

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Dinámica y cuantía de pérdidas de N por volatilización y lavado en suelo Pardo Grisáceo de la región central de Cuba

Dynamic and quantity of N losses by volatilization and leaching in Brown Grayish soil of central Cuban region

Juan Almaguer López , Norma Barberena Fernández 

¹Facultad Agropecuaria de Montaña del Escambray, Universidad de Sancti Spiritus "José Martí Pérez", Cuba

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 22/02/2021
Aceptado: 28/05/2021

CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran no existir conflictos de intereses.

CORRESPONDENCIA

Juan Almaguer López Código
juan5310@nauta.cu
almaguerlopzjuan@gmail.com



RESUMEN

Durante cuatro campañas (dos de frío y dos de primavera) se condujo un experimento con el objetivo de determinar las pérdidas de N por lixiviación y volatilización y la dinámica de las mismas sobre un suelo Pardo Grisáceo de la Región Central de Cuba en la Estación Experimental de Suelo "Escambray" en el cultivo del maíz. Se aplicaron seis niveles de N (0, 60, 120, 180, 240 y 300 kg ha⁻¹) un tercio en siembra con Sulfato de amonio y el resto a los 35 días con urea. La volatilización del amonio se determinó por el método de Nömmik sobre ambas fuentes de N en los niveles de 0, 120 y 240 kg ha⁻¹ a los 3, 7, 14, 21, 28 y 35 después de la fertilización. El lavado de NO₃⁻ y NH₄⁺ se cuantificó mediante un lisímetro del tipo Ebermeyer en todos los niveles de N. La volatilización del amoniaco se incrementó con las dosis de N en las dos estaciones, con su máxima expresión entre los 3 y 7 días después de aplicar la urea con valores de hasta 25 kg ha⁻¹. La lixiviación del NH₄⁺ fue insignificante; mientras que el lavado de los NO₃⁻ se incrementó con las dosis aplicadas y estuvieron cerca del 13 % del N aplicado alcanzando valores de 47 kg ha⁻¹ en la dosis de 300 kg ha⁻¹. Se concluye que en suelos Pardo Grisáceo las mayores pérdidas por volatilización del amonio (NH₄⁺) ocurren con la urea y la mayor lixiviación se presenta en NO₃⁻.

Palabras clave: lixiviación, lisímetro, nitrógeno, Suelo Pardo grisáceo, volatilización

ABSTRACT

An experiment was carried out during four harvests (two in the cold season and two in spring) with the objective of

determining the N losses by leaching and volatilization as well as their dynamics in a Brown Grayish soil in the Central Cuban region at the Experimental Station of Soil "Escambray" in corn crop. Six N levels were applied (0, 60, 120, 180, 240 y 300 kg ha⁻¹ of N) a third of which with ammonium sulfate when planting and the remaining 35 days with urea. Volatilization of ammonium in form of ammonia was determined using Nömmik's method in levels 0, 120 and 240 kg ha⁻¹ to 3, 7, 14, 21, 28 and 35 days after fertilization. The washing of NO₃⁻ and NH₄⁺ was quantified using a lysimeter type Ebermeyer. Ammonia losses due to volatilization increased along with N doses in the two seasons, reaching its maximum level between the 3rd and 7th days after the second urea fertilization with values of 25 kg ha⁻¹. NH₄⁺ leaching was insignificant. while NO₃⁻ losses increased along with the doses and were approximately 13 % of the applied N reaching values of 47 kg ha⁻¹ in the dose of 300 kg ha⁻¹. It is concluded that in Brown Grayish soil the greatest losses due to ammonium volatilization occur with urea and the greatest leaching occurs in NO₃⁻.

Keyword: lixiviation, lysimeter, Nitrogen, Brown grayish soil, volatilization

INTRODUCCIÓN

El N junto al potasio son los elementos del suelo que más remueven las plantas (Khalajabadi y Arias, 2018), pero el que más limita el desarrollo de las mismas es el N. A diferencia del fósforo y el potasio, el N escasea comúnmente en el suelo y en la mayoría de las ocasiones las plantas no obtienen del mismo la cantidad que requieren para su normal desarrollo por lo que es necesario aplicar este elemento. Sin embargo, el uso indiscriminado de fuentes minerales nitrogenadas puede crear condiciones nefastas para los cultivos, además de acarrear grandes pérdidas de este nutriente, pues el mismo, por su naturaleza, está sometido a diferentes procesos en los cuales puede ser excluido temporal o definitivamente del alcance de las plantas.

