

Agronomic and environmental benefits of nitrogen fertilizers sources in *Ocimum basilicum* L

Martha Constanza Daza-Torres ^a, Greydy Selene Ladino-Tabarquino ^b & Norberto Urrutia-Cobo ^c

^a Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, Universidad del Valle, Cali, Colombia. martha.daza@correounivalle.edu.co

^b Programa de Agronomía, División de suelos, Centro de Investigación de la Palma de Aceite, Agustín Codazzi, Cesar, Colombia. gladino@cenipalma.org

^c Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Norberto.urrutia@correounivalle.edu.co

Received: November 29th, de 2017. Received in revised form: May 10th, 2018. Accepted: May 29th, 2018

Abstract

This work evaluated slow release fertilizers in basil cultivated in soil of Valle del Cauca (Colombia). A completely random design was established with 14 treatments in lysimeters and two fast liberation fertilizers (calcium nitrate and ammonium sulphate), urea coated with sulphur and two organic fertilizers (vermicompost and chicken manure) in different doses (100, 150 y 200 kg ha⁻¹) were evaluated. At 96 days, measurements of nitrogen leached, dry mass, foliar nitrogen, pH, electric conductivity and soil organic matter were determined. In addition, apparent efficiency of recovery, internal efficiency of use and efficient use of water were calculated. The organic fertilizer caused changes in porosity, producing nitrogen leaching. The fast liberation fertilizers obtained better performance of percentage of dry mass, foliar nitrogen and efficiency of recovery, while slow release fertilizers did so in soil properties, internal efficiency of use and efficient use of water.

Keywords: nitrate leaching; organic fertilizer; efficiency; water productivity; basil.

Beneficios agronómicos y ambientales de fuentes de fertilizantes nitrogenados en *Ocimum basilicum* L

Resumen

Este trabajo evaluó diferentes fuentes de fertilizantes nitrogenados en albahaca cultivada en un suelo del Valle del Cauca (Colombia). Se realizó un diseño completo al azar con 14 tratamientos en lisímetros y se compararon dos fertilizantes de rápida liberación (FRL) (nitrato de calcio y sulfato de amonio) y tres fertilizantes de lenta liberación (FLL) (urea recubierta, lombricompost y gallinaza). A los 84 días se midió nitrógeno lixiviado, masa seca foliar, (%MS), nitrógeno foliar (NF), pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y nitrógeno total del suelo. También se determinaron la eficiencia aparente de recuperación (ER), la eficiencia interna de utilización (EI) y el uso eficiente de agua (UEA). Como principales resultados se encontró que los abonos orgánicos ocasionaron cambios en la porosidad, produciendo lixiviación de nitrógeno. Los FRL obtuvieron mejor comportamiento en %MS, NF y ER, mientras que los FLL lo hicieron en las propiedades del suelo, la EI y UEA.

Palabras clave: lixiviación de nitrato; abono orgánico; eficiencia; productividad del agua; albahaca

1. Introducción

Para la producción agrícola de alto rendimiento, es necesaria la aplicación de fertilizantes nitrogenados (FN); sin embargo, la eficiencia de uso del nitrógeno (N) es menor al 50 %, debido a las pérdidas por lixiviación, desnitrificación y volatilización de compuestos

nitrogenados [1]. La lixiviación de N está directamente relacionada con el inadecuado manejo del riego, aplicaciones excesivas y no oportunas de la fertilización nitrogenada, características y uso del suelo y las condiciones climáticas, entre otros factores [2]. También, la pérdida de nitrato está en función de la fuente de fertilizante (orgánico o inorgánico) y de las fases

How to cite: Daza-Torres, M.C., Ladino-Tabarquino, G.S. and Urrutia-Cobo, N., Beneficios agronómicos y ambientales de fuentes de fertilizantes nitrogenados en *Ocimum basilicum* L. DYNA, 85(206), pp. 294-303, September, 2018.

fenológicas de las plantas, presentándose la mayor lixiviación en las primeras etapas [3].

