

# LIXIVIACIÓN DE NITRÓGENO EN SUELOS DE LA ZONA CAFETERA A PARTIR DE DIFERENTES FUENTES FERTILIZANTES

Hernán González Osorio\*, Siavosh Sadeghian Khalajabadi\*

---

## RESUMEN

**GONZÁLEZ O., H.; SADEGHIAN K., S. Lixiviación de nitrógeno en suelos de la zona cafetera a partir de diferentes fuentes fertilizantes. Revista Cenicafé 63 (1): 111-119. 2012**

Con el objetivo de encontrar nuevas opciones que conduzcan a mejorar la eficiencia de la fertilización con nitrógeno (N) en el cultivo del café, durante 90 días en condiciones de laboratorio mediante la técnica de columnas de lixiviación, se evaluó la lixiviación de  $N-NO_3^-$  y  $N-NH_4^+$ , en tres suelos de la zona cafetera colombiana, dos de ellos con predominio de carga variable. Los tratamientos evaluados fueron urea prilled (46%N), sulfato de amonio-SAM (21%N) y nitrato de amonio-NA (26%N). Del total de N aplicado, las pérdidas por lixiviación ante el exceso de humedad, correspondieron en más del 90% al  $N-NH_4^+$ , la magnitud fue diferente según el tipo de suelo y la fuente fertilizante aplicada. Para los suelos con predominio de carga variable, la lixiviación de  $N-NH_4^+$  mantuvo la relación  $SAM \geq NA > urea$ , presentándose una rápida lixiviación en aquel de menor desarrollo estructural. Para el suelo con predominio de carga permanente, la lixiviación del catión fue inferior del 28%, registrándose una relación de pérdidas equivalente a  $SAM=NA > urea$ . En cuanto al  $N-NO_3^-$  lixiviado, los niveles fueron mayores en el tratamiento con urea. La lixiviación de  $N-NH_4^+$  y  $N-NO_3^-$  estuvo asociada con la carga variable inducida por los cambios del pH efecto de las fuentes fertilizantes y con el exceso de humedad que pudo haber impedido temporalmente los procesos bioquímicos de transformación de N en el suelo.

**Palabras clave:** Suelos con carga variable, movimiento de iones, nitrato, amonio.

---

## ABSTRACT

In order to find new options that lead to an improvement in the efficiency of fertilization with nitrogen (N) in coffee cultivation, the column leaching technique, leaching of  $N-NO_3^-$  and  $N-NH_4^+$  was evaluated in three soils of the Colombian coffee zone, two of them with varying load predominance, for 90 days under laboratory conditions. The treatments were prilled urea (46 % N), ammonium sulfate -SAM (21% N) and ammonium nitrate -NA (26% N). Regarding the total of N applied, more than 90% of leaching losses due to moisture excess corresponded to  $N-NH_4^+$ , the magnitude was different depending on the type of soil and the applied fertilizer source. For soils with varying load predominance, the leaching of  $N-NH_4^+$  maintained a ratio  $SAM \geq NA > urea$  with rapid leaching at the one with the lowest structural development. For the soil with permanent charge predominance, the cation leaching was below 28 %, with a ratio loss equivalent to  $SAM=NA > urea$ . Regarding the  $N-NO_3^-$  leach, the levels were higher in the treatment with urea. The leaching of  $N-NH_4^+$  and  $N-NO_3^-$  were associated with the variable load induced by pH changes, fertilizer sources effect and moisture excess that may have temporarily prevented the biochemical processes of N transformation in the soil.

**Keywords:** Soils with variable load, ions movement, nitrate, ammonium.

---

\* Investigador Científico I, e Investigador Científico II, respectivamente, Disciplina de Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

El nitrógeno (N) es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, razón por la cual requiere ser incluido en los programas de fertilización en diversos cultivos. El café no es la excepción, dado que necesita alrededor de 500 kg.ha<sup>-1</sup> del elemento para garantizar un adecuado crecimiento vegetativo (14) y entre 240 y 300 kg.ha<sup>-1</sup>-año<sup>-1</sup> para la fase de producción (13).

