a partir de las variaciones del N orgánico e inorgánico. Con los valores obtenidos se calcularon las variaciones del N total y del N orgánico e inorgánico.

Los resultados se analizaron estadísticamente por medio de la prueba no paramétrica de Wilcoxon Rank Sum Test a nivel de significancia 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El mayor impacto sobre el contenido de N fue provocado por el riego sin fertilización (control), que causó la pérdida del 80 % del N orgánico presente inicialmente en el suelo (Tabla 2). Las cantidades de N-orgánico presentes en los lixiviados fueron despreciables, lo cual indica que la mayor parte del N-orgánico se perdió a causa de su transformación en formas inorgánicas. Un aumento en la mineralización del N-orgánico, producto de ciclos alternos de humedecimiento y secado (priming effects), ha sido reportada por Kuzyakov et al., 2000.

Por ello, en todos los tratamientos, el contenido de N inorgánico residual (N_{ir}) fue mayor que el contenido de N inorgánico inicial. Como la urea se transforma rápidamente a las formas inorgánicas de N, con el tratamiento U250 se obtuvo una ganancia neta de 0,688 g de N inorgánico.columna⁻¹. Con el tratamiento U125 hay un incremento neto de 0,554 g de N inorgánico.columna⁻¹, pero en el suelo control ese incremento alcanza a 0,480 g columna⁻¹. Ello se interpretó como una prueba de que la formación de N inorgánico a expensas de la mineralización del N orgánico es incentivada por el riego pero parcialmente inhibida por la fertilización nitrogenada.

Tabla 2. Balance del nitrógeno en los diferentes tratamientos, expresado en g N columna⁻¹.

Tratamiento	N inicial o residual								% de N_p respecto al N_i suelo		
	N_{oi}	N_{ii}	N_{ti}	N_f	N_{op}	N_{ip}	N_{il}	N_{ip}	N_{tp}	N_{op}	N_{ip}
Suelo Inicial	14,30	0,22	14,53								
	N_{or}	N_{ir}	N_{tr}								
Control	2,76	0,67	3,44		11,54	-0,48	0,03	11,03	76	80	-217
U250	10,98	0,84	11,82	0,71	3,97	-0,69	0,07	3,28	22	26	-311
U125	12,18	0,73	12,91	0,36	2,42	-0,55	0,04	2,42	13	17	-251

N_{ip} y N_{op} se refieren a pérdidas aparentes: no quedó en el suelo como residual y no se recogió en los lixiviados. N_t corresponde al N total (orgánico + inorgánico), inicial o residual

Con base a la información presentada en la Tabla 2 se determinó el porcentaje, respecto al inicial, de N-inorgánico, orgánico y total que quedó en el suelo al final del ensayo, así como el porcentaje que se lixivió (Tabla 3). Tanto con el riego como con el riego y la fertilización, el porcentaje del N inorgánico del suelo respecto al contenido inicial se triplicó o cuadruplicó y este aumento fue mayor donde se aplicó U250 (381%). Debido a las pequeñas magnitudes encontradas, las variaciones muestran valores porcentuales muy grandes, pero que en realidad corresponden a pequeños cambios absolutos. El porcentaje de N_i que se lixivió respecto al N_i inicial fue prácticamente igual para los dos tratamientos con urea (31 y 20% para U250 y U125 respectivamente) y menor para el control (14%), lo cual demuestra el efecto de la fertilización sobre la lixiviación de N; otros autores han encontrado efectos similares debidos a la fertilización y riego (Kamkar et al., 2011 y Aparicio et al., 2008). El porcentaje de N_o lixiviado fue muy pequeño comparada con la cantidad total N (orgánico + inorgánico).

Tabla 3. Porcentaje del N-orgánico e inorgánico residual y del N-lixiviado al final del ensayo, respecto al N total inicial.

Tratamientos	N- residual en suelo			N-lixiviado	
	Orgánico	Inorgánico	Total	Inorgánico	Orgánico
Control	19	304	24	14	0,2
U250	73	381	79	31	0,5
U125	83	331	86	20	0,4

CONCLUSIÓN

El riego con un volumen de agua equivalente al requerido por un cultivo estacional o a la precipitación pluvial en un lapso similar, induce a la liberación o pérdida del 76% del N total del suelo, si este se mantiene sin cultivo o vegetación; el agregado de una cantidad equivalente al 5% del N total contenido en el suelo bajo la forma de U250, limita la liberación al 29% del N total del suelo, mientras que agregando el 2,5% del N total con el tratamiento U125 produce pérdidas del 11% del N total del suelo. Por lo tanto se concluye que el riego aplicado promueve la mineralización de la materia orgánica del suelo producida por los microorganismos, lo que da lugar al incremento del N inorgánico del suelo, que compensa las pérdidas de las formas inorgánicas por lixiviación y las de amonio por volatilización.

BIBLIOGRAFÍA

- Addiscott, T; Whitmore, A. 1991. Simulation of solute leaching in soils of differing permeabilities. *Soil Use & Management* 7, 94-102
- Aparicio, V.; Costa, J.L. y Zamora, M. 2008. Nitrate leaching assessment in a long-term experiment under supplementary irrigation in humid Argentina. *Agricultural Water Management*. 95 (12):1361-1372.
- Bremner, J. 1996. Nitrogen total. In "Methods of Soil Analysis". Part 3, Chemical methods, J.M. Bigham (Ed.). Book series 5. (American Society of Agronomy: Madison, WI)
- Dharani D; Patra UK; Sukhmal Ch. 2009. Use of urea coated with natural products to inhibit urea hydrolysis and nitrification in soil. *Biology and Fertility of soils*. 45, 617-621
- Kamkar, B.; Daneshmand, A.R.; Ghooshchi, F. Shiranirad, A.H. y Safahani Langeroudi, A.R. 2011. The effects of irrigation regimes and nitrogen rates on some agronomic traits of canola under semiarid environment. *Agricultural Water Management*. 98 (6):1005-1012.
- Kuzyakov, Y; Friedel, J.K; Stahr, K. 2000. Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology and Biochemistry*. 32:1485-1498
- Marcano, L. 2007. Dinámica del nitrato en dos suelos de la cuenca del lago de Valencia y su incidencia en la contaminación potencial de las aguas. Tesis de Doctorado. Postgrado en Ciencia del Suelo, Facultad de Agronomía, U.C.V. 174 pp.
- Mulvaney, R. 1996. Nitrogen-inorganic forms. In *Methods of soil analysis*. Part 3. Chemical Methods. J.M. Bigham (ed), Book Series 5. (American Society of Agronomy: Madison, WI).
- Sierra, J; Fontaine, S, Desfontaines, L. 2001. Factors controlling N mineralization, nitrification, and nitrogen losses in an Oxisol amended with sewage sludge. *Aust. J. Soil Res.* 39: 519-534.
- Waddell, J; Gupta, S; Moncrieft, J; Rosen, C; Steele, D. 2000. Irrigation- and nitrogen- management impacts on nitrate leaching under potato. *J. Environ. Qual.* 29,251-261.