La dinámica del N en el suelo se caracteriza por la intensidad de las transformaciones a que están sometidas las distintas formas del mismo. Por su importancia predominan dos procesos contrapuestos, pero inseparables: La mineralización del N orgánico y la inmovilización del N mineral, ambos procesos constituyen reacciones muy ligadas y se ha concebido en llamar al esquema de estas transformaciones como "Ciclo del N en el Suelo". Al estudiar este ciclo, es evidente que el balance de las ganancias y las pérdidas pudieran arrojar resultados positivos o negativos en dependencia del comportamiento de diferentes

factores como suelo, planta, fertilizante y otros ambientales como precipitaciones, temperatura etc. Las ganancias están dadas por las aplicaciones de fertilizantes mineral u orgánico, precipitaciones, biofijación del N₂ atmosférico, mineralización de la materia orgánica; mientras que las pérdidas pueden ser por la lixiviación, desnitrificación y volatilización de algunas formas del N, inmovilización del mismo y extracción por las cosechas. Estas pérdidas, acorde con el perjuicio de cada una, pueden ser absolutas o relativas. En las primeras el N se pierde definitivamente del suelo y en las segundas son temporales pudiendo incorporarse de nuevo en otra fase del ciclo del cultivo.

Las pérdidas absolutas, por sus consecuencias se consideran de gran importancia y dentro de estas, la volatilización y lixiviación en países como Cuba, con un régimen pluviométrico superior a los 1200 mm anuales y temperaturas medias superior a los 20 °C, constituyen las de mayor peso y que deben tenerse en cuenta cuando se quiere hacer un uso racional del fertilizante nitrogenado para su mejor aprovechamiento y en beneficio del medio ambiente. Por todo lo antes expuesto se condujo esta investigación con el objetivo de cuantificar las pérdidas de N y la dinámica de las mismas por volatilización y lavado en suelo Pardo Grisáceo en función de dosis creciente de N y dos fuentes nitrogenadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se condujo durante cuatro campañas (dos de frío, octubre a marzo, y dos de primavera, abril a agosto) sobre un suelo Pardo Grisáceo Típico (Hernández *et al.*, 2015) de la región central de Cuba con 0,13 % de N total (Kjeldahl); 2,01 % de M.O. (Walkley and Black); 2,16 y 8,85 mg 100⁻¹ g ss de P₂O₅ y K₂O respectivamente (ambos por Oniani) y un pH en KCl de 4,9 (potenciométrico relación 1:2,5 suelo : solución).

En el campo se delimitaron las parcelas en un block al azar con cuatro réplicas y seis tratamientos:

- 1) 0 kg ha⁻¹ de N
- 2) 60 kg ha⁻¹ de N
- 3) 120 kg ha⁻¹ de N
- 4) 180 kg ha⁻¹ de N
- 5) 240 kg ha⁻¹ de N
- 6) 300 kg ha⁻¹ de N

Se utilizó maíz Híbrido HDT- 66 como planta indicadora; las parcelas midieron 28,80 m², con un área de cálculo de 18 m². Todos los tratamientos recibieron una fertilización basal de 60 y 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y K₂O respectivamente. El N se aplicó un tercio en siembra con sulfato de amonio (S.A.) al 20 % de N y el resto a los 35 de la misma con urea al 46 % de N. El área experimental está ubicada aledaña a un lisímetro del tipo Ebermeyer que fue utilizado para la cuantificación de la lixiviación.

Para determinar la lixiviación de los iones NH₄⁺ y NO₃⁻ se colocaron tres bandejas de fibra de vidrio de 0,1296 m² a una profundidad de 0,35 m en cada parcela de la réplica adyacente al lisímetro. Cada bandeja constituyó una unidad experimental y las mismas fueron conectadas mediante mangueras de peniplex a frascos colectores ubicados en el interior de la caseta lisimétrica, de los cuales se tomaron muestras de aguas lixiviadas cada vez que ocurrió este fenómeno, determinándose la concentración de iones NH₄⁺ y NO₃⁻ y el volumen de agua lixiviada lo que sirvió para hacer los cálculos de las pérdidas de N- NO₃⁻ y N- NH₄⁺ en kg ha⁻¹ conociendo el área de cada bandeja, utilizando la siguiente fórmula:

$$X = \frac{Q \times (V \cdot T)}{12,96} \quad (1)$$

Q = Concentración de N- NO₃⁻ y NH₄⁺ en mg/l en la muestra

V.T = Volumen total de agua lixiviada de cada frasco colector en litros

12.96 = Constante que depende del área de cada bandeja

X = kg ha⁻¹ de N en forma de NO₃⁻ y NH₄⁺ lixiviados

Las determinaciones de amonio y nitrato en las aguas lixiviadas se realizaron por destilación en el Kjeldahl y se valoró con ácido sulfúrico 0,01 N.