El N suministrado a través de la fertilización, experimenta transformaciones a corto, mediano y largo plazo, de acuerdo a unas condiciones químicas, físicas y de disponibilidad hídrica específicas de los suelos (4, 6, 11). Conforme se dan estos cambios, la solución del suelo se abastece del nutrimento, y desde allí, una porción pasa a conformar parte integral de los tejidos vegetales, otra es retenida por el componente biológico del suelo, adsorbida o fijada por la fase sólida del mismo, mientras que otro porcentaje se moviliza hacia horizontes sub superficiales por el fenómeno de la lixiviación (12); siendo este último un aspecto de particular atención en diversas áreas agrícolas del mundo, por el impacto que tiene en la reducción del rendimiento de las cosechas y en la contaminación de las fuentes de agua (9, 11).

Por lo anterior, en el ámbito científico y comercial se vienen proponiendo opciones conducentes a incrementar la eficiencia en el uso del N. En este sentido, pueden ser útiles los fertilizantes cuyos recubrimientos retardan o inhiben la reacción de sus componentes (15, 17), así como la implementación de esquemas de abonamiento ajustados a las características edáficas, climáticas y de cultivo.

Dada la importancia del N para el café y la necesidad de encontrar nuevas opciones que mejoren la efectividad en su aplicación, en el presente estudio se evaluaron las

pérdidas de N por lixiviación, a partir del suministro de fertilizantes nitrogenados de uso común en la caficultura de Colombia, en tres suelos diferentes en sus características químicas, físicas y mineralógicas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En cada una de las unidades cartográficas de suelos Chinchiná, Doscientos y Quindío, de la zona cafetera de Colombia, se seleccionó un lote con un mínimo de 10 años sembrado con café. Allí, se tomaron sub muestras de 5 kg de suelo, en los primeros 30 cm del horizonte A, hasta completar 60 kg. La taxonomía y las características mineralógicas y químicas de los suelos seleccionados se presentan en la Tabla 1.

El suelo correspondiente a cada localidad se llevó al laboratorio de la Disciplina Suelos de Cenicafé, donde se disgregó (rompimiento de terrones grandes) y homogeneizó. Posteriormente, se tamizó con mallas de 1 y 4 mm de abertura, con el fin de seleccionar aquella porción de suelo de un tamaño intermedio entre las aberturas citadas.

La muestra de cada localidad se empacó en 24 columnas de PVC, de 5,5 cm de diámetro, hasta alcanzar 20 cm de longitud, una vez preparadas, se colocaron en una superficie nivelada y se humedecieron por capilaridad, con agua desionizada hasta capacidad de campo. Después de 5 días, en la parte superior de las columnas se aplicaron los tratamientos, bajo el diseño completamente aleatorio, consistentes en el suministro de 1 g de N, mediante el uso de urea (46% de N), sulfato de amonio-SAM- (21% de N) y nitrato de amonio -NA-(26% de N) como fuentes fertilizantes. Además, se contó con un testigo al cual no se le adicionó fertilizante alguno. Se tuvieron

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica, mineralogía y características químicas de los suelos objeto de estudio.

	<b>Unidad Chinchiná</b> <i>Pachic Fulvudand</i>	<b>Unidad Quindío</b> <i>Typic Udivitrand</i>	<b>Unidad Doscientos</b> <i>Lytic Dystrudept</i>
Feldespatos (%)	30-50	30-50	15-30
Vidrio volcánico (%)	Trazas	Trazas	Trazas
Hornblenda (%)	15-30	15-30	30-50
Cuarzo (%)	<15	<15	<15
No cristalinos (%)	>50	30-50	30-50
Metahaloista (%)	No detectado	5-15	15-30
Circón	5-15	Trazas	Trazas
pH	5,1	5,8	5,1
Materia orgánica (%)	13,4	4,4	17,1
P (mg.kg <sup>-1</sup> )	20	9,0	3,5
K (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	0,16	0,18	0,4
Ca (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	1,33	1,5	1,6
Mg (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	0,47	0,2	0,4

seis unidades experimentales, asignadas a cada tratamiento, de acuerdo con el diseño experimental completamente aleatorio.

