

VOLATILIZACIÓN DEL NITRÓGENO A PARTIR DE DIFERENTES FUENTES FERTILIZANTES EN LA ETAPA DE CRECIMIENTO VEGETATIVO DEL CAFÉ

Hernán González Osorio*, Siavosh Sadeghian Khalajabadi*

RESUMEN

GONZÁLEZ O., H.; SADEGHIAN K., S. Volatilización del nitrógeno a partir de diferentes fuentes fertilizantes en la etapa de crecimiento vegetativo del café. Revista Cenicafé 63 (1): 132-143. 2012

El nitrógeno (N) es un nutrimento indispensable para el crecimiento y la producción del café, siendo la urea la fuente más común para proporcionarlo al cultivo, debido a su alta concentración y relativo bajo costo. Cuando este fertilizante llega al suelo, su transformación genera pérdidas de N por volatilización. Con el objetivo de encontrar nuevas opciones que conduzcan a mejorar la eficiencia en el uso de este nutrimento, se evaluaron las pérdidas de N por volatilización a partir de la urea, sulfato de amonio (SAM) y el fertilizante Sulfammo®, en un cafetal en crecimiento vegetativo, ubicado en un *Pachic Fulvudand*, de la Estación Central Naranjal. La evaluación tuvo lugar en dos épocas del año. El promedio acumulado de pérdidas a partir de la urea varió entre 21% y 28%, diferencias que se atribuyeron a la lluvia y a los cambios en la humedad del suelo. Las pérdidas a partir del SAM y del Sulfammo®, fueron inferiores a las de la urea en 94% y 43%, respectivamente. Con la aplicación de la urea y el Sulfammo® el pH del suelo se incrementó en una unidad en los primeros 5 cm de profundidad, en tanto que con el SAM disminuyó en 0,33 unidades.

Palabras clave: Fuentes de nitrógeno, Andisol, acidez del suelo, zona cafetera colombiana.

ABSTRACT

Nitrogen (N) is an essential nutrient for coffee growth and production, and urea is the most common source to provide the crops with, due to its high concentration and relatively low cost. When the fertilizer reaches the ground, processing generates N losses by volatilization. In order to find new options that lead to improve efficiency in the use of this nutrient, N losses by volatilization from urea, ammonium sulfate (AMS) and Sulfammo® fertilizer were evaluated in a coffee plantation in vegetative growth, located in a *Pachic Fulvudand*, Central Station Naranjal. The evaluation took place in two moments of the year. The cumulative losses average from urea varied between 21 % and 28 %, these differences were attributed to rainfall and to changes in soil moisture. Losses from AMS and Sulfammo® were lower than those of urea in 94 % and 43 %, respectively. With the application of urea and Sulfammo®, the soil pH increased by one unit in the first 5 cm of depth, while AMS decreased by 0.33 units.

Keywords: Nitrogen sources, Andisol, soil acidity, Colombian coffee zone.

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

La expresión biológica de los cultivos depende en gran parte de un ajustado programa de fertilización. La eficiencia de dicha práctica está condicionada tanto por la oportunidad y pertinencia de la labor, como por los factores edáficos y climáticos predominantes en la localidad donde se establezca la plantación (1).

Para el cultivo de café durante su etapa de crecimiento vegetativo se sugiere aplicar entre 50 y 60 g de N por planta (21), cantidad que representa entre 250 y 600 kg/ha, según la densidad de siembra (entre 5.000 y 10.000 plantas/ha) y el contenido de materia orgánica. Dicho requerimiento puede proporcionarse con fertilizantes como la urea, DAP, nitrato o sulfato de amonio, nitrato de calcio o de magnesio, y algunos complejos granulados. Dentro de este conjunto, la urea presenta la mayor acogida entre los caficultores de Colombia, porque aparte de su alta concentración, presenta un relativo bajo costo, aunque su eficacia agronómica aun es objeto de discusión en el ámbito científico y comercial, debido a que algunos resultados experimentales demuestran que cerca del 30% del N que contiene puede perderse por volatilización (16), esto sin contar con otras formas del elemento que son inmovilizadas por el componente vivo del suelo o las que se pierden por lixiviación (8).

Por las anteriores circunstancias, durante los últimos años se vienen planteando estrategias para mejorar la eficiencia de la fertilización con N, a través de métodos y épocas de aplicación entre los que se incluye su fraccionamiento (18) y el uso de diferente tipo de recubrimiento (22, 24, 26), entre otras. Sumado a esto, permanece latente el interés por reducir costos, dada la tendencia creciente en los precios de los fertilizantes, estimulada por la demanda

mundial para satisfacer los requerimientos de los cultivos cuyos objetivos son la generación de alimentos y biocombustibles (23); sin dejar a un lado la necesidad de que dichas prácticas contribuyan a disminuir la contaminación de los suelos, la atmósfera y las fuentes de agua.