La volatilización del amonio en forma de amoniaco se determinó por el método de los cilindros de campo. Para esto se colocaron dos cilindros plásticos de 78,5 cm² de base y una altura de 30 cm en un área de 4 m² dentro de las parcelas que recibieron 0, 120 y 240 kg ha⁻¹ de N (tratamientos 1, 3 y 5) en las cuatro réplicas del experimento. Estos cilindros fueron colocados en los surcos de forma que ocuparan parte de la superficie fertilizada. En ellos se colocaron esponjas saturadas con ácido fosfórico concentrado más glicerina que se cambiaron a los 3, 7, 14, 21, 28 y 35 días después de la primera fertilización en siembra con S.A., manteniendo la frecuencia después de la segunda fertilización con urea a los 35 días de la siembra. Las esponjas colocadas en la parte superior se cambiaron solamente al concluir cada ciclo de frecuencias.

Las esponjas eran cilíndricas de un área similar a los cilindros de forma que al colocarse en los mismos no hubiese escape de gases. Estas se lavaron bien con H₃PO₄ uno molar y agua destilada, se les extrajo toda el agua y se saturaron con ácido fosfórico concentrado más glicerina para fijar el NH₃ volatilizado en forma de fosfato de amonio. Una vez listas las esponjas se trasladaron al campo y se ubicaron dos en cada cilindro, una en la parte inferior a 10 cm del suelo y la otra a 30 cm. La ubicada en la parte inferior fue la que se cambió con la frecuencia antes mencionada para los análisis del laboratorio. La otra se cambió al concluir

cada ciclo de frecuencia y también se le realizó análisis.

Cuando las esponjas entraron al laboratorio se realizó la extracción del NH_4^+ con una solución uno molar de HCl en una bomba al vacío y a una alícuota de ese extracto se le determinó la cantidad NH_4^+ en mg l^{-1} . Después las esponjas se lavaron con una solución de KOH uno molar y se les hizo el mismo tratamiento anterior para prepararlas para el cambio.

Para realizar los cálculos teniendo en cuenta el área que ocupó cada cilindro en el campo, el volumen total de la solución extractiva y la concentración de N- NH_4^+ en mg l^{-1} en la alícuota, se utilizó la siguiente fórmula:

$$C = \frac{P \times (\text{V.T.})}{78,5} \quad (2)$$

C = kg ha^{-1} de N en forma de NH_4^+ volatilizado

P = Concentración de NH_4^+ en mg l^{-1} en la alícuota

V.T. = Volumen total de la solución extractiva

78,5 Constante que depende del área de la base de los cilindros para expresar el resultado en kg ha^{-1}

El % de N perdido del aplicado se determinó por el método diferencial, auxiliándose de la siguiente fórmula:

$$N = \frac{N_{\text{trat}} - N_{\text{test}}}{D} \times 100 \quad (3)$$

N = % de N perdido del N aplicado

N trat = Nitrógeno perdido en el tratamiento que recibió la fertilización nitrogenada

N test = Nitrógeno perdido en el testigo de N

D = dosis de N aplicada (kg ha^{-1}) en el tratamiento en cuestión

Evaluación estadística de los resultados

En el caso de la volatilización, los datos se arreglaron como un bifactorial distribuidos en block al azar donde los niveles de N en cada fuente (0, 40 y 80 kg ha^{-1} para el S.A. y 0, 80 y 160 kg ha^{-1} en forma de urea) constituyeron un

factor y la frecuencia de cambio de las esponjas (3, 7, 14, 21, 28 y 35 días después de la fertilización con cada fuente) fue el otro factor, cada combinación se replicó cuatro veces. Se trabajó con los valores promedios de los dos cilindros de cada parcela y con la media de las dos campañas de frío y de las dos de primavera pues los valores fueron muy similares. Las medias de las interacciones se compararon mediante la prueba de rango múltiple de Duncan para $p \leq 0,01$ y se reflejaron en gráficos, en los cuales las medias con letras iguales no difirieron

Los datos de la lixiviación se evaluaron como un diseño completamente aleatorizado, cada bandeja (tres en cada nivel de N) fue una observación. Se trabajó con las medias de las dos campañas de frío y las dos de primavera. Las medias se compararon mediante la prueba de rango múltiple de Duncan para $p \leq 0,01$ y se reflejaron en gráficos, indicando sus diferencias con letras no comunes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 (A y B) se muestra la dinámica de las pérdidas de N en forma de amonio por volatilización del amoniaco, en función de dosis crecientes de N, después de la fertilización en siembra con S.A y con urea a los 35 días de esta, durante la campaña de primavera. Se puede apreciar que las pérdidas se incrementaron sustancialmente con el aumento de las dosis de N con independencia de la fuente utilizada resultados que coinciden por los obtenidos por Barbieri *et al.* (2018), siendo muy superiores después de la segunda fertilización con urea. El hecho de que las pérdidas después de la segunda fertilización con urea sean superiores a las que ocurrieron después de la primera fertilización con S.A. puede estar justificado por tres causas elementales: Primero, en la segunda aplicación las dosis de N fueron superiores, ya que se aplicaron dos tercios del total y como se dijo anteriormente, las dosis incrementaron las pérdidas; segundo, en la primera el fertilizante se mezcló con el suelo y en la segunda fue superficial y al mezclar el fertilizante con el suelo los iones de amonio pueden ser retenidos más fácil por las arcillas cargadas