A partir de este momento, cada 10 días, durante los 3 meses siguientes, las unidades experimentales se humedecieron con agua desionizada hasta capacidad de campo, más 50 mL de exceso (riego). En las mismas fechas en las que se efectuó el riego, se colectó el efluente en la parte inferior de cada unidad experimental (agua lixiviada) y se determinó la concentración de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por destilación, y el pH de la misma por el método potenciométrico.

Luego de 90 días, se retiraron las columnas y se midió el pH en agua y en KCl 1M, a dos profundidades: 0-10 cm y 10-20cm. Los resultados del pH en agua y en KCl 1M, permitieron establecer el delta de pH.

Los resultados se analizaron bajo el diseño experimental propuesto y se efectuaron comparaciones entre los tratamientos a través de la Prueba Tukey al 5%.

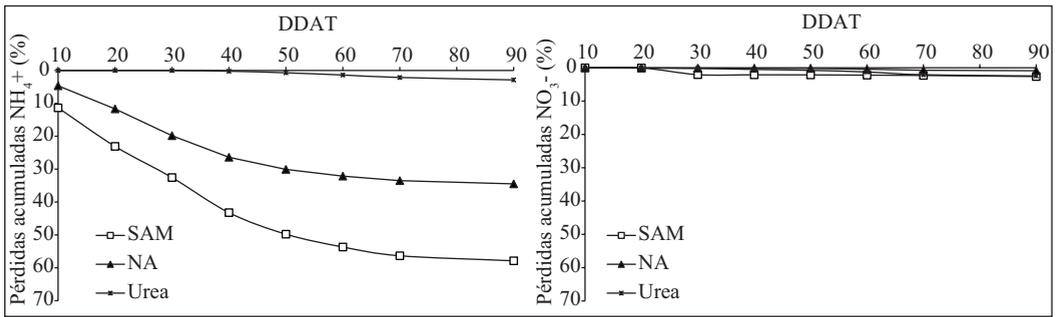
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En un amplio sentido, la magnitud de las pérdidas por lixiviación ante un exceso de humedad, fue diferente según la naturaleza del suelo y de la fuente fertilizante aplicada.

**Unidad Quindío.** La concentración de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en la solución lixiviada superó en más de 90 veces a la del NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, durante todas las evaluaciones. Dicho fenómeno que se evidenció a partir del primer riego, no permitió detectar NH<sub>4</sub><sup>+</sup> proveniente del NA y del SAM, del orden del 4% y el 11%, respectivamente (Figura 1).

Con relación al acumulado de pérdidas de N, se alcanzó un 58% con el SAM y 34% con NA, mientras que con la urea y el testigo, fueron máximo 2,9%.

Los altos niveles de amonio en el lixiviado o efluente pueden relacionarse con tres fenómenos. En primera instancia, con la composición química del NA y del SAM, las cuales son portadoras de N en forma



**Figura 1.** Pérdidas de N-  $\text{NH}_4^+$  y N- $\text{NO}_3^-$  por lixiviación, en suelo de la unidad Quindío. DDAT: Días después de la aplicación del tratamiento.

de amonio en diferente concentración; en segunda medida, es posible que la cantidad del fertilizante ubicado en las columnas hubiese sido relativamente alto como para reflejarse en el agua de percolación; por último, no se desestima que ante un exceso de humedad al que fueron sometidas las unidades experimentales, se indujera a interferir con la acción de los microorganismos encargados de la nitrificación del amonio.