Dada la importancia del N para el café y la necesidad de encontrar nuevas opciones que mejoren la eficiencia en su aplicación, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la volatilización del N a partir de diferentes fuentes fertilizantes en plantaciones de café, en la fase de crecimiento vegetativo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo entre octubre de 2010 y octubre de 2011, en la Estación Central Naranjal, ubicada en el municipio de Chinchiná (Caldas) a 4° 58' N y 75° 39' W, con una altitud de 1.381 m, precipitación anual de 2.782 mm, temperatura media de 20,9°C, brillo solar de 1.763 h.año⁻¹ y 75% de humedad relativa. Los suelos de la Estación corresponden a la unidad cartográfica Chinchiná, clasificados como *Pachic Fulvudand* (materiales no cristalinos > 50%) y 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.

Para dar cumplimiento al objetivo propuesto se realizaron dos experimentos en una plantación de café Variedad Castillo® Naranjal, sembrada a 1,3 x 1,3 m en agosto de 2010. En el primer experimento, realizado en octubre de 2010, se evaluó la volatilización del N a partir de la urea perlada (46% de N) y sulfato de amonio-SAM (21% de N y 24% de S). La dosis empleada para cada fuente fue de 3 g de N, aplicado superficialmente a 20 cm del

tallo de la planta. Se utilizó un diseño estadístico completamente aleatorio, con tres tratamientos (las dos fuentes de N y un testigo sin N) y diez repeticiones.

Para determinar las pérdidas de N-NH₃ por volatilización, se utilizó la metodología descrita por Lara *et al.* (11). Esta consiste en un colector tipo semiabierto-estático, al interior del cual se instalan dos discos de espumas de poliuretano impregnadas con solución 0,5N de H₂SO₄ y glicerina al 3%. La espuma inferior ubicada a 20 cm desde la superficie, tiene como objetivo capturar el amoniaco de los tratamientos, en tanto que la espuma superior, localizada a 35 cm, cumple la función de adsorber el compuesto que alcanza a ingresar desde la atmósfera.

Durante los siguientes 5 días después de la aplicación de los tratamientos, y a los 10, 20 y 30 días, se retiraron las espumas inferiores, se lavaron con 500 mL de agua desionizada y de allí se tomó una alícuota de 20 mL para determinar la concentración de N-NH₃ por destilación. La espuma superior se descartó.

Para cada fecha de muestreo se hizo un análisis de varianza bajo el diseño experimental empleado y se compararon los valores promedio de los tratamientos mediante la prueba de Tukey al 5%. Adicionalmente se evaluaron diferentes modelos de regresión con el fin de describir el comportamiento del N volatilizado a través del tiempo.

Una vez realizada la última valoración, en el 50% de las unidades experimentales de cada tratamiento, se tomaron muestras de suelo a 5 cm de profundidad y se determinó el pH (método potenciométrico, relación p/p 1:1). Como variables complementarias se tuvieron los registros de lluvia, temperatura y humedad del suelo.

En el segundo experimento, desarrollado en octubre de 2011, con la misma dosis de N se determinó la volatilización generada por la urea perlada (46% de N) y Sulfammo 26®, fertilizante nitrogenado de liberación gradual con recubrimiento, cuya composición química comprende 26% de N, 7% de CaO, 3,5% de MgO, 9% de S y 0,3% de B. El diseño estadístico (completamente aleatorio) contó con tres tratamientos (dos fuentes de N y un testigo sin N) y ocho repeticiones. Las valoraciones de las pérdidas de N-NH₃ se realizaron 1, 2, 3, 4, 5, 10 y 20 días después de la aplicación de los fertilizantes. Los resultados obtenidos fueron analizados a través de la metodología aplicada en el primer experimento. También se evaluó el pH y se midieron las variables climáticas, entre ellas el índice de acumulación de la humedad del suelo de acuerdo con el modelo de Ramírez *et al.* (20).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experimento I-Volatilización del N suministrado a partir de la urea y el SAM. Cuando se utilizó urea, las pérdidas del elemento por volatilización fueron relativamente altas en los dos primeros días (3,4% y 8,1%, respectivamente), luego se redujo gradualmente, hasta alcanzar valores inferiores al 1% en la última evaluación (Figura 1), posiblemente como consecuencia del agotamiento de la molécula o por su incorporación en el suelo, donde continúan las transformaciones, mediante la acción de un grupo de microorganismos de reconocida ubicuidad en las áreas agrícolas (9).

