

ALTERNATIVAS PARA DISMINUIR LA VOLATILIZACIÓN DE NITRÓGENO PRODUCIDA POR LA FERTILIZACIÓN CON UREA

Hernán González Osorio*; Siavosh Sadeghian Khalajabadi*;
Rubén Darío Medina Rivera**; Andrés Felipe Castro Quintero*

GONZÁLEZ O. H.; SADEGHIAN K. S.; MEDINA R. R. D.; CASTRO Q. A. F. Alternativas para disminuir la volatilización de nitrógeno producida por la fertilización con urea. Revista Cenicafé 66(1): 7-16. 2015

Con el fin de estudiar la volatilización de nitrógeno (N) y hallar opciones conducentes a su mitigación, se realizaron tres experimentos, donde se evaluaron las pérdidas por volatilización del N a partir de la aplicación de la urea en diferentes formas y modalidades: Urea en la superficie del terreno como *prilled* y en forma granular, urea *prilled* incorporada a 3 y 6 cm en el suelo, disuelta en agua, en mezcla con sulfato de amonio (SAM) (2/3 de N como urea y 1/3 como SAM), aplicada en tres dosis sobre la superficie y suministrada después de encalamiento. Las evaluaciones se efectuaron en un cafetal en crecimiento vegetativo, plantado en un *Pachic Fulvudands*, de la zona cafetera central de Colombia. Después de 20 días de la fertilización, el acumulado de la volatilización de N a partir de la urea *prilled* en la superficie y de su incorporación a 3 y 6 cm fue 28%, 4,0% y 0,2%, con la urea en solución 16%, en tanto que con la urea granulada 20%. Puede establecerse que: i) En la medida que el pH del suelo se impacta menos con la reacción alcalina derivada de la hidrólisis de la urea, la volatilización fue menor, razón de ello es que al reducir la dosis y/o al mezclar dicha fuente con SAM, las pérdidas estuvieron entre 11% y 0,3%, respectivamente; ii) Los incrementos de humedad del suelo redujeron el fenómeno; iii) La aplicación de urea sobre un área recién encalada no potencializa la volatilización.

Palabras clave: Dosis, N-NH₃, urea *prilled*, urea granular, SAM, urea disuelta, encalamiento.

OPTIONS TO REDUCE THE N LOSSES BY VOLATILIZATION FROM UREA FERTILIZATION

With the aim of deepen in the study of nitrogen (N) volatilization in the Coffee Zone of Colombia and to find new options to reduce this phenomenon, three assays were carried out. The treatments evaluated were *prilled* urea (PU) and granular urea (coated in formaldehyde) applied on the soil surface, PU in to the soil (3 and 6 cm on deep), in solution, urea with ammonium sulfate (SAM), applied in three different doses on the soil surface and applied just after of the liming. This study was conducted in a coffee field during growth vegetative state in a *Pachic Fulvudand*. After 20 days, the volatilization losses from PU on surface and the urea in to the soil, were 28, 4 y 0,2%, respectively; with urea in solution this phenomenon was 16% while to the granular urea form, 20%. Could be established to the losses were low according to less impact on the pH soil derived from urea hydrolysis. Therefore by reducing the urea doses and blend this source with SAM, the volatilization varied since 11 to 0,3%. Finally, due to in fact N-volatilization require biological mediation, it was observed that the soil moisture could explain the N losses, also the urea applied with the lime, not increased the volatilization.

Keywords: Urea *prilled*, urea granular, SAM, doses, urea in solution, lime.

*Investigador Científico I, Investigador Científico II y Asistente de Investigación, respectivamente, Disciplina de Suelos.

**Investigador Científico I, Disciplina de Biometría, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas Colombia.

La nutrición con nitrógeno (N) es imprescindible para el crecimiento y la producción de café en Colombia (13). Buena parte de los requerimientos del cultivo pueden proporcionarse con fertilizantes tales como DAP, nitrato o sulfato de amonio, nitrato de calcio o de magnesio, algunos complejos granulados y la urea (14), esta última que presenta una particular acogida entre los caficultores de Colombia por ser de alta concentración y bajo costo en comparación con otros fertilizantes nitrogenados; no obstante, la efectividad agronómica de esta fuente fertilizante es objeto de discusión, debido a que resultados experimentales demuestran que más del 25% del N que contiene, puede perderse por volatilización (2, 9), esto sin contar con otras formas del elemento que son inmovilizadas o las que se pierden por lixiviación (3).