Una de las estrategias empleadas para reducir las pérdidas de N por lixiviación y aumentar la eficiencia de la fertilización nitrogenada en sistemas agrícolas, es el uso de fertilizantes de liberación lenta (FLL). Estos fertilizantes pueden ser de síntesis química o ser orgánicos, donde los primeros a su vez pueden ser inhibidores o pueden estar hechos con materiales recubiertos. Los inhibidores consisten en fertilizantes con concentraciones de sustancias capaces de inhibir la actividad microbiana responsable de la nitrificación, específicamente de bacterias del género *Nitrobacter* sp, retrasando la oxidación del nitrito a nitrato. Los segundos hacen referencia a fertilizantes como la urea, recubierta con películas de sustancias de lenta descomposición como el azufre (urea acidulada) o con polímeros que retrasan la transformación a formas inorgánicas [4].

Los abonos orgánicos (AO) también pueden ser considerados como FLL puesto que su mineralización sucede gradualmente, aportando de forma progresiva el N para las plantas [5]. Incluso algunos tectosilicatos como las zeolitas son considerados como FLL, al ser capaces de retener, tanto el amonio como el nitrato, e irlo liberando lentamente a la solución del suelo, lo que retrasa la nitrificación [6]. Estos fertilizantes permiten un mayor aprovechamiento del N por parte de la planta, gracias a su lento suministro.

Existen varios estudios relacionados con el uso de FLL y sus beneficios en aspectos como la disminución de la tasa máxima e incremento del periodo de nitrificación [7], reducción de las pérdidas de N por volatilización en cultivo de maíz [8], incremento del rendimiento de albahaca [9], incremento en el carbono orgánico (CO) del suelo en cultivo de albahaca [10] y canola [11] y en el caso de los orgánicos se ha reportado mayor retención de humedad [12], aumento del contenido de N orgánico en el suelo, aumento del proceso de mineralización [13], incremento de la actividad microbiana [14], y reducción en la lixiviación de nitrato [15].

La principal desventaja de los FLL de origen inorgánico es su alto precio, aunque es posible que éste se vea compensado por el aumento en la eficiencia de la fertilización nitrogenada en los cultivos [16]. En el caso de los orgánicos, la desventaja es la alta variabilidad en las tasas de mineralización de los AO, haciendo difícil la determinación de dosis nitrogenadas adecuadas, pese a los beneficios que brinda a las propiedades de los suelos [5].

Los FLL son poco usados en los países en desarrollo. Sin embargo, son estos países los que consumen más FN con muy baja eficiencia de uso, la cual está entre el 20 % y el 35 % [17]. En América Latina, Colombia es el segundo país con el mayor consumo de FN, 5,8 veces por encima de la media regional de 84,2 kg·ha⁻¹ cultivable, superando a países como Chile, Brasil, México y Argentina [18], con eficiencia de uso por debajo del 30 %. Sumado a lo anterior, la producción de FN de síntesis industrial no está contemplada en la política colombiana por sus altos costos energéticos y de infraestructura, que hacen que sea más viable importarlos que producirlos [19].

Ante este panorama, es importante realizar estudios de diversas estrategias como el uso de FLL, para aumentar la eficiencia del N en sistemas productivos agrícolas.

La albahaca (*Ocimum basilicum* L.) es una planta aromática de la familia de las lamiáceas, muy apetecida para su comercialización en fresco o para la extracción de aceites esenciales para usos medicinales y cosméticos principalmente. En Colombia, los principales productores de albahaca se encuentran en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Valle del Cauca. El cultivo de albahaca es promisorio para pequeños y medianos agricultores, por su gran potencial de comercialización y exportación. Sin embargo, ante los altos precios de los FN, aún faltan estudios que permitan mejorar la eficiencia de la fertilización, para que sus sistemas productivos sean más competitivos en el mercado.

En el presente trabajo se realizó un estudio en condiciones controladas para investigar mediante el uso de lisímetros de drenaje, cómo los FN, tanto los FRL (nitrato de calcio y sulfato de amonio) como los FLL (urea recubierta, lombricompost y gallinaza) contribuyen con beneficios ambientales y agronómicos de producción, en un suelo cultivado con albahaca (*Ocimum basilicum* L.).