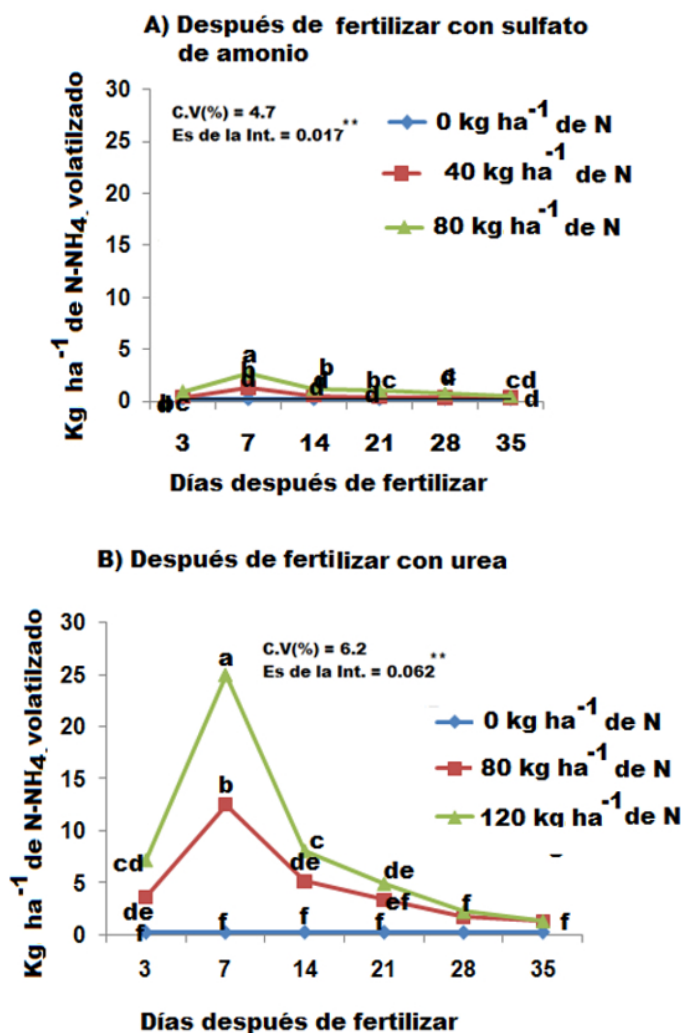


Figura 1. Dinámica de las pérdidas de N por volatilización del amoniaco en primavera

negativamente. En tal sentido Fernández (2019) refiere que si las condiciones del medio son favorables para la oxidación de nitritos y nitratos, existirá un mayor riesgo de lixiviación de N hacia aguas subterráneas, pues los iones amonio positivos pueden ser atraídos por partículas cargadas negativamente como las arcillas y tercero, en la primera aplicación la fuente fue S.A. y en la segunda fue urea y al utilizar este portador puede facilitarse la formación de amoniaco por la hidrólisis de la misma. Al respecto, Basdeo y Ganguar (1976) encontraron que al aplicar diferentes fuentes nitrogenadas, la urea es la de mayores pérdidas por volatilización del amoniaco. Algunos investigadores recomiendan utilizar la urea recubierta para reducir las pérdidas gaseosas. Así Priyanka *et al.* (2018) encontraron una reducción de las pérdidas por volatilización

entre un 27 y 41 % al utilizar urea recubierta con diferentes aditivos, sugiriendo esta práctica para inhibir estas pérdidas.

Al analizar la dinámica de la volatilización en esta misma figura, puede apreciarse que en todos los niveles y en ambas fuentes las mayores pérdidas se registraron entre los 3 y 7 días de la fertilización, notándose que a partir de los 14 días la volatilización en los niveles superiores eran iguales que en el testigo, lo que indica la rapidez con que ocurren los mecanismos de la volatilización y que por tanto es un factor de gran importancia a considerar en el manejo de la fertilización nitrogenada, sugiriendo aplicar la misma en los momentos de mayor demanda por los cultivos. Aspectos similares fueron discutidos por Barbieri *et al.* (2018) quienes informaron que las mayores pérdidas por volatilización del amoniaco ocurrieron a los 6 y 7 días después de

la fertilización correspondiendo con los valores más altos de pH; mientras que López *et al.* (1987) las encontraron al cuarto día. Almaguer *et al.* (2000) al evaluar la dinámica de la variación del contenido del N mineral en un suelo Pardo Grisáceo en función de dosis creciente de N informaron que, a los 35 días de la fertilización, el contenido de NH_4^+ en el suelo que recibió la dosis más alta, era similar que, en el testigo, lo cual atribuyeron a las pérdidas ocurridas por volatilización y lavado en ese período. Leal *et al.* (2007) al evaluar la dinámica de las pérdidas por volatilización a los 1, 2, 3, 4, 5, 9, 14 y 20 días posteriores a la fertilización con urea en suelo derivado de cenizas volcánicas, encontraron que al segundo día ocurrieron las mayores pérdidas que estuvieron alrededor del 9 % del total en ese período. Similarmente Zhipán *et al.* (2019) al determinar las pérdidas por volatilización del amonio desde

1 hasta 22 días después de fertilizar con las dosis de 60, 80 y 240 kg ha^{-1} de N en forma de urea encontraron que las pérdidas se incrementaron con las dosis de N, siendo mayores entre los 2 y 4 días de la aplicación.