Dadas estas circunstancias, se vienen planteando estrategias para mejorar la eficiencia de la fertilización con N. Algunas son el uso de fuentes con diferente solubilidad (1), modalidades de aplicación, el fraccionamiento y la incorporación del fertilizante y el recubrimiento con polímeros que inhiben la actividad microbiana (7); herramientas que aparte de contribuir a enfrentar la problemática citada, apuntarían a disminuir los costos de producción y a mitigar el impacto ambiental que se presenta por el uso excesivo de abonos nitrogenados.

Por lo anterior, con el objetivo de profundizar en el estudio de la volatilización de N en la zona cafetera y de hallar nuevas opciones conducentes a su mitigación, se evaluaron las pérdidas del elemento bajo diferentes modalidades de aplicación de la urea, en un cafetal en estado de crecimiento vegetativo, de la zona cafetera central de Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la Estación Central Naranjal de Cenicafé, ubicada en el municipio de Chinchiná (Caldas) con una altitud de 1.381m, precipitación anual de 2.782 mm y temperatura media de 20,9°C, se realizaron tres experimentos en un cafetal en estado de crecimiento vegetativo, plantado en un *Pachic Fulvudands* (materiales no cristalinos >50%), con las siguientes propiedades en los primeros 20 cm de profundidad: materia orgánica 12,2%, pH 5,1; Ca 1,8 cmol_c.kg⁻¹, Mg 0,25 cmol_c.kg⁻¹ y K 0,15 cmol_c.kg⁻¹; y pendiente del terreno del 2 %.

En el primer experimento, realizado en agosto de 2011, se evaluó la volatilización de N-NH₃ a partir de la urea aplicada al voleo e incorporada a 3 y 6 cm en el suelo. En los tres tratamientos, la dosis de N correspondió a 3 g/árbol. Con la misma dosis de N en un segundo experimento que se instaló en octubre de 2011, el fenómeno fue medido luego de suministrar urea granulada (recubierta con formaldehído), urea en solución y urea en mezcla física con sulfato de amonio (1/3 del N como SAM y 2/3 partes en forma de urea); al tiempo que se cuantificaron las pérdidas de la urea *prilled* para tres dosis (1, 2 y 3 g de N). En el experimento número tres, iniciado en diciembre del mismo año, las pérdidas del N contenido en la urea fueron medidas cuando dicha fuente fue suministrada inmediatamente después de haber aplicado cal dolomita.

Las pérdidas de N (variable de respuesta) fueron evaluadas a través de la metodología descrita por Lara *et al.* (8), la cual tiene como propósito capturar el amoníaco volatilizado dentro de un colector tipo semiabierto-estático, al interior del cual se instalan dos discos de espumas de poliuretano impregnadas con solución 0,5 N de H₂SO₄ y glicerina

al 3%. En los tres experimentos, la unidad experimental estuvo conformada por un colector semiabierto para amoníaco, ubicado a 10 cm de la planta de café Variedad Castillo® Naranjal. Los tratamientos fueron dispuestos bajo un diseño completamente aleatorio con ocho unidades experimentales, determinadas estadísticamente de acuerdo con los siguientes criterios logrados a partir de la investigación de González y Sadeghian (1): varianza estimada de 1,63, asociada al promedio de volatilización de N, una diferencia mínima aceptable de 1,6% de N volatilizado; un nivel de significancia del 5% y una confiabilidad del 90%. Durante los siguientes cinco días después de la aplicación de los tratamientos y a los 10 y 20 días (fechas de muestreo), se determinó la concentración de N-NH_3 por destilación. Después de la última valoración, en el 50% de las unidades experimentales de cada tratamiento, se tomaron muestras de suelo entre 5 y 7 cm de profundidad y se determinó el pH (método potenciométrico relación suelo: agua 1:1).