Respecto al tratamiento con urea, la baja concentración en el agua lixiviada, puede estar asociada con lo discutido anteriormente, por ser ésta una molécula dependiente del componente biológico para su transformación y por el agotamiento del elemento por volatilización, que pudo haberse presentado durante las primeras horas luego de su aplicación (3). Cabe anotar, que el hecho de que el amonio y el nitrato estuvieran prácticamente ausentes del efluente, no se traduce en que el elemento suministrado a partir de la urea se pierda poco por lixiviación. Esto significa que la urea como molécula puede también migrar y conducir el N al agua de percolación sin necesidad de que el elemento pase a las formas evaluadas en este estudio.

Por lo mencionado, no se descarta que el fenómeno descrito se manifieste también

en condiciones de campo, particularmente durante periodos La Niña.

Para el caso específico de la lixiviación de  $\text{NO}_3^-$ , entre los días 40 y 70, aunque se detectaron los mayores valores, éstos fueron muy bajos con relación a los del amonio. En este sentido, con el SAM los tenores oscilaron entre 2,1% y 2,3%, alrededor de 0,4% con NA y 1,2% en el testigo, este último proveniente de los fenómenos asociados con la mineralización de la materia orgánica. En presencia de urea, los niveles se mantuvieron casi proporcionales a los de amonio.

El  $\text{NO}_3^-$  en el tratamiento con SAM, fertilizante que carece de N en forma nítrica, y para el testigo sin fertilizante, demuestra que la conductividad hidráulica de este suelo, alcanza a ser 70% superior a la de la unidad Chinchiná (1), asociada con el débil desarrollo estructural que caracterizaron sus "peds" en condiciones de campo, facilitarían también el flujo de oxígeno para una oxidación de N en todas las unidades experimentales.

Si bien las aplicaciones de las fuentes fertilizantes suscitaban diferente concentración de N en solución, pudo constatar que no todo el N contenido en ellas se lixivió, lo

cual ratifica que la misma naturaleza física y química del suelo, pese a los excesos hídricos, constituye un medio para albergar temporalmente los nutrientes aplicados a través de la fertilización; aunque no se descarta que un exceso de humedad, puede haber inducido también a pérdidas de N por desnitrificación.

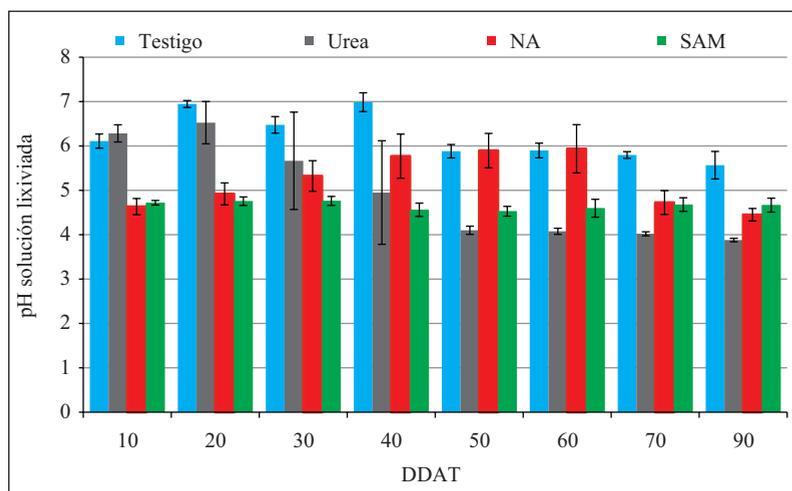
Por tratarse el suelo de la unidad Quindío de un Andisol, su mineralogía y contenidos de materia orgánica tienen la facultad para exhibir cargas de tipo variable en su fracción sólida, de acuerdo a las condiciones del pH en el medio (17). En tal sentido, al monitorear la acidez de la solución lixiviada a través de los eventos de exceso hídricos a los que fueron sometidos los tratamientos, pudo hallarse que las condiciones de permanente humedad, contribuyeron con el incremento de los valores del pH (Figura 2).

Las reacciones químicas de las que es objeto la urea durante sus estados de transformación iniciales, se reflejaron en el aumento del pH y comenzaron a neutralizarse a partir del día 50, posiblemente por el agotamiento de la molécula.