Es oportuno aclarar que la hidrólisis y posterior volatilización del N contenido en la urea, se registra a través de la imprescindible mediación de un componente vivo, que al producir ureasa (26) genera un ambiente de basicidad, en el cual el suelo que circunda

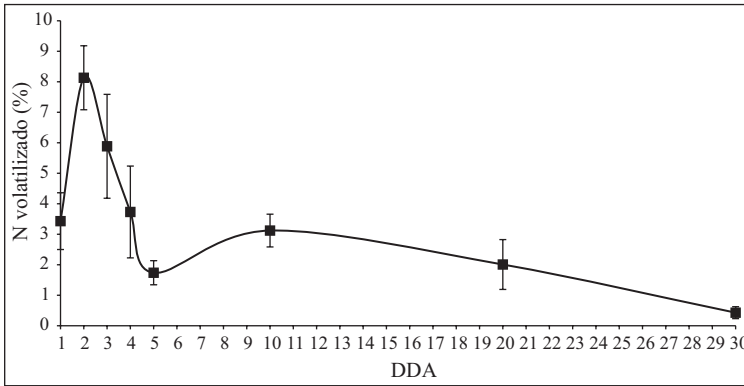


Figura 1. Volatilización de N-NH₃ a partir de la urea, durante los 30 primeros días después de su aplicación (DDA). Nota: Los valores de volatilización que se presentan en el día diez, corresponden al acumulado de los últimos 5 días. Los días 20 y 30 ilustran el acumulado de 10 días. Barras verticales indican intervalos de confianza con un coeficiente del 95%.

este fertilizante alcanza un pH inicial igual o mayor a 8,0 (19).

Para el SAM el fenómeno de volatilización del N fue casi nulo, tanto por su composición estrictamente amoniacal como por el ambiente ácido que genera su hidrólisis (6). Sin embargo, no se descarta que alguna fuente de alcalinidad presente en el suelo como OH⁻ o iones tipo bicarbonato, liberados durante el proceso de absorción de aniones por las plantas, pueda contribuir en alguna medida para que las pérdidas se presenten. Este tipo de argumentos pueden explicar la volatilización durante los dos primeros días de evaluación, cuyo valor máximo alcanzado fue de 1,2% (Figura 2). Luego de este período, las pérdidas fueron inferiores a 0,2%, y llegaron a un nivel cercano a cero a partir del día tres, probablemente como consecuencia del excedente de H⁺ producto de la nitrificación del NH₄⁺, del agotamiento o de la neutralización de alguna de las fuentes de alcalinidad antes mencionadas.

Sumado a lo anterior, la producción de NH₃ también puede estar reflejando un estímulo de la actividad de los microorganismos que utiliza el N para sus funciones metabólicas. Al

respecto, diversas investigaciones convergen en afirmar que la adición de fertilizantes nitrogenados conduce al aumento en la dinámica de la flora edáfica (17, 25), lo cual revela para este caso en particular, que la cifra del elemento que aparece como volatilizado, es adicionalmente un producto de la mineralización de la materia orgánica. Si se consideran los tres primeros días como críticos, las pérdidas alcanzadas a partir de esta fuente fueron 15 veces menores respecto a la urea.

Pérdidas acumuladas de N. Luego de 30 días, del total de N aplicado a través de la urea, cerca del 28% del mismo pasó a la forma NH₃. Se seleccionó la función para describir el comportamiento de las pérdidas de N para esta fuente (Ecuación <<1>>), la cual corresponde a una expresión de tipo exponencial, con un coeficiente de determinación de 0,86, cuyos parámetros son significativos al 0,01%.

Con base en esta función (Figura 3), y considerando las pérdidas alcanzadas en el día 30 como el 100%, se estima que el 50% de la volatilización ocurre en los primeros tres días, el 90% se presenta hasta el día ocho

$$\text{Volatilización de N (\%)} = 28,4395 (1 - 10^{(-0,2912 \text{ día después de la aplicación})}) \ll 1 \gg$$

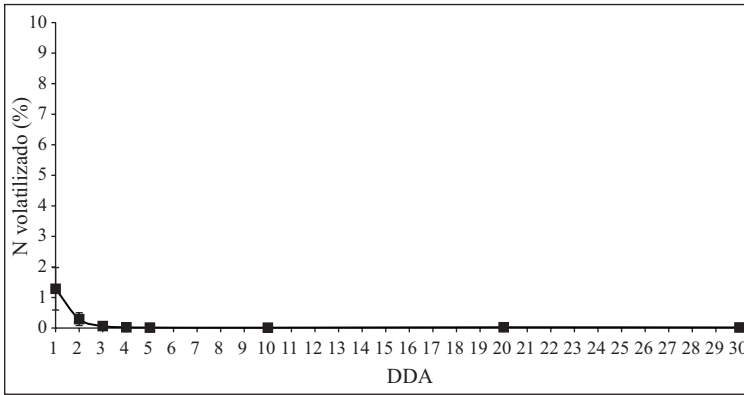


Figura 2. Volatilización de $N-NH_3$ a partir del SAM, durante los 30 primeros días después de su aplicación. Nota: Los valores de volatilización que se presenta a partir del día diez, corresponden al acumulado de los últimos cinco días. Los días 20 y 30 ilustran el acumulado de diez días. Barras verticales indican intervalos de confianza para % N volatilizado con un coeficiente de confianza del 95%.