En cada uno de los experimentos y para cada fecha de muestreo, se obtuvo el

promedio y desviación estándar de la variable de respuesta acumulada y se hizo análisis de varianza bajo el diseño experimental propuesto. Se aplicó la prueba de comparación de Tukey al 5%, para aquellos análisis donde hubo efecto de tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Transcurridos 20 días luego de aplicar los tratamientos del experimento 1, el acumulado de pérdidas de N a partir de la urea aplicada en la superficie fue en promedio de 25,7%, en tanto que con la incorporación de dicha fuente a 3 y 6 cm en el suelo, fue de 3,8% y 0,17%, respectivamente (Figura 1). En la Tabla 1 se presentan los promedios acumulados de pérdida de N por volatilización y su respectiva desviación estándar, para cada uno de los tratamientos y días después de la aplicación, se observa que a los 20 días después de aplicados los tratamientos, éstos difieren, encontrándose las menores pérdidas al incorporar la urea a 6 cm de la superficie.

Este resultado puede explicarse debido a que la volatilización es un fenómeno influenciado

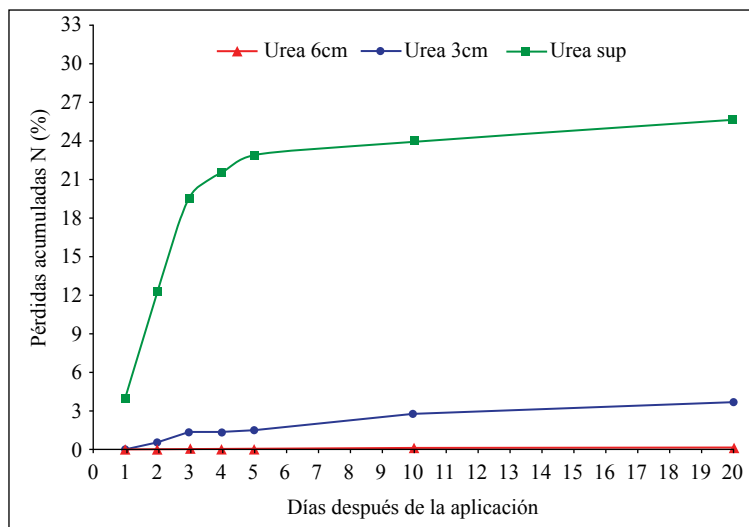


Figura 1. Promedios y desviación estándar de las pérdidas acumuladas de N por volatilización, a partir de la urea aplicada superficialmente e incorporada a 3 y 6 cm del suelo.

por microorganismos de reconocida ubicuidad en los suelos agrícolas del mundo (10), por lo tanto, resulta evidente que los procesos que conducen a la manifestación de dichas pérdidas no se restringen exclusivamente a la superficie del suelo sino que continúan aun después de alcanzar los primeros centímetros del mismo. Así, mientras haya microorganismos y urea, la volatilización continúa, solo que al interior del suelo las paredes de los agregados se convertirían en barrera física e impedirían que la totalidad del amoníaco generado retorne a la atmósfera, tal como lo explican González y Sadeghian (1).

Con relación a la aplicación de urea con recubrimiento y en solución (experimento 2), para cada fecha de muestreo, el análisis de varianza no mostró efecto de los tratamientos, por tal motivo se procedió a evaluar la probabilidad de error tipo II, con el fin de corroborar si no había efectos de tratamientos como tal. Dichas probabilidades fueron mayores al 20%, en todas las fechas de evaluación. Por ejemplo, para la evaluación en el día 20, la probabilidad de error tipo II fue de 51,6%, lo que indica que con el tamaño de muestra evaluado, no se tiene una evidencia suficiente para mantener la hipótesis nula.

En la Tabla 2 se presentan el promedio y desviación estándar de N volatilizado para cada fecha de evaluación y modalidad de aplicación de urea.