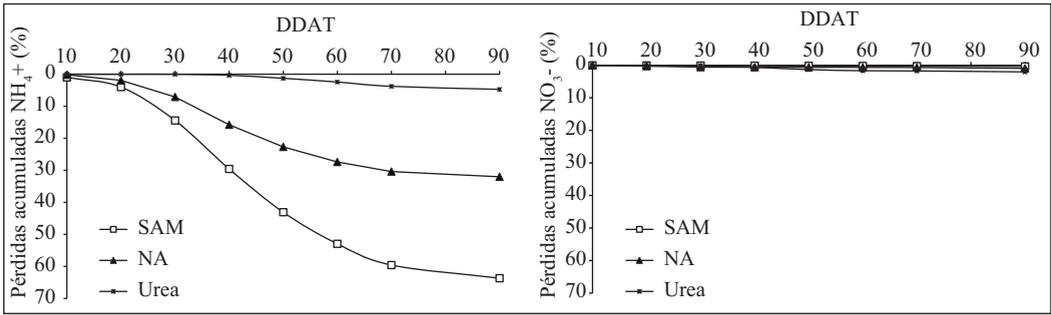
Con el SAM y el NA, el remanente de acidez se presentó desde el principio del estudio, lo cual podrían dar sustento a la baja presencia de  $\text{NO}_3^-$ , debido a que en estas condiciones, predominaría la capacidad de intercambio aniónico (CIA) sobre la capacidad de intercambio catiónico (CIC). El efecto citado también podría estar relacionado con el poder de reemplazo del  $\text{NH}_4^+$  que ocasionaría desplazamiento de las bases intercambiables y posterior disminución del pH.

Desde el punto de vista de los cambios en el pH de la fracción sólida del suelo como tal, al final de la evaluación se constató a través de valor del delta de pH, que en cuatro de las seis muestras de suelo de las columnas que recibieron NA, prevalecía la capacidad de intercambio aniónico-CIA- sobre la capacidad de su intercambio catiónico-CIC.

**Unidad Chinchiná.** En la unidad Chinchiná se mantuvo la tendencia registrada para el  $\text{NH}_4^+$  en el suelo de Quindío, y la magnitud de pérdidas al final del período experimental fue prácticamente igual. Sin embargo, a diferencia del suelo anterior, donde la



**Figura 2.** Valores de pH de la solución del suelo después de la aplicación de tratamientos (DDAT).



**Figura 3.** Pérdidas de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  por lixiviación, en suelo de la unidad Chinchiná.

remoción fue evidente desde el primer riego, en la unidad Chinchiná éstas empezaron a manifestarse luego de 30 días, es decir, a partir del riego número tres (Figura 3).

La concentración de nitratos en el agua de percolación, se evidenció a partir del día 20, específicamente en el tratamiento con NA, en donde se alcanzaron niveles de 0,60%. En adelante, los valores en este tratamiento y del SAM se mantuvieron alrededor de 0,60% y 0,28%, respectivamente; mientras que para la urea estuvieron entre 1,7% y 2,0%, y los del testigo fueron cercanos a cero.

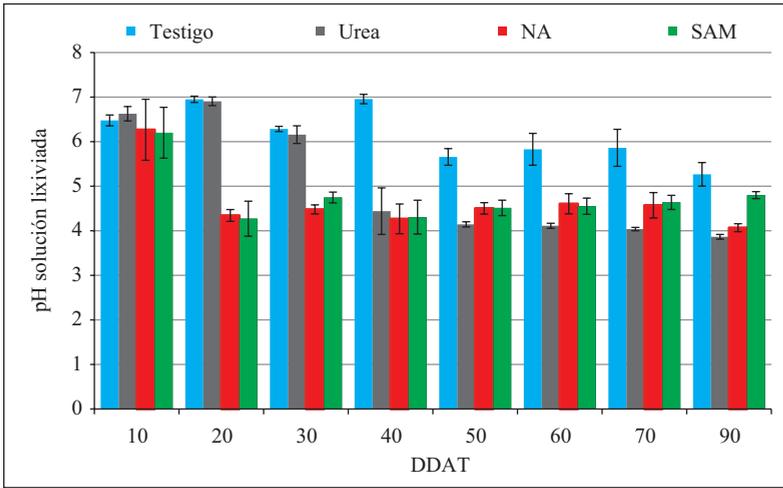
La diferencia en el tiempo de aparición de N, particularmente amonio, en la solución entre las dos unidades de suelo, puede relacionarse por una parte con sus características físicas. De esta forma, ante un bajo grado de desarrollo estructural del suelo de la unidad Quindío habría una menor impedancia que facilitaría un patrón de flujo preferencial para los solutos a través del perfil (2).