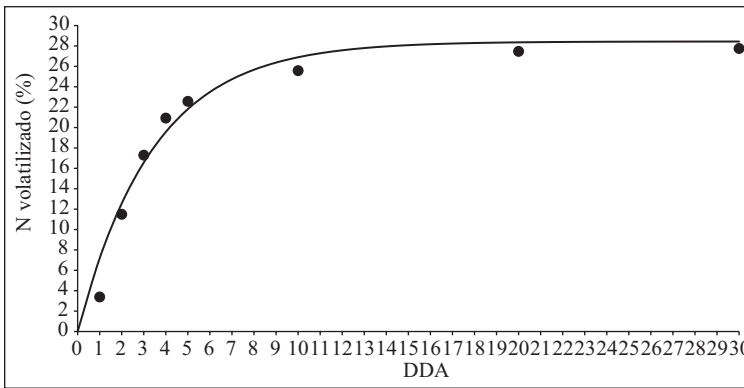


Figura 3. Pérdidas diarias acumuladas de volatilización de $N-NH_3$ desde la urea, a partir de la función de tipo exponencial y valores reales.

y el 95% diez días luego de su aplicación, este último dato coincide con lo registrado por Leal *et al.* (14).

Observaciones previas en las que se ajustaron las épocas y cantidades de los insumos fertilizantes utilizados en el presente experimento, mostraron cómo en un medio edáfico estéril (suelo sometido en autoclave a $125^{\circ}C$ y $103,4$ kPa por 20 min), las pérdidas del elemento fueron nulas hasta el día 20 de observación, tiempo a partir del cual se registraron aumentos en los valores de $N-NH_3$ que presuponen la actividad de colonias de microorganismos que aparecieron en el sustrato a partir de esta fecha sobre el

componente orgánico del suelo (Figura 4). Como este fenómeno se presentó también en algunas unidades experimentales 20 días después de aplicar los tratamientos, es posible que la volatilización registrada a partir de esta fecha para las fuentes fertilizantes, haya sido interferida por el N proveniente de la mineralización de la materia orgánica. Lo descrito, sumado a la ocurrencia de las mayores pérdidas de N por volatilización durante los primeros 10 días, sugiere considerar un periodo de evaluación no superior a 20 días.

Si bien, la volatilización generada por efecto de la aplicación superficial de esta fuente presupone la necesidad de buscar

estrategias para mitigar la polución (10) y la reducción de costos de producción, Fenilli *et al.* (3) sostienen que en plantaciones de café sembradas en altas densidades (> 7.000 plantas/ha) es posible que una porción de este $N-NH_3$ se incorpore a las tejidos de las plantas a través de sus hojas.

Para el SAM, el acumulado de pérdidas alcanzó valores de 1,74% (Figura 5), lo cual indica que la volatilización fue 16 veces menor que la urea.

pH residual. Muchos estudios se concentran en hacer seguimiento a los cambios del pH en momentos en los que el fenómeno de pérdidas es más evidente, por ser ésta una variable que condiciona buena parte del proceso, pero no tienen como objetivo estimar los efectos posteriores que pueden ser útiles para una acertada selección de la fuente fertilizante acorde con las características del suelo. En este sentido, transcurridos 30 días, la acidez resultante de la aplicación de las fuentes objeto de estudio, en los primeros 5 cm de profundidad, fue diferente según el

fertilizante aplicado (Figura 6), pese a que el suelo sobre el cual se llevó a cabo el experimento por su naturaleza mineralógica y altos contenidos de materia orgánica exhibe una apreciable capacidad tampón. El incremento registrado por la aplicación de la urea se puede relacionar con la hidrólisis de esta molécula (19) y la reducción a través de SAM, con la nitrificación del amonio (7). Para el caso de la urea, también se hubiera esperado un aumento en la acidez, pero un período de 30 días puede ser muy corto para detectar cambios de este tipo.

Experimento II -Volatilización del N suministrado a partir de la urea y el Sulfammo®. El patrón de pérdidas por volatilización de N a partir de la urea fue similar al registrado para el primer experimento, particularmente en lo que puede denominarse “un momento crítico de volatilización”, entre el segundo y tercer día. No obstante esta similitud, la magnitud de pérdidas fue menor y las condiciones que condujeron a dicha manifestación, pueden estar asociadas con la época de aplicación del fertilizante y



Figura 4. Presencia de colonias de microorganismos en el interior de las trampas de $N-NH_3$ (unidades experimentales) a partir del día 20 de evaluación.

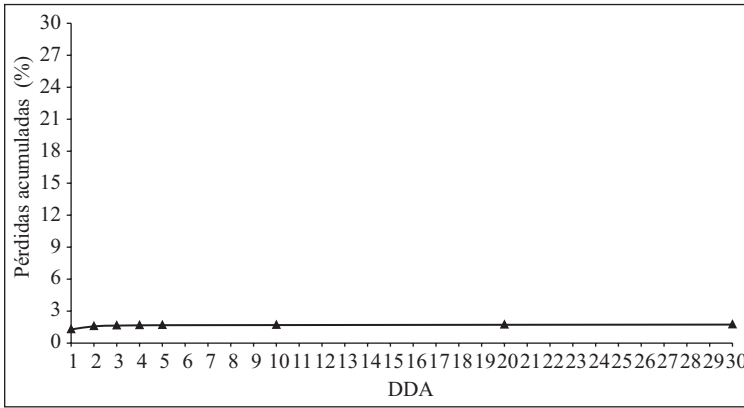


Figura 5. Pérdidas acumuladas de N-NH₃ a partir del SAM.