El seguimiento a los valores de pH residual del suelo, luego de evaluar las modalidades de aplicación en este experimento, constituye un aspecto clave para reunir mayores elementos de juicio, es decir, que una vez esta fuente fertilizante se incorpora, continúan las transformaciones de las que es objeto; situación que se corrobora en el ambiente alcalino que genera su hidrólisis, tal como se presenta en la Figura 2.

El suministro de urea en diferentes dosis condujo a que la volatilización se incrementara de manera exponencial (Figura 3), puesto que luego de aplicar 1, 2 y 3 g de N, se registraron pérdidas de 10%, 15% y 26%, respectivamente, a los 20 días de evaluación (Figura 4). A partir de los 10 días, las dosis evaluadas mostraron diferencias en el porcentaje de N volatilizado, según prueba Tukey al 5%.

Los registros obtenidos pueden tener una estrecha relación con los cambios

Tabla 1. Promedios y desviación estándar de las pérdidas acumuladas de N por volatilización, para cada día y profundidad de aplicación.

Día	Profundidad de aplicación					
	Superficial		3 cm		6 cm	
	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación
1	4,0 A	1,070	0,05 B	0,074	0,01 B	0,014
2	12,3 A	2,135	0,54 B	0,735	0,04 B	0,031
3	19,6 A	2,282	1,37 B	1,880	0,07 B	0,032
4	21,5 A	1,027	1,40 B	2,027	0,07 B	0,032
5	22,9 A	1,374	1,66 B	2,311	0,08 B	0,042
10	24,0 A	2,935	2,84 B	2,961	0,12 B	0,071
20	25,7 A	3,213	3,77 B	3,656	0,16 C	0,122

Para cada día, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, según prueba de Tukey al 5%.

Tabla 2. Promedios y desviación estándar de las pérdidas acumuladas de N para cada día y modalidades de aplicación de la urea.

Día	Modalidad					
	Granular		Prilled		En solución	
	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación
1	3,3 A	2,74	2,57 A	0,41	2,90 A	2,40
2	9,1 A	4,96	9,24 A	0,89	8,35 A	3,19
3	13,3 A	6,93	15,62 A	1,17	10,80 A	4,32
4	15,7 A	7,93	19,31 A	2,58	12,57 A	5,13
5	16,5 A	8,35	20,85 A	2,78	13,13 A	5,34
10	18,0 A	9,05	23,62 A	3,02	14,87 A	6,42
20	19,4 A	9,72	26,25 A	3,67	16,46 A	7,20

Para cada día, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, según prueba de Tukey al 5%.

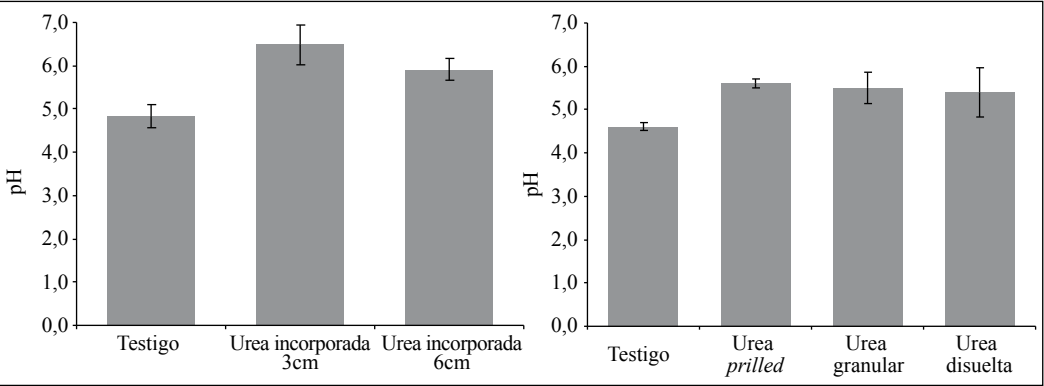


Figura 2. Cambios en valor del pH generado por los tratamientos 20 días después de su aplicación. Barras verticales indican intervalos con coeficiente de confianza del 95%.