De otro lado, desde el punto de vista químico, la proporción de materiales no cristalinos y contenidos de materia orgánica, juegan un papel fundamental en la adsorción, bien sea catiónica o aniónica, y en consecuencia en la reducción de pérdidas de nitratos. Estudios de Prado *et al.* (8) en andisoles de México, muestran cómo las propiedades de

este tipo pueden controlar significativamente el movimiento de nitratos a través del perfil, efecto de la atracción electrostática.

Previamente Leon y Pratt (5), demostraron una muy baja remoción de  $\text{NO}_3^-$  en suelos colombianos cuyo material parental fueron cenizas volcánicas, clasificados entonces dentro de los Andepts. La explicación a este fenómeno se basó igualmente en las consideraciones de tipo químico descritas anteriormente. Finalmente, el pH del efluente por efecto de los tratamientos, se redujo en más de dos unidades con el NA y el SAM, particularmente a partir del segundo período de exceso de humedad (Figura 4).

El delta del pH permitió detectar cómo en los suelos del 70% de las unidades experimentales predominó la CIA con el NA, mientras que cuando se suministró SAM sólo se presentaron estos cambios en el 30% de los suelos correspondientes a dicho tratamiento. La diferencia en los resultados respecto a lo registrado en Quindío, puede estar asociada con la abundancia de materiales amorfos (> 50%) y el mayor grado de desarrollo estructural. Esto indica que ambos suelos, a pesar de la similitud en su génesis, potencialmente pueden exhibir un comportamiento disímil en lo que a la adsorción de iones y otras características físicas y químicas se refiere; lo cual sugiere, que



**Figura 4.** Valores del pH en la solución del suelo después de la aplicación de tratamientos (DDAT).

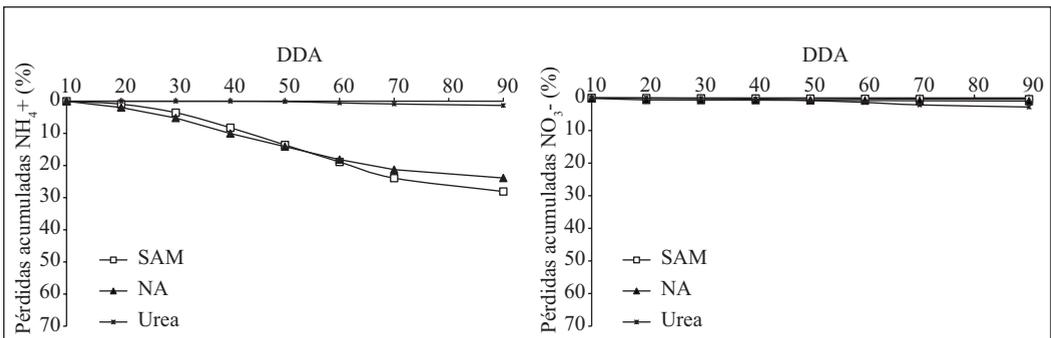
el seguimiento a propiedades como la CIC, la CIA, el grado de desarrollo estructural y la mineralogía de estos suelos, constituyen en conjunto factores decisivos que permiten explicar el fenómeno de la lixiviación de N en áreas cafeteras de Colombia.