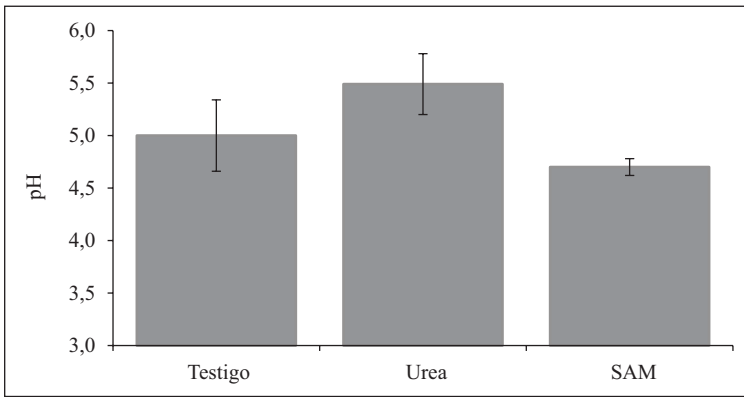


Figura 6. Cambios en el pH consecuencia de los tratamientos evaluados. Barras verticales indican intervalos de confianza con un coeficiente de confianza del 95%.

las variables de tipo ambiental involucradas, como se discutirá más adelante.

Para Sulfammo®, fertilizante que posee el 19% del total de su N en forma ureica, el comportamiento de pérdidas durante los días de mayor volatilización registradas para la urea, fueron 28% y 44% inferiores (Figura 7); circunstancia que puede relacionarse con el efecto de la película de Ca que envuelve sus gránulos, la cual constituyó una barrera para reducir el fenómeno en el corto plazo.

Este mecanismo puede explicarse porque ante el incremento del pH suscitado durante

la transformación bioquímica de la urea, el excedente de iones bicarbonato alcanza a ser neutralizado por el Ca incluido en este recubrimiento, con la subsiguiente generación de CaCO₃ que luego se precipita, tal como lo demuestran Bachmeier *et al.* (2). Al parecer, estas reacciones llegan a su fin una vez se logra conformar el mineral calcáreo, pero queda la duda si los niveles de pH y la concentración de H⁺ y el CO₂ del suelo, conducen casi automáticamente al retorno del ión Ca hacia el medio. Reacciones químicas de este tipo son sustentadas por Lindsay (15).

Con relación al acumulado de pérdidas al cabo de 20 días, luego de aplicar los

fertilizantes, la volatilización fue máximo 21% con la urea, representando una reducción del 35% con relación al experimento I.

Específicamente con el Sulfammo®, el N conducido a la atmósfera por el fenómeno que se discute, fue 43% inferior al de la urea (Figura 8). Esto sugiere que el recubrimiento de los gránulos, sumado a la composición de la fuente fertilizante, en cuya formulación parte del N está en forma ureica y otra proporción como amonio (7%), puede constituir en conjunto una alternativa para mitigar las pérdidas por volatilización. Sobre el tema, Lara y Souza (12) demostraron cómo la mezcla física de urea con SAM granulado, redujo el fenómeno hasta en un 90%. No obstante, es oportuno recalcar que el recubrimiento, visto única y exclusivamente como un agente físico, debe garantizar el desplazamiento del citado elemento hacia la solución del suelo para su posterior aprovechamiento por la planta.

pH residual. Luego de 20 días, el pH se incrementó en 1,0 unidad por la aplicación de la urea y el Sulfammo®, situación que se explica por las reacciones en las que se encuentra involucrada la urea presente en ambas fuentes fertilizantes y que anteriormente fue objeto de análisis (Figura 90). Aunque el Sulfammo® es portador de N en forma de NH_4^+ , la baja concentración de este ión puede inducir poca variación en el pH del suelo.

Variables climáticas. Durante ambos experimentos y en un amplio sentido, la lluvia superó a la evaporación durante la mayor parte del experimento, lo que indica un abastecimiento de la humedad en el suelo para la disolución de los fertilizantes y la actividad de los microorganismos, que potencialmente podrían intervenir en las transformaciones de N.