que sobre el pH del medio ejerce la transformación de la urea. En este sentido, la acción de la ureasa genera un ambiente de basicidad, en el cual el suelo que circunda el fertilizante alcanza un pH inicial igual o mayor de ocho (12). Bajo estas circunstancias, el sólo hecho de que los gránulos permanezcan separados unos de otros o haya un menor número de ellos por unidad de área, permitirá que el impacto sobre el pH y la subsiguiente generación de amoníaco sea inferior. Estos resultados coinciden con lo encontrado en cultivos de arroz por Lin *et al.* (10),

quienes registran que los aumentos en la volatilización de N se presentan conforme se aplica mayor cantidad de urea.

Bajo estas consideraciones, no es la fuente fertilizante *per se* la que conduce a que la volatilización se presente, es la forma de aplicación (dosis por área) que actúa complementariamente para que la magnitud del fenómeno sea evidente.

Por lo anterior, se confirma que, una mayor distribución de gránulos de urea sobre el terreno conduce a que se presente

una menor volatilización. Puede decirse entonces que la cantidad de urea por unidad de área hallada luego de una práctica de fertilización al voleo, según la recomendación de Cenicafé, puede significar una volatilización posiblemente inferior a la registrada con la dosis de 1 g de N.

De otro lado, cuando la urea se aplicó junto con el SAM, la volatilización se redujo al 11% (Figura 5), situación que pudo haberse presentado ante la reacción química que exhiben ambos fertilizantes al ingresar al suelo. De esta forma, el remanente ácido derivado de la hidrólisis de esta fuente (4) y la posterior nitrificación del amonio, pudo neutralizar parte de la fuente de alcalinidad proveniente de la transformación de la urea.

Como es evidente, y aunque no todo el N aportado en este tratamiento provenía de la urea (66%), la cantidad suministrada

correspondiente a 2 g de N produjo un efecto similar en términos de disminución de la volatilización, como cuando se aplicó 1 g de N.

El pH del suelo luego de 20 días, descriptivamente se incrementó con relación al testigo (pH: 4,6) en 1,0 y 0,5 unidades con la adición de urea y urea en mezcla con SAM, respectivamente.

Efecto del encalamiento

A pesar de haber suministrado urea sobre un área encalada la volatilización no se incrementó; en otras palabras, la generación de amoníaco a partir de la urea en presencia de la cal, fue igual que cuando el fertilizante nitrogenado se aplicó sólo (Figura 6). Este resultado puede explicarse bajo dos esquemas a nivel general, primero, que la cal tarda en transformarse y reaccionar física y

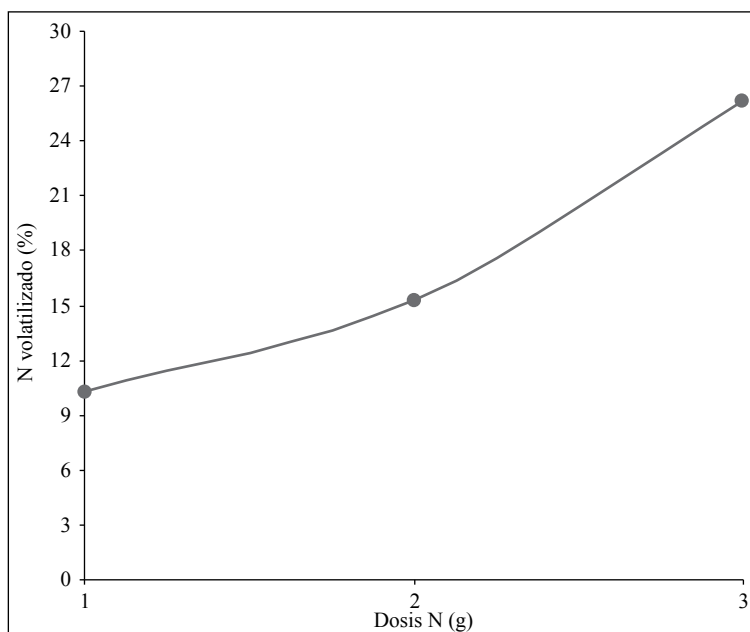


Figura 3. Volatilización de N en respuesta a la dosis de urea aplicada.