**Unidad Doscientos.** Para la unidad Doscientos, la lixiviación de N en las dos formas analizadas, fue inferior a las registradas para las unidades Quindío y Chinchiná. Al final de la evaluación, el  $\text{NH}_4^+$  perdido fue máximo del 28%, indistintamente tratándose de NA o SAM, mientras que el catión proveniente del

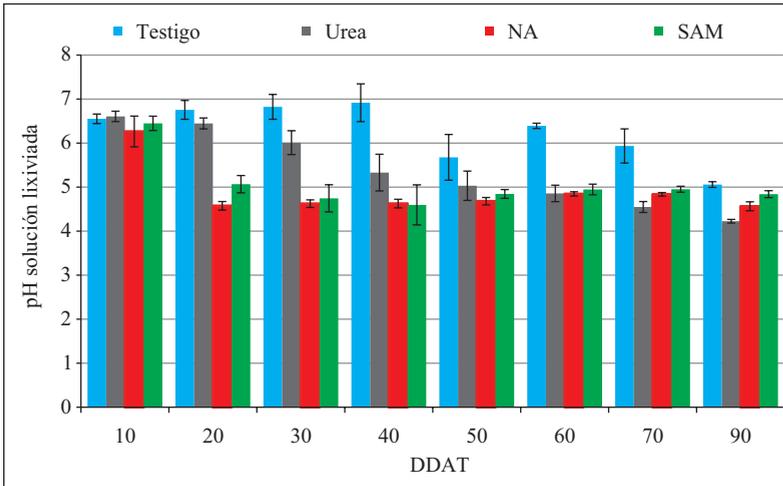
tratamiento con urea fue 1,3%. Del mismo modo, el 0,02% de amonio del testigo puede tener como fuente la mineralización de la materia orgánica (Figura 5).

En cuanto al  $\text{NO}_3^-$  se refiere, el acumulado de pérdidas por lixiviación fue casi imperceptible y siguió el orden: urea > NA > testigo > SAM, guardando la proporción 1:0,7:0,6:0,2 (Figura 5).

La acidez de la solución, efecto de la aplicación de los fertilizantes, fue similar a la que se presentó en los andisoles estudiados (Figura 6).



**Figura 5.** Pérdidas de  $\text{N-NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  por lixiviación, en suelo de la unidad Doscientos.



**Figura 6.** Valores del pH en la solución del suelo después de la aplicación de tratamientos (DDAT).

Los valores del delta del pH indicaron predominio de CIC, aspecto que puede explicar el bajo nivel de amonio lixiviado. Dicho resultado puede asociarse con la acidez de la solución ocurrida durante los riegos efectuados, con el alto contenido de materia orgánica (17%) y las características de la fracción mineral donde se presentó entre 30% y 50% de materiales no cristalinos, posiblemente consecuencia de óxidos de hierro y entre el 15% y 30% de metahaloisita. Esto indica, potencial para desarrollar carga variable, a través del cual se puede explicar al igual que para los suelos anteriores, una baja lixiviación de  $\text{NO}_3^-$ .

Xiong *et al.* (16) al evaluar las pérdidas de N por lixiviación, luego de suministrar SAM como fuente fertilizante en suelos de carga permanente y suelos de carga variable, constataron para el primer tipo de suelos que, mientras el  $\text{NO}_3^-$  era repelido químicamente y conducido al efluente, el catión se adhería. Entre tanto, para los suelos de carga variable el efecto resultante fue contrario, es decir, el 92% de las pérdidas del elemento se presentaron en forma de  $\text{NH}_4^+$ .

Los resultados de este estudio indican lo imprescindible que resulta considerar la reacción química que en los diferentes tipos de suelo ejercen las fuentes fertilizantes como las evaluadas en este estudio, para un mejor entendimiento de la dinámica del N requerido por el café.