2. Materiales y métodos

El experimento se realizó entre los meses de diciembre de 2015 y marzo de 2016 en los invernaderos del Laboratorio de Aguas y Suelos Agrícolas (LASA) de la Universidad del Valle, ubicados en el municipio de Santiago de Cali, Valle del Cauca, a una altura de 979 msnm; coordenadas latitud 3° 22' 22.29" N, longitud -76° 31' 49.22" W. Los valores de temperatura y precipitación promedio anual son de 25° C y 909 mm respectivamente.

El suelo utilizado provino de la finca "Las Palmas" (N 03 26.767' W 076 27.551'), vereda Cauca Seco, corregimiento de Juanchito (Candelaria) en el Valle Cauca (Colombia). El suelo utilizado corresponde a la clasificación taxonómica Fluventic Haplustepts [20], cuyas principales características físico químicas fueron: textura franco arcillosa, pH (7,47); materia orgánica (2,32 %); Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Na⁺ (10,66; 5,95; 1,69 y 0,44 cmol(+)·kg⁻¹ respectivamente), P disponible (29,56 mg·kg⁻¹) y contenido de N total (0,12 %).

Los abonos orgánicos fueron caracterizados siguiendo la norma técnica NTC 5167 [21], los cuales presentaron pH ligeramente alcalino, alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) y baja relación C/N (Tabla 1.).

Tabla 1.
Caracterización de los abonos orgánicos utilizados en la experimentación.

Abono	pH	CIC	CO	NT	K	Ca	Mg	C/N
		cmol(+)·kg ⁻¹			%			
L	7,3	24,6	13,0	1,22	1,0	3,8	1,1	13,0
G	7,5	34,5	16,0	1,43	1,2	11,2	0,4	12,3

CIC = capacidad de intercambio catiónico; CO = carbono orgánico; NT = Nitrógeno total; L= lombricompost; G= gallinaza.

Fuente: Los autores

Con el propósito de determinar los volúmenes de riego a aplicar, se construyó un tanque evaporímetro clase A de 0,60 m de diámetro y 0,19 m de altura, el cual se ubicó a 0,10 m de la superficie del suelo siguiendo las especificaciones de Allen et al. (2006) [22]. La calibración del tanque evaporímetro se realizó registrando el valor diario de evaporación, tanto del prototipo como del tanque ubicado en la estación climatológica de la Universidad del Valle sede Meléndez. Con el registro de los datos de ambos tanques, se realizó una regresión lineal con la cual se obtuvo una confiabilidad en la correlación de los datos registrados; con ello se garantizó que la lectura de evaporación registrada en el tanque evaporímetro del prototipo, se ajustara a la lectura real de evaporación registrada por el tanque evaporímetro clase A. El coeficiente de tanque utilizado fue de 0,75. El coeficiente de regresión alcanzado fue de 0,9764 ($p < 0,01$).

Los lisímetros consistieron en recipientes plásticos de 0,25 m de altura por 0,20 m de diámetro, recubiertos con malla y grava en el fondo, donde se dispuso el suelo. El recipiente se perforó en la parte inferior lateral y se instaló una manguera conectada a un segundo recipiente debidamente tapado, dentro del cual se ubicó un vaso graduado para la recolección del lixiviado. Se estableció una diferencia de altura de 0,30 m entre el lisímetro y el recipiente recolector para favorecer el flujo. Cada lisímetro fue inclinado con un ángulo de 10° con el fin de garantizar el flujo total del lixiviado. La recolección se realizó diariamente y la muestra fue guardada en condiciones refrigeradas hasta cuando se contó con 30 mL para ser analizado.