En la figura 2 (A y B) se muestra la dinámica de las pérdidas de N en forma de amonio por volatilización del amoniaco, en función de dosis crecientes de N, después de la fertilización en siembra con S.A. y con urea a los 35 días de esta durante la campaña de frío. En la misma se observa que hubo un comportamiento muy similar a lo ocurrido en primavera en cuanto a la dinámica, dosis y fuentes. Las mayores pérdidas ocurrieron entre 3 y 7 días después de la segunda fertilización con urea. Sin embargo, pudo notarse que la cuantía de las pérdidas en esta época fue muy inferior que, en primavera, hecho que se justifica porque en este período del año las temperaturas son más bajas y hay menos

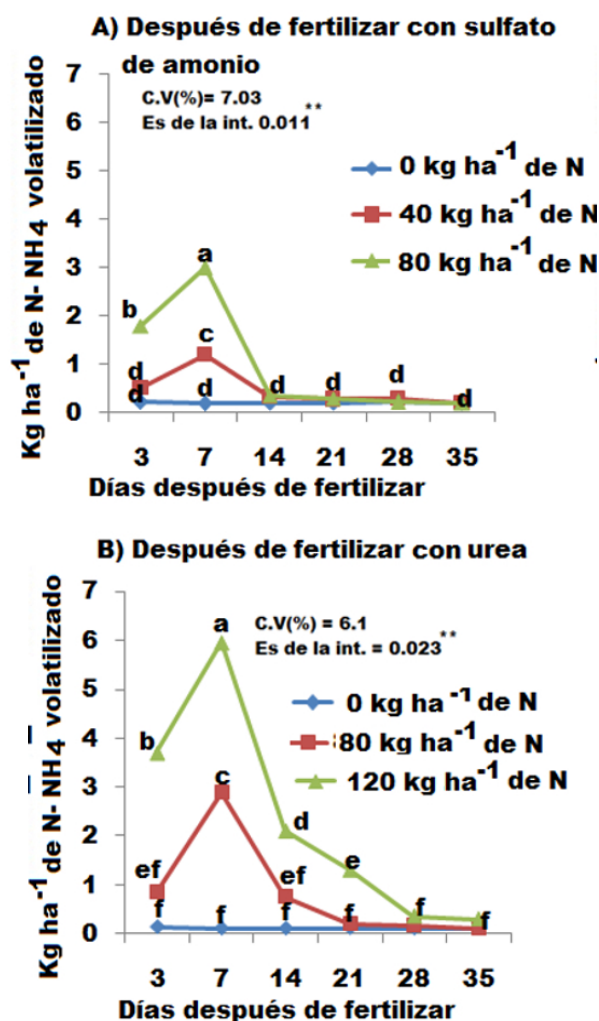


Figura 2. Dinámica de las pérdidas de N por volatilización en la campaña de frío

humedad en suelo, aspectos que reducen la volatilización, pues las temperaturas altas aceleran el proceso de hidrólisis de la urea aumentando la volatilización el amoniaco y la humedad del suelo favorece la evaporación superficial del agua incrementando las pérdidas por volatilización. Sainz *et al.* (1997) consideran que las altas temperaturas y la humedad del suelo son, entre otros factores, muy influyente en la volatilización del amoniaco.

En la Figura 3 se observan las pérdidas totales por época en función de las dosis de N, aquí se corrobora lo discutido anteriormente de que la volatilización en primavera fue muy superior que en frío, con valores superiores 57 kg ha⁻¹ (22 % del N aplicado) en aquella estación; mientras

que en el período poco lluvioso los mayores valores, que aunque también fueron altos, no rebasaron el 7 % (20 kg ha⁻¹) del N aplicado, hecho que se justifica por las condiciones de temperatura y humedad del suelo durante el período lluvioso que favorecen el proceso de volatilización del amoniaco.