Para la temperatura, considerada como una variable que condiciona la mineralización

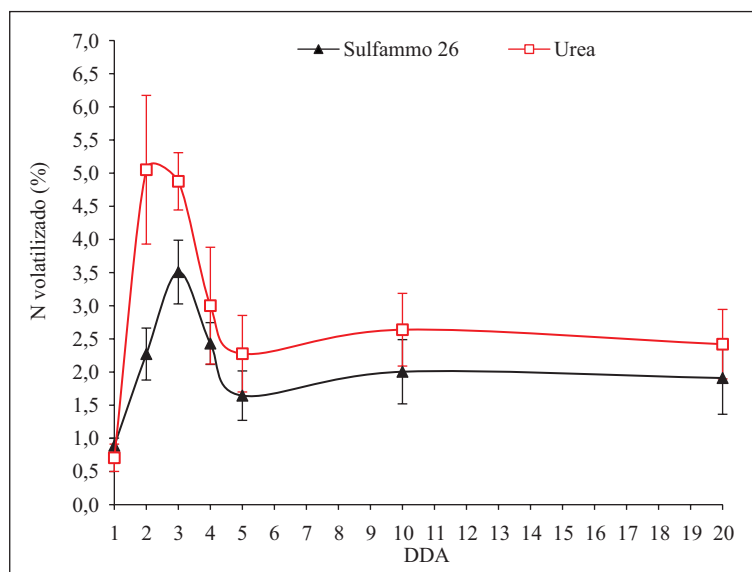


Figura 7. Volatilización de N-NH_3 a partir de la urea y del Sulfammo®, durante los 20 primeros días después de su aplicación (DDA). Los valores de volatilización que se presentan en el día diez, corresponden al acumulado de los últimos cinco días. El día 20 ilustra el acumulado de 10 días. Barras verticales indican intervalos de confianza con un coeficiente del 95%.

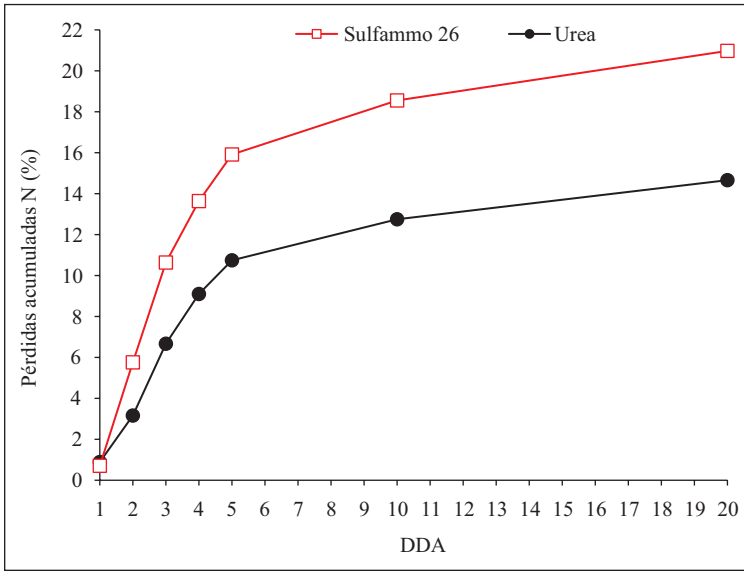


Figura 8. Pérdidas de N acumuladas a partir de la urea y el Sulfammo®.

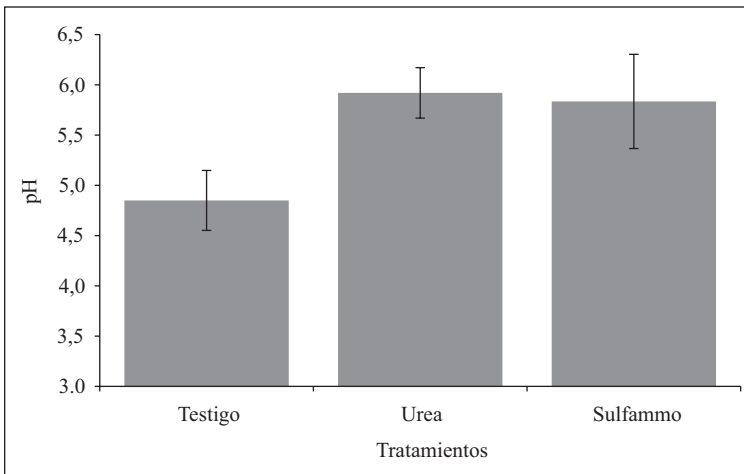


Figura 9. Cambios en el pH consecuencia de los tratamientos evaluados. Barras verticales indican intervalos de confianza para la variable pH, con un coeficiente de confianza del 95%.

de la materia orgánica (5) y la actividad de la ureasa (27), se registraron los siguientes valores promedio para el primer experimento: Máxima 26,2°C, mínima 16,9°C y media de 20,6°C. En tanto que para el segundo hubo muy poca variación al respecto, es decir, 25°C, mínima 17°C y media 20°C.

Leal *et al.* (14) asocian parte de los aumentos en la volatilización del N a partir de la urea a este agente climático, y Lara *et al.* (13), en condiciones diferentes, reportan hasta un 50% de volatilización de N-NH₃ a partir de diferentes fuentes nitrogenadas, en parcelas experimentales, donde la temperatura máxima del aire estuvo por encima de los 30°C.