El diseño del experimento utilizado fue unifactorial (tipo de abono) completamente al azar con 14 tratamientos y tres repeticiones. Se evaluaron tres FLL: urea recubierta con azufre (U) (con 40 % de N, 6 % de S y 2 % de polietileno) y dos AO (lombricompost y gallinaza). También se evaluaron dos fertilizantes de rápida liberación (FRL): nitrato de calcio (NC) con 15,5 % de N-amoniaco y 18,5 % de Ca^{2+} y sulfato de amonio (SA) con 21 % de N-amoniaco y 24 % de S respectivamente. Los 14 tratamientos fueron: testigo sin ninguna aplicación (TA), NC en dosis de $150 \cdot \text{kg ha}^{-1}$, SA, U, en dosis de 100, 150 y 200 kg ha^{-1} y gallinaza (G) y lombricompost (L) en dosis de 200, 250 y 300 kg ha^{-1} de N. Cada tratamiento tuvo tres repeticiones para un total de 42 unidades experimentales; cada unidad experimental (UE) consistió en un lisímetro de drenaje el cual fue llenado con suelo previamente tamizado por 4 mm y una planta de albahaca.

Los AO fueron aplicados a los 8 días antes del trasplante mientras que los FRL (NC, SA) fueron adicionados disueltos en el agua de riego en el momento del trasplante. La urea recubierta (U) fue adicionada tres días antes del trasplante.

Durante los primeros 15 días después del trasplante (ddt), se mantuvo el suelo a capacidad de campo (CC), con ayuda de un Time Domain Reflectometry (TDR marca MPKit-406 ICT Internacional, Australia). En los siguientes 69 ddt se utilizó una lámina de riego basada en la evaporación potencial medida en el tanque evaporímetro, utilizando los coeficientes del cultivo (K_c) de 0,59 y 0,42 para las etapas comprendidas entre 26-50 días y 51-71 días, respectivamente [23]. La aplicación de la lámina de riego para cada UE se realizó diariamente. Los volúmenes de riego estuvieron entre

70 y $500 \text{ mL} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$.

A los 25 y 84 ddt se determinó el contenido de N amoniacal (nitrato y amonio) en lixiviados por el método de extracción con KCl 2N. Al inicio de la floración, a los 84 ddt se realizó la cosecha y se determinó el porcentaje de masa seca foliar a partir de los pesos de la masa aérea fresca y seca. La masa fresca fue puesta a secar en estufa a 55°C por 24 horas, para luego adquirir el peso seco. Igualmente, el porcentaje de nitrógeno foliar (NF) fue estimado por el método de Kjeldahl modificado, realizando predigestión por 24 horas con H_2SO_4 reactivo analítico y catalizadores compuestos por sulfato de cobre y sulfato de potasio. Posteriormente se realizó la digestión sometiendo la muestra foliar a 250°C por 30 minutos y luego a 350°C por dos horas, hasta lograr que las muestras quedaran verdes traslúcidas. Luego, se realizó la destilación de la misma usando soda al 40 % y recogiendo el N amoniacal en ácido bórico con indicador. El NF fue cuantificado usando ácido sulfúrico en la titulación.

También se determinaron al final del experimento, (84 ddt) variables del suelo como el pH (potenciómetro, relación suelo: agua 1:1), conductividad eléctrica (CE) (conductímetro, relación suelo: agua 1:2), materia orgánica del suelo (MOS) (Método de Walkley Black) y nitrógeno total del suelo (NTS) por el método de Kjeldahl, donde una muestra de suelo se puso en digestión con ácido sulfúrico y catalizadores por 2,5 horas a 350°C hasta alcanzar coloración transparente. Seguidamente se destiló con soda al 40 % y se recogió el N volatilizado en ácido bórico con indicador. La titulación se realizó con ácido sulfúrico. Así mismo, se calcularon los indicadores “eficiencia aparente de recuperación” (ER) y “eficiencia interna de utilización” (EI) propuestos por Dobermann [24] para calcular la eficiencia de la fertilización nitrogenada, así como el índice “uso eficiente del agua” (UEA) calculado como la relación entre la masa fresca y seca producida y el volumen de agua empleado durante el ciclo de cultivo evaluado.

La verificación de la distribución normal de los datos se hizo siguiendo la prueba de Shapiro Wilk y la homogeneidad de varianzas se determinó con la prueba de Levene. Se realizó un análisis estadístico descriptivo y análisis de varianza para determinar diferencias significativas entre tratamientos. Para las variables que siguieron distribución normal y tuvieron varianzas homogéneas se realizó un análisis de postanova mediante los test de Tukey y Duncan ($p=0,05$). Para el caso de las variables volumen de lixiviados, porcentaje de masa seca (MS) y NTS, que no mostraron homogeneidad de varianzas, se realizó el análisis de varianza por el test de Welch y la comparación de medias mediante la prueba de Dunnett ($p=0,05$). Se utilizó el programa estadístico IBM SPSS Statistics 20.