En la Figura 4 se presenta el efecto de las dosis de N sobre las pérdidas por lixiviación del amonio para ambas campañas, observándose que fueron insignificantes pues se mantuvieron alrededor del 1 % del N aplicado. En el suelo Pardo Grisáceo el material arcilloso predominante es del tipo 2:1 (montmorillonita) cargado negativamente, motivo por el cual los cationes NH₄⁺ son fuertemente retenidos

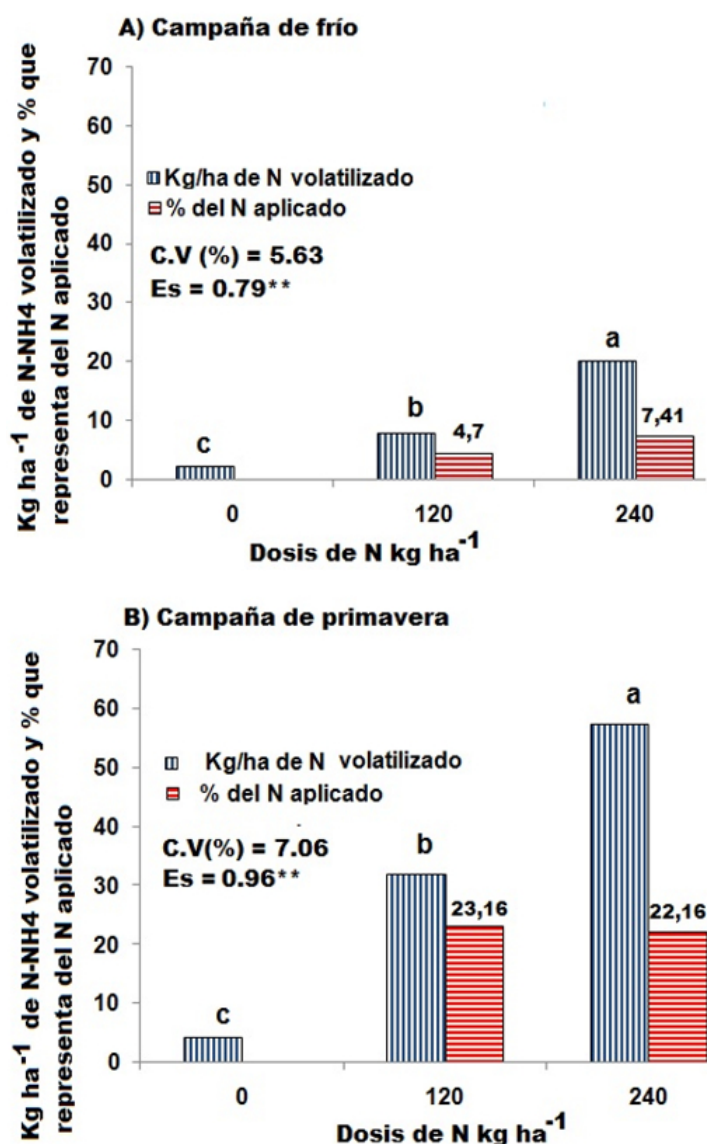


Figura 3. Pérdidas totales de N por volatilización del amoniaco en función de dosis de N para ambas campañas

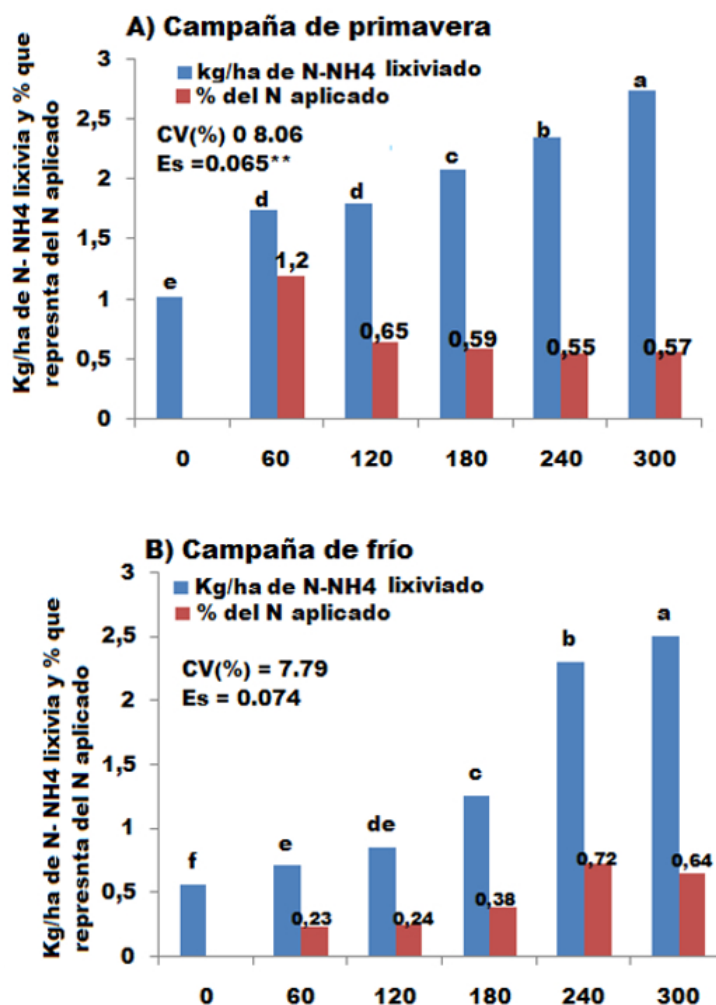


Figura 4. Pérdidas de N en forma de amonio por lixiviación en ambas campañas
Lixivia-lixiviado; representa-representa