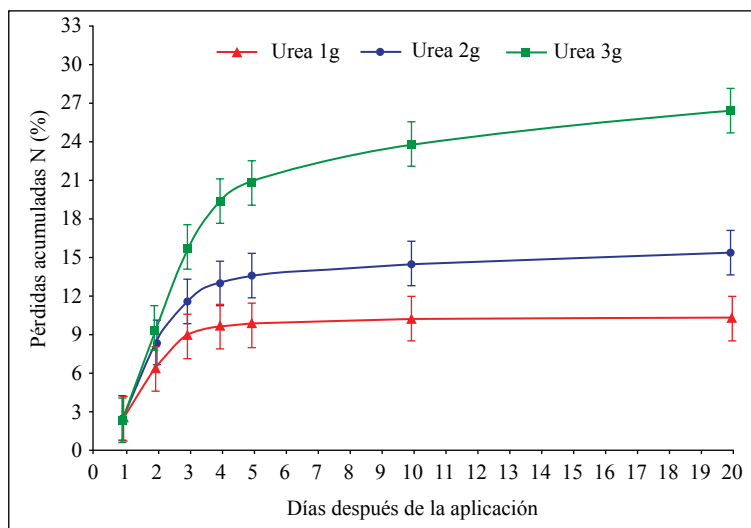


Figura 4. Efecto de la dosis en la volatilización del N aplicado a partir de la urea *prilled*. Barras verticales indican la desviación estándar.

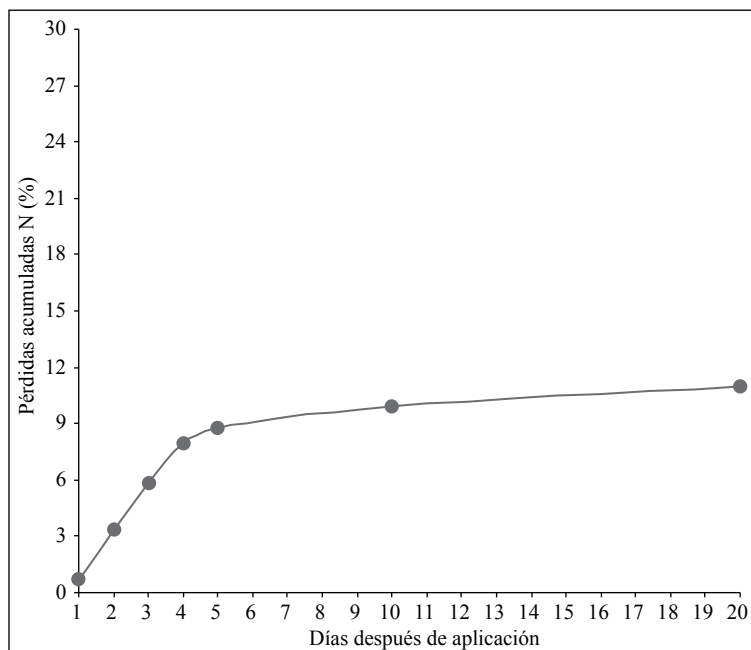


Figura 5. Volatilización de N a partir de la urea aplicada con SAM.

químicamente, lo que implica una menor presión de iones OH^- y bicarbonato en el medio durante los días de evaluación (Figura 7). Sobre este aspecto, Hayashi *et al.* (5, 6) hallaron cómo la volatilización de N a partir de la urea se reducía en

ambientes de suelos ácidos. Sin embargo, cabe destacar que es posible que la hidrólisis de la urea se encuentre limitada a un rango de pH tan específico, que los aumentos en la alcalinidad, no favorecerían la continuidad del fenómeno.