3. Resultados y discusión

3.1. Lixiviación total de nitrógeno

Solamente los tratamientos con AO fueron los que presentaron lixiviación durante el periodo experimental (Fig. 1). Los volúmenes de lixiviados estuvieron entre 50 y 270 mL para los tratamientos con gallinaza y lombricompost. El

tratamiento G300 presentó la mayor cantidad de lixiviados, siendo estadísticamente diferente de G250 y del lombricompost (L). A pesar de que todos los tratamientos recibieron la misma cantidad de riego, la cual fue calculada para llevar el suelo a capacidad de campo, solamente los AO presentaron pérdida de agua por lixiviación. Lo anterior se explica por la capacidad de los AO para la formación de agregados del suelo estables en agua, disminuyendo la densidad aparente del suelo e incrementando la porosidad del suelo [25]. Estas condiciones mejoran la infiltración y favorece el movimiento del agua dentro del suelo, llevándola inclusive más allá del sistema de raíces, lo que alimenta los depósitos de agua subterránea, pero reduce la eficiencia del uso del recurso hídrico por la planta, para lo cual debería contemplarse la determinación de la humedad de capacidad de campo para estas nuevas condiciones. De acuerdo con Moreno [26], se debe tener precaución con la aplicación de AO, puesto que en condiciones que favorezcan su mineralización, podrían incrementar significativamente la lixiviación de nitrato.

La aplicación del riego (cantidad de agua y método de aplicación) debe ir en concordancia con la aplicación de los AO. Cuando se empleó el Kc del cultivo para la determinación de la lámina de riego, la pérdida de agua por lixiviación se redujo sustancialmente en un 92 %.

El nitrógeno lixiviado (NL) estuvo por debajo de un $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para los tratamientos con AO (Fig. 1A). A medida que se aumentó la dosis de gallinaza, la pérdida de NL también tendió a aumentar, mientras que en los tratamientos con lombricompost ocurrió lo contrario, la mayor dosis presentó la menor pérdida de N, aunque sin diferencias estadísticas con las otras dosis. Los tratamientos con urea recubierta y los FRL no presentaron lixiviación, indicando que, a pesar de la mayor disponibilidad de N, el manejo del agua es más determinante, a la hora de mejorar la retención de N en el suelo, que incluso, la dosis y el tipo de fertilizante [27]. Resultados opuestos fueron reportados por Alfaro et al., [28] quienes valoraron la lixiviación de nitrato en un suelo andisol al aplicar $150\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N por medio de AO e inorgánicos y encontraron que la concentración de nitrato en los lixiviados fue 50 % más alta en los tratamientos con fertilizantes inorgánicos que con los AO, utilizando la misma lámina de agua de 1260 mm. Estos resultados pueden deberse a la diferencia de suelos utilizados en ambas investigaciones, ya que los suelos pesados con presencia de arcillas expandibles como el utilizado en esta investigación, pueden mejorar su porosidad drenable con la aplicación de AO.

La mayor y menor concentración de amonio en el lixiviado encontrada fue para los tratamientos G200 y L200 respectivamente, siendo los únicos que presentaron diferencias estadísticas entre ellos (Tabla 2). Estos resultados pudieron deberse a la menor CIC que tenía el lombricompost que retuvo menor cantidad de amonio. También es posible que el proceso de mineralización sea mucho más lento, al contar con menor cantidad de nutrientes para los microorganismos del suelo.