reduciendo la lixiviación de los mismos

Sin embargo la figura 5 muestra las pérdidas por lavado de los iones NO_3^- en ambas campañas. Se aprecia que estas fueron considerables, incrementándose con las dosis de N y alcanzaron valores de hasta 28 kg ha^{-1} con la dosis de 300 kg ha^{-1} , que representó el 8 % de la dosis aplicada en la campaña de frío y de 47 kg ha^{-1} que representó el 13 % del N aplicado, en primavera. Lógicamente la lixiviación en primavera fue superior que en el periodo poco lluvioso pues en aquella estación las lluvias ocasionan mayores pérdidas. Los iones NO_3^- en estos suelos están sometidos a severas pérdidas por lavado, ya que son muy débilmente retenidos por estar cargados negativamente al igual que las arcillas predominantes en el mismo. En tal sentido Almaguer *et al.* (2013)

encontraron valores de hasta 12 mg l^{-1} de NO_3^- en las aguas lixiviadas cuando aplicaron dosis de 0 a 300 kg ha^{-1} de N; mientras que Huang *et al.* (2017) encontraron un incremento en las concentraciones de NO_3^- con el aumento de las dosis de N y la profundidad del suelo. La Biblioteca Smart (2020) informa que los nitratos se mueven en el suelo junto con el flujo de agua y pueden llegar hasta las aguas subterráneas, enfatizando que el grado de lixiviación depende en gran medida de las propiedades del suelo, el momento y la dosis de aplicación del N y la intensidad del flujo de agua.

CONCLUSIONES

- Las pérdidas de N por volatilización del amonio se incrementaron con el aumento de las dosis de N, siendo superiores en la