Paralelo a lo anterior, la tendencia en la volatilización fue similar a la registrada para los experimentos anteriores, sólo que en menor proporción, es decir, al cabo de 20 días de evaluación, los máximos porcentajes de N-NH_3 en el acumulado, no superaron el 21%. La diferencia en los valores frente a los experimentos antes descritos, estaría posiblemente relacionado con el mayor contenido de humedad que para esta época presentó el suelo (10% más humedad). En este sentido, el desplazamiento parcial del oxígeno del suelo por incrementos en la humedad, pudo haber condicionado la máxima expresión del componente vivo involucrado en el proceso de transformación de la urea como lo explican González y Sadeghian (1); situación que puede también reducir la concentración de N aprovechable (11). Adicionalmente puede sugerir la disolución de la fuente y su rápida incorporación en el suelo, tal como se discutió.

Por último, cabe aclarar que es necesario estudiar si las estrategias evaluadas contribuyen a incrementar la eficiencia en el uso del elemento por el cultivo.

Los resultados de las investigaciones muestran que el fenómeno de pérdidas de N a partir de la urea aplicada en plantaciones de café en estado de crecimiento vegetativo, puede reducirse significativamente bajo las siguientes modalidades: i). Este fertilizante se cubre con el suelo; ii). El fertilizante se aplica esparcido en la superficie del terreno (no concentrado), tal como ocurre en aplicaciones al voleo; o iii). La urea se suministra con un fertilizante de hidrólisis ácida como el sulfato de amonio. De igual manera, pudo corroborarse que la aplicación de la urea inmediatamente luego de adicionar cal como enmienda, no incrementa la volatilización del N, pese a esto, no se descarta que las pérdidas sean potencialmente superiores una vez la cal reaccione.

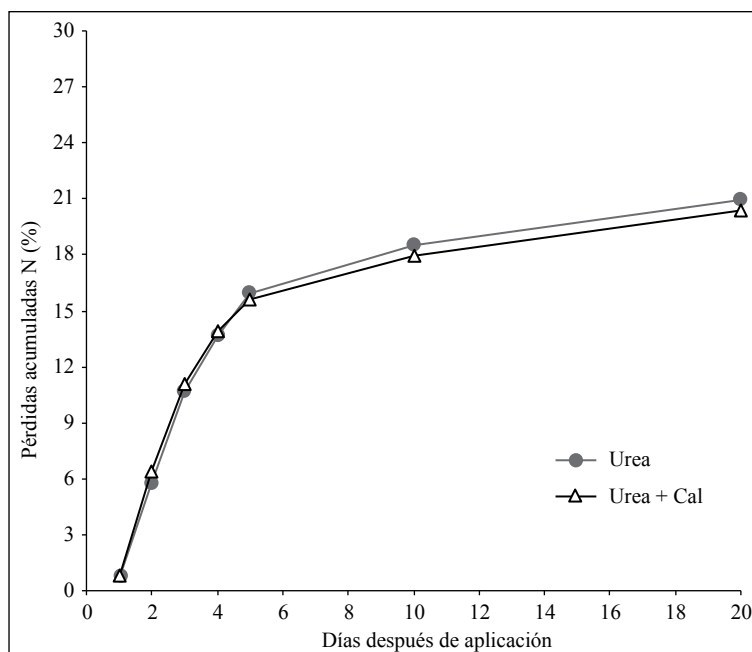


Figura 6. Volatilización de N a partir de la urea aplicada sobre un área de encalamiento.