El mayor y menor contenido de nitrato presente en los lixiviados fueron para los tratamientos de L250 y L200, sin superar los $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ admisibles en el agua para consumo humano establecida por la WHO [28]. Superiores concentraciones fueron

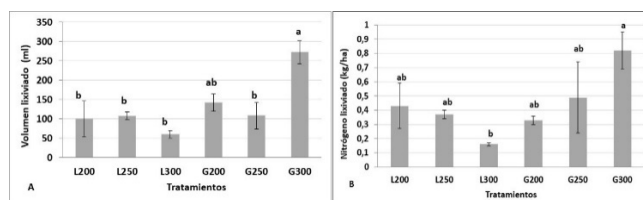


Figura 1. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos usados en albahaca en: A. volumen de lixiviados, ($F=6,76$; $p<0,001$; Dunnett 95 %). B. Nitrógeno lixiviado total ($F=2,72$; $p=0,07$; Duncan 95 %). Letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos. Las barras indican el error estándar. L= lombricompost; G= gallinaza; Los números indican las dosis de N empleadas en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Fuente: Los autores.

Tabla 2.

Efecto de abonos orgánicos en la lixiviación de amonio, nitrato y total amoniacal durante el periodo experimental de 80 días después del trasplante de albahaca

Tratamiento	NH_4^+ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (1)	NO_3^- $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (2)	N-amoniacal $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (2)
L200	$3,09\pm 0,70$ a	$21,01\pm 0,9$ a	$24,1\pm 0,90$ a
L250	$2,81\pm 0,43$ ab	$12,07\pm 1,11$ a	$14,88\pm 1,30$ a
L300	$1,91\pm 0,05$ ab	$10,38\pm 1,72$ a	$12,29\pm 1,76$ a
G200	$1,47\pm 0,61$ b	$8,93\pm 0,09$ a	$10,39\pm 0,64$ a
G250	$2,92\pm 0,16$ ab	$15,10\pm 3,46$ a	$14,88\pm 3,52$ a
G300	$2,38\pm 0,44$ ab	$10,72\pm 0,35$ a	$13,09\pm 0,68$ a
F	1,89	1,03	1,26
p	0,17	0,44	0,34

Promedio de tres repeticiones \pm error estándar. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos ¹ comparación de promedios mediante la prueba de Duncan 95% ² comparación de promedios mediante la prueba de Dunnett (95%). L= lombricompost; G= gallinaza. Los números indican las dosis de N empleadas en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$

Fuente: Los autores

encontradas por Ortuzar et al. [30], al utilizar FN para el cultivo de trigo, los cuales reportaron niveles de nitrato del orden de $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente en lixiviados. Civeira y Rodríguez, [31] reportaron niveles más bajos de nitrato de $6,25\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en cultivos de maíz, debido al uso de enmiendas como la zeolita enriquecida con amonio. Daza et al. [15] encontraron en estevia concentraciones de nitrato en lixiviados entre $0,21$ y $3,10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ al utilizar gallinaza y lombricompost, utilizando una menor lámina de riego y aseguran que el manejo del agua es fundamental en la prevención de la lixiviación.

A pesar de los valores bajos encontrados, es importante resaltar la cantidad de N lixiviado que se podría acumular en el tiempo, lo que puede llevar a pérdidas significativas. Zhang et al., [32] encontraron que la pérdida de nitrato por lixiviación en cultivos de hortalizas por año fue de $48,1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, equivalente al 36 % del N aplicado en fertilizantes.

3.2. Porcentaje de masa seca y N foliar

A medida que se aumentó la dosis de N aplicado, el porcentaje de MS se incrementó, sin diferencias significativas, tanto en los tratamientos con AO como con los fertilizantes convencionales de síntesis industrial, con excepción de la urea recubierta (Tabla 3). Los tratamientos con U y SA presentaron porcentajes de MS, entre 31 % y 43 % aproximadamente, indicando que dichos tratamientos suministraron una adecuada cantidad de N para el crecimiento y la formación de tejidos y órganos vegetales. La

mayor dosis de SA fue estadísticamente diferente del TA, de los tratamientos con lombricompost y de las dosis de 200 y 250 kg ha⁻¹ de N de gallinaza. Similares resultados fueron encontrados por Gao et al. [33], quienes reportaron un aumento hasta de 26,46 % de aumento en la cosecha de tomate, con el uso de urea de liberación lenta, en comparación con la urea convencional.