Bajo este esquema, el rango de valores de las variables climáticas hasta aquí contempladas, pueden no contribuir satisfactoriamente a explicar el fenómeno que se discute. No obstante, al considerar indicadores como la lluvia y la humedad del suelo acumulados 30 días antes de aplicar los tratamientos de experimento y durante los días de máxima volatilización (tres primeros días), pudo observarse que un incremento del 20% en

la lluvia registrada durante el experimento II, condujo a que se presentara un 10% más humedad en el suelo (Figura 11), con lo cual se espera hubiese ocurrido desplazamiento parcial del oxígeno del suelo. Situación que sugiere que la volatilización del N a partir de la urea puede verse afectada más por la humedad del suelo, por ser ésta una molécula dependiente de la actividad de microorganismos para su transformación.

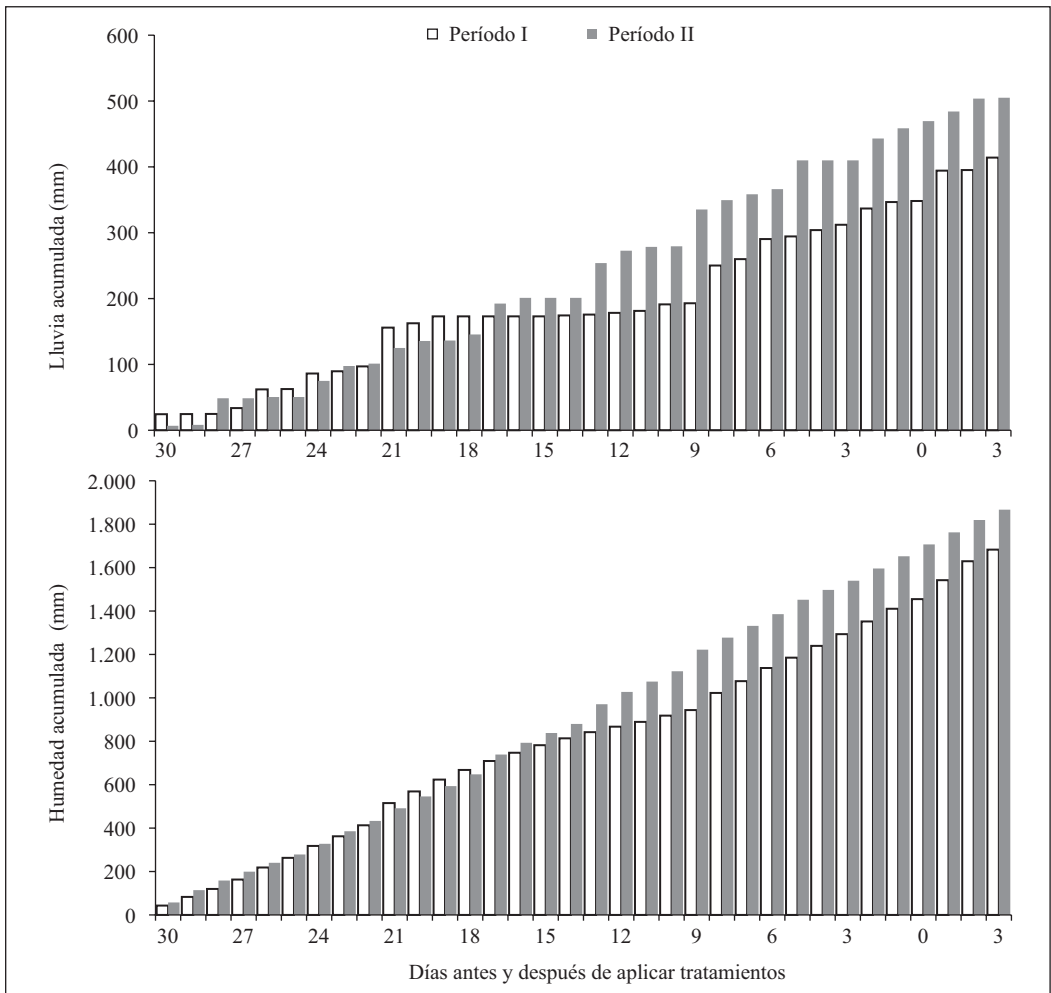


Figura 10. Lluvia y la humedad del suelo acumuladas.

Esto significa que, un bajo nivel de NH_3 detectado puede ser indicador de que en condiciones de alta humedad la eficiencia en la transformación microbiana de la urea puede limitarse o la molécula potencialmente lixivarse en el agua de precolación.