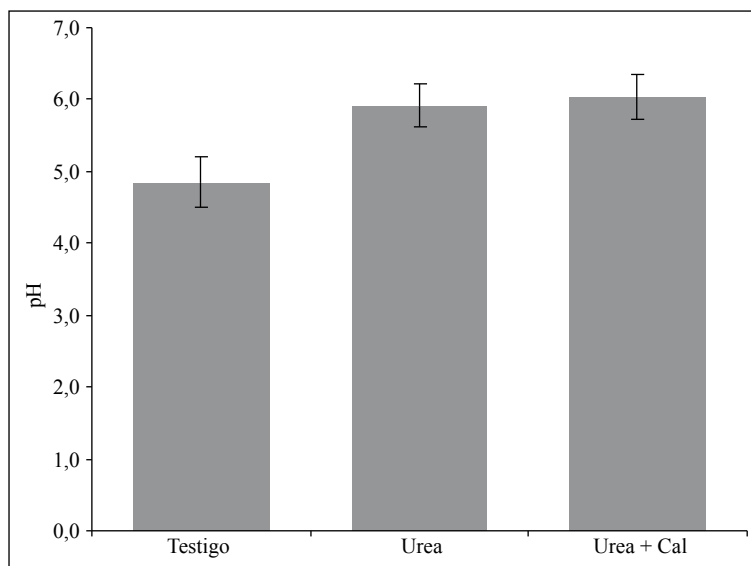


Figura 7. pH del suelo 20 días después de la aplicación de los tratamientos. Barras verticales indican intervalos con coeficiente de confianza del 95%.

LITERATURA CITADA

1. GONZÁLEZ O., H.; SADEGHIAN K., S. Volatilización de nitrógeno a partir de diferentes fuentes fertilizantes en la etapa de crecimiento vegetativo del café. *Cenicafé* 63(1):132-143. 2012.
2. GONZÁLEZ O., H. Pérdidas de nitrógeno por lixiviación y volatilización a partir de diferentes fuentes fertilizantes. p. 65-69. En: *CENICAFÉ. Informe anual de actividades: Disciplina de suelos*. Chinchiná : Cenicafé, 2011.
3. GONZÁLEZ O., H.; SADEGHIAN K., S. Lixiviación de nitrógeno en suelos de la zona cafetera a partir de diferentes fuentes fertilizantes. *Cenicafé* 63(1):111-119. 2012
4. GUERRERO R., R. Propiedades generales de los fertilizantes sólidos: Manual Técnico. 4 ed. Bogotá : Monómeros Colombo Venezolanos, 2004. 46 p.
5. HAYASHI, K.; KOGA, N.; YANAI, Y. Effects of field-applied composted cattle manure and chemical fertilizer on ammonia and particulate ammonium exchanges at an upland field. *Atmospheric environment*. 43(35):5702-5707. 2009
6. HAYASHI, K.; HAYAKAWA, A.; AKIYAMA, H.; YAGI, K. Measurement of ammonia emission using a dynamic chamber technique: A case study of surface incorporated manure and ammonium sulfate at an upland field of light-colored Andosol. *Soil science and plant nutrition*. 55(4):571-581. 2009.
7. KRAJEWSKAY, B. Ureases I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. *Journal of molecular catalysis B. enzymatic* 59(1/3):9-21. 2009.
8. LARA, A.; TRIVELIN, P. Eficiencia de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH3 volatilizado da uréia aplicação ao solo. *Revista brasileira de ciencia do solo* 14:481-487. 1997.
9. LEAL V., L.A.; SALAMANCA J., A.; SADEGHIAN K., S. Pérdidas de nitrógeno por volatilización en cafetales en etapa productiva. *Cenicafé* 58(3):216-226. 2007.
10. LIN, DE-X.; FAN X., H.; FENG, H.; ZHAO, H.T.; LUO J., F. Ammonia volatilization and nitrogen utilization efficiency in response to urea application in rice fields of the Taihu Lake region, China. *Pedosphere* 17(5):639-645. 2007.
11. 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(3):303-318. 2003
12. OSUMANU H., A.; AMINUDDIN, H.; HUSNI M., H.A.; MOHAMADU B., J.; ANUAR, A.R.; NICK M., A.M. Enhancing the urea-N use efficiency in

Maize (*Zea mays*) cultivation acid soils using urea atended with Zeolita and TSP. American journal of applied sciences 6(5):829-833. 2009.

13. SADEGHIAN K., S. Fertilización: Una práctica que determina la producción de los cafetales. Chinchiná : Cenicafe, 2010. 8 p. (Avances Técnicos No. 391).

14. SADEGHIAN K., S.; GONZÁLEZ O., H. Alternativas generales de fertilización para cafetales en la etapa de producción. Chinchiná : Cenicafe, 2012. 8 p. (Avances Técnicos No. 424).