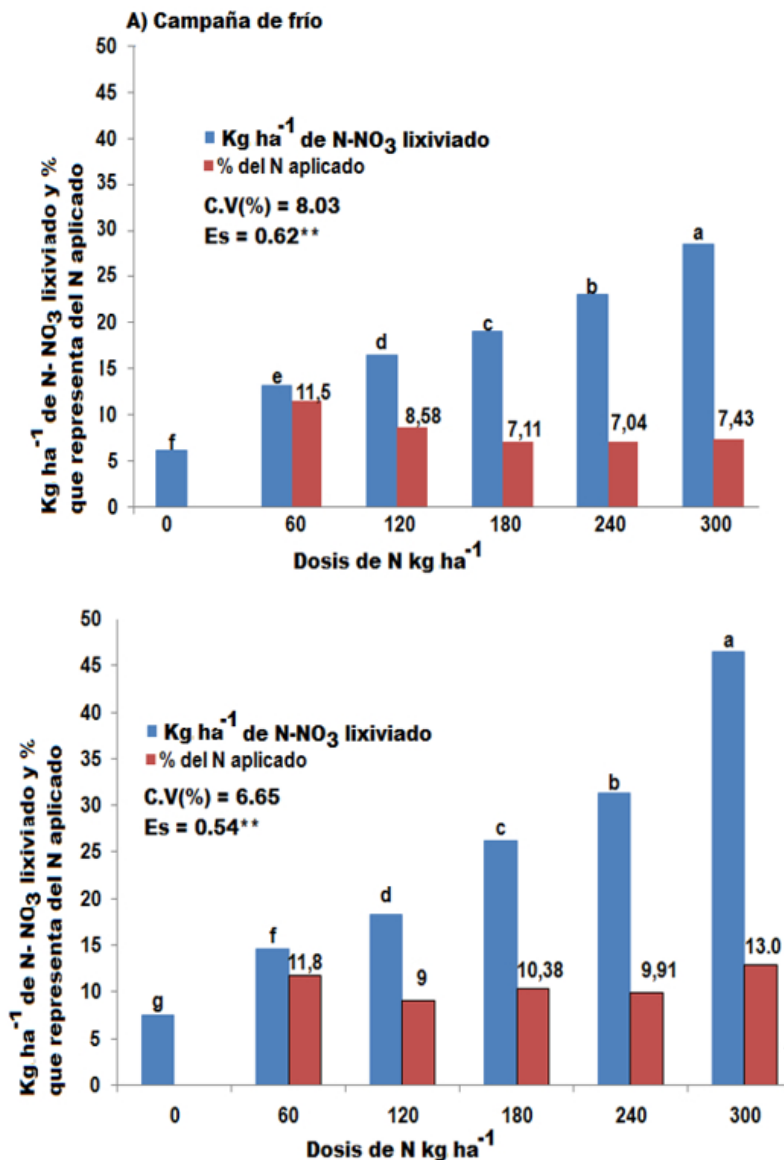


Figura 5. Pérdidas de N por lixiviación de nitrato en ambas campañas

campaña de primavera donde alcanzaron valores superiores al 20 % del N aplicado

- La mayor volatilización se registró entre los 3 y 7 días después de fertilizar tanto con Sulfato de amonio como con urea, aunque después de esta última las pérdidas fueron mayores
- Las pérdidas por lavado en forma de amonio fueron insignificantes y nunca llegaron al 1.5 % del N aplicado
- Las pérdidas por lixiviación de los nitratos aumentaron con las dosis de N, alcanzando valores hasta del 13 % del N aplicado (47 kg ha⁻¹) en el período lluvioso, época donde se registraron las mayores pérdidas.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Juan Almaguer López: Conceptualizó y formuló los objetivos generales de la investigación. Realizó el análisis estadístico, Interpretó los resultados y redactó el borrador del manuscrito.

Norma Barberena Fernández: Tuvo a su cargo los análisis de laboratorio que hicieron posible la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

ALMAGUER, J., BATTLE, J., BRUNET, E. y ESPINOSA, W. 2000. Variación del contenido de nitrógeno en un suelo Pardo Grisáceo en función de la fertilización nitrogenada y el

- tiempo. *Centro Agrícola*, 27(1):31-34.
- ALMAGUER, J. 2013. Fertilización nitrogenada, impacto sobre los rendimientos y el medio ambiente. *Rev. DELOS*, 6 (16). Disponible en: <http://www.eumed.net/rev/delos/16/fertilización-nitrogenada.html> Consultado en enero 2021.
- BARBIERI, P., ECHEVERRÍA, E. y SAÍNS, H. 2018. Pérdidas por volatilización y eficiencia de uso de nitrógeno en maíz en función de la fuente, dosis y momento de aplicación. *Rev. Fac. Agronomía*, 117(1): 111- 116.
- BASDEO, A., and GANGUAR, B.R. 1976. Studies on losses of ammonia by volatilization from nitrogenous fertilizer applied to soils. *J. Indian Soc. Soil. Sci.*, 24(2):168 - 170.
- BIBLIOTECA SMART. 2020. 5 formas para reducir la lixiviación de nitratos. Alojado en: <http://www.smart-fertilizer.com> Consultado en enero 2021.
- FERNÁNDEZ, G. 2019. Efecto del pre-tratamiento sobre la lixiviación de nitrógeno y fósforo de biosólidos provenientes de digestión anaeróbica, en un suelo franco-limoso. Tesis para optar al título de Ingeniero ambiental, Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Ambientales, Concepción, Chile, 93 p.
- HERNÁNDEZ, A., PÉREZ, J. M., BOSCH, D., *et al.* 2015. Clasificación de los suelos de Cuba. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Instituto de suelos, Cuba, ISBN: 978-959-7023-77-7.
- HUANG, J., YING-HUA, D., MING, Z., *et al.* 2017. Nitrogen mobility, ammonia volatilization, and estimated leaching loss from long-term manure incorporation in red soil. *Journal of Agriculture*, 16(9):2082-2092.
- KHALAJABADI, S. y ARIAS, E. 2018. Lixiviación del potasio en suelos de la zona cafetera y su relación con la textura. *Bioteología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16 (1):34 - 42, <http://dx.doi.org/10.18684/bsaa.v16n1.632> Consultado en enero 2021.
- LEAL, V., SALAMANCA, A. y SADEGHIAN, S. 2007. Pérdidas de nitrógeno por volatilización en cafetales en etapa productiva. *Cenicafé*, 58(3): 216-226.
- LÓPEZ, T., JOHN, C., CASTRO, P. y RODRÍGUEZ, J. 1987. Métodos para determinar las pérdidas por volatilización del amonio. *Cienc. Téc. Agric. Suelos y Agroquímica*, 10(1): 57- 64.
- PRIYANKAJ, R., SELLADURA, I., SINGH, S. y VASSANDA, M. 2018. Pérdidas por volatilización y lixiviación de nitrógeno de diferentes fertilizantes de urea recubiertos. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 18(4): 1036-1047, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162018005002903> Consultado en enero 2021.
- SAINZ, H., ECHEVERRÍA, E., STUDDERT, G. y ANDRADE, F. 1997. Volatilización de amoniaco desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo*, 15: 12-16.
- ZHIPAN, M., YUE, Y., FENG, M., *et al.* 2019. Mitigation of ammonia volatilization and nitrate leaching via loss control urea triggered H-bond forces. *Scientific Report, Nature research*, 9p. Disponible en <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51566-2>. Consultado en enero 2021.



Artículo de libre acceso bajo los términos de una *Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional*. Se permite, sin restricciones, el uso, distribución, traducción y reproducción del documento, siempre que la obra sea debidamente citada.