LITERATURA CITADA

- ARCILA P., J. Factores que determinan la productividad del cafetal. p. 61–86. En: ARCILA P., J.; FARFÁN V., F.; MORENO B., A.M.; SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná : CENICAFÉ : FNC, 2007.
- BACHMEIER K., L.; AMY E., W.; WARMINGTON J., R.; SOOKIE S., B. Urease activity in microbially-induced calcite precipitation. *Journal of biotechnology* 93:171-181. 2002.
- FENILLI, T.A.B.; REICHARDT, K.; TRIVELIN, P.C.O.; FAVARIN, J.L. Volatilization of ammonia derived from fertilizer and its reabsorption by coffee plants. *Communications in soil science and plant analysis* 38(13/14):1741–1751. 2007.
- GONZÁLEZ O., H. El humus en la zona cafetera colombiana: Contenido calidad y su relación con algunas propiedades físicas y químicas del suelo. p. 11-32. En: SCCS. *Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola*. Armenia : Sociedad colombiana de la ciencia del suelo : CENICAFÉ, 2009. 36 p.
- GONZÁLEZ O., H.; SADEGHIAN K., S. Efecto de corto plazo de distintas fuentes de azufre sobre la acidez y la disponibilidad de este elemento en la zona radical del café (*Coffea arabica* L.). *Cenicafé* 57(2):132–145. 2006.
- GUERRERO R., R. Propiedades generales de los fertilizantes sólidos: Manual técnico. 4a. ed. Bogotá : Monómeros colombo venezolanos, 2004. 46 p.
- HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. 6a. ed. Upper Saddle River : Prentice Hall, 1999. 499 p.
- 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. 2009.
- KRAJEWSKAY, B. Ureases functional, catalytic and kinetic properties: A review. *Journal of molecular catalysis B. Enzymatic* 59:9-21. 2009.
- KRUPA, S.V. Effects of atmospheric ammonia (NH_3) on terrestrial vegetation: A review. *Environmental pollution* 124:179-221. 2003.
- LARAC, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Eficiencia de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N– NH_3 volatilizado da uréia aplicacao au solo. *Revista brasileira de ciencia do solo* 14:481-487. 1997.
- LARA C., W.A.R.; SOUZA, M.A. Volatilizacao de amoni, lixivacao de nitrogenio e produtividade de milho em resposta á aplicacao de misturas de ureia com sulfato de amonio ou com gesso agrícola. *Revista brasileira de ciencia do solo* 32:2331–2342. 2008.
- LARA C., W.A.R.; RIVEIRO R., C.; MARTINS DE O., S.; NASCENTES B., E. Utilizacao de ureia em misturas com sulfato de amonio com gesso na cultura de milho. *Revista brasileira ciencia do solo* 32:2343–2353. 2008.
- 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.
- LINDSAY W., L. Chemical equilibria in soils. New Jersey : The Blackburn press, 2001. 449 p.
- LIN, D.I.; 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.
- MULVANEY, R.L.; KHAN, S.A.; ELLSWORTH, T.R. Reply to comments on “Synthetic nitrogen fertilizers deplete soil Nitrogen: A global dilemma for sustainable cereal production. *Journal of environmental quality* 39:753-756. 2010.
- NAKAMURA, K.; HARTE, T.; HIRONO, Y.; MITSUNO, T. Assessment of root zone nitrogen leaching as affected by irrigation and nutrient management practices. *Soil science society of America* 3:1353–1366. 2004.
- OSUMANU H., A.; AMINUDDIN, H.; HUSNI M., H.A.; MOHAMADU, B.; JANUAR, A.R.; NICK M., A.M. Enhancing the Urea–N use efficiency in Maize (*Zea mays*) cultivation acid soils using urea amended with Zeolita and TSP. *American journal of applied sciences* 6(5):829–833. 2009.

20. RAMÍREZ B., V.H.; JARAMILLO R., A.; ARCILAP, J.; MONTOYA R., E.C. Estimación de la humedad del suelo en cafetales a libre exposición solar. *Cenicafé* 61(3):251-259. 2010.
21. SADEGHIAN K., S. Fertilización: Una práctica que determina la producción de los cafetales. Chinchiná: CENICAFÉ, 2010. 8 p. (Avances Técnicos No. 391).
22. 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.
23. SUÁREZ C., C. Mercado mundial de fertilizantes de nitrógeno, fósforo y potasio. San Andrés: Integración nacional sobre nutrición y fertilización de café, 2008. (Conferencia magistral).
24. TURNER D., A.; EDIS, R.B.; CHEN, D.; FRENEY, J.R.; DENMEAD, J.R.; CHRISTIE, R. Determination and mitigation of ammonia loss from urea applied to winter wheat with N-(n-butyl) thiophosphorictriamide. *Agriculture, ecosystems and environment* 137:261-266. 2010.
25. XU, X.; HAN, L.; LUO, X.; LIU, Z.; HAN, S. Effects of nitrogen addition on dissolved N₂O and CO₂, dissolved organic matter, and inorganic nitrogen in soil solution under a temperate old-growth forest. *Geoderma* 151:370-377. 2009.
26. 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.
27. ZHAI, R.; ZHANG, B.; LUI, L.; XIE, Y.; ZHANG, H.; LIU, J. Immobilization of enzyme biocatalyst on natural halloysite nanotubes. *Catalysis communications* 12:259-263. 2010.