Al comparar las dosis evaluadas, la aplicación de 100 y 150 kg·ha⁻¹ fueron las que mayor porcentaje de MS obtuvieron, sin diferencias significativas entre ellas, pero sí con las demás dosis evaluadas. (Fig. 2). Los FRL fueron los que mayores porcentajes de MS consiguieron, siendo significativamente diferentes de los FLL; los fertilizantes convencionales proporcionaron mayor porcentaje de MS que los AO. Estos últimos posiblemente favorecieron la absorción de agua y nutrientes pero su concentración de sales minerales fue menor y el suministro de N fue más lento, mientras que los FRL permitieron mayor concentración de sales minerales, mayor disponibilidad de N y por tanto mayor porcentaje de masa seca. Estos resultados sugieren que, dependiendo del destino final de la albahaca, se deben aplicar diferentes tipos de fertilizantes, de tal manera que, para su comercialización en fresco, el uso de AO resulta ser más apropiado y para forma deshidratada o extracción de aceites, la fertilización con fertilizantes como el SA o la U resultan mejor.

El NF estuvo entre 0,1 % y 3,5 % para T y SA150 respectivamente (Tabla 3.) Los tratamientos con SA fueron los que presentaron los mayores valores, estadísticamente diferentes de los AO, del T y del NC, pero similares a los alcanzados por los tratamientos con urea recubierta (U). Esto podría indicar que el S, elemento secundario indispensable para el crecimiento de las plantas y para el proceso de fotosíntesis, jugó un papel importante en los resultados observados. Tanto el SA como la U contienen una cantidad representativa de S que pudo haber favorecido la absorción de N [33].

Las dosis de 100, 150 y 200 kg·ha⁻¹ de N obtuvieron los

Tabla 3.

Contenidos foliares de masa seca y de nitrógeno en plantas de albahaca al ser tratadas con diferentes tipos de fertilizantes nitrogenados.

Tratamiento	Masa seca (%)	NF (%)
TA	25,1±1,2c	0,1±0,0c
NC	32,5±0,6abc	0,7±0,2c
U100	36,6±1,3abc	2,7±0,6ab
U150	31,1±1,1abc	2,8±0,4a
U200	29,4±1,7abc	0,4±0,0c
SA100	30,8±1,0abc	2,7±0,0ab
SA150	38,7±3,5ab	3,5±0,4a
SA200	43,0±7,9a	3,0±0,2a
L200	26,0±1,2bc	0,6±0,1c
L250	26,0±2,5bc	0,3±0,0c
L300	29,3±1,2bc	0,6±0,2c
G200	24,6±0,9c	0,5±0,1c
G250	26,6±0,5bc	1,4±0,4bc
G300	30,0±2,0abc	0,9±0,0c
F	4,31	9,68
p	<0,001	<0,001

Promedio de tres repeticiones ± error estándar. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre las medias. 1Comparación de promedios por el Test de Dunnett (95%); NF= nitrógeno foliar; TA= testigo absoluto; NC= nitrato de calcio; U= urea recubierta; SA= sulfato de amonio; L= lombricompost; G= Gallinaza. Los números indican las dosis evaluadas de N en kg·ha⁻¹.

Fuente: Los autores

mayores porcentajes de NF sin diferencia significativas entre ellos, pero sí fueron diferentes del TA y de las dosis más altas de N aplicadas (Fig. 3). Los FRL fueron los que obtuvieron los valores más altos sin diferencias significativas con los FLL.

Los fertilizantes convencionales (NC, SA y U) presentaron los mayores contenidos de NF, mientras que los AO (lombricompost y gallinaza) mostraron una disminución de hasta un 90 % con respecto a los primeros; el contenido de NF en TA fue menor, posiblemente debido a que el N contenido en el suelo es orgánico en su mayor parte y no está disponible para la planta. Los AO presentaron 80,6 % por encima de la concentración de NF encontrada en TA, aunque no se pudieron encontrar diferencias estadísticas, debido a la alta variabilidad de los datos. Los AO mostraron mayor producción de masa que TA, debido posiblemente al suministro de N que pudo ser absorbido por la planta