## LITERATURA CITADA

1. ARIAS S., E.; SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M., B.; MORALES L., C.S. Lixiviación del nitrógeno en algunos suelos de la zona cafetera y su relación con la textura. *Cenicafé* 60(3):239–252. 2009.
2. CLOTHIER, B.E.; VOGELER, I.; MAGESAN, G.N. The breakdown of water repellency and solute transport through a hydrophobic soil. *Journal of hydrology* 231–232:255–264. 2000.
3. GONZÁLEZ O., H.; SADEGHIAN K., S. Volatilización de nitrógeno a partir de diferentes fuentes fertilizantes en la etapa de crecimiento vegetativo del café (*Coffea arabica* L. var. Castillo). *Cenicafé* 63(1). 2012. Artículo en imprenta.
4. HERRMAN, M.; PUST, J.; POTT, R. Leaching of nitrate and ammonium in heathland and forest ecosystems in northwest Germany under influence of enhanced nitrogen deposition. *Plant and soil* 273:129-137. 2005.

5. LEON S., L.A.; PRATT P., F. Efectos agronómicos de la retención y lixiviación de nitratos en dos Andepts de Colombia. *Turrialba* 24(4):408-413. 1974.
6. MOTAVALLI P., P.; ANDERSON, S.H.; PENGTHAMKEERATI, P. Surface compaction and poultry litter effects on corn growth, nitrogen availability and physical properties of claypan soils. *Field crops research* 84:303-318. 2003.
7. NANZYO, M. Unique properties of volcanic ash soils. *Global environmental research* 6(2):99-112. 2002.
8. PRADO, B.; DUWING, C.; ETCHEVERS, J.; GAUDET, J.P.; VAUCLIN, M. Nitrate fate in a Mexican andosoll: Is it affected by preferential flow?. *Agricultural water management* 98:1441-1450. 2011.
9. PEREGO, A.; BASILE, A.; BONFANTE, A.; DE MASCELLI, R.; TERRIBILE, F.; BRENA, S.; ACUTIS, M. Nitrate leaching under maize cropping systems in Po valley (Italy). *Agriculture, ecosystems and environment* 147:57-65. 2012.
10. REYNOLDS, V.; RICHTER, V.V. Nitrate in groundwater of the Central valley, Costa Rica. *Environment international* 21(1):71-79. 1995.
11. RYAN, M.C.; GRAHAM G., R.; RUDOLPH D., L. Contrasting nitrate adsorption in andisols in two coffee plantations in Costa Rica. *Journal environment quality* 30:1848-1852. 2001.
12. SATRHM, B.D.; HARRISON, R.B.; TERRY, T.A.; FLAMING B., L.; LIXCATA, C.H.; PETERSEN, K.S. Soil solution nitrogen concentrations and leaching rates as influenced by organic matter retention on highly productive Douglas-fir site. *Forest ecology and management* 218:74-88. 2005.
13. SADEGHIAN K., S. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: Guía práctica. Chinchiná : CENICAFÉ, 2008. 43 p. (Boletín Técnico No. 32).
14. SADEGHIAN K., S. Fertilización: Una práctica que determina la producción de los cafetales. Chinchiná: CENICAFÉ, 2010. 8 p. (Avances Técnicos No. 391).
15. SANZ, C.A.; THOMAS, H.M.; ARCE, A.; MINGOTM, J.I.; DIEZ, J.A.; VALLEJO, A. An inhibitor of urease activity effectively reduces ammonia emissions from soil treated with urea under Mediterranean conditions. *Agriculture, ecosystems and environment* 126:243-249. 2008.
16. XIONG, Z.Q.; HUANG, T.Q.; M., Y.Ch.; XING, G.X.; ZHU, Z.L. Nitrate and ammonium leaching in variable and permanent charge paddy Soils. *Pedosphere* 20(2):209-216. 2010.
17. ZAMAN, M.; SAGGAR, S.; BLENNERHASSETT, J.D.; SINH, J. Effect of urease and nitrification inhibitors on transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system. *Soil biology and biochemistry* 41:1270-1280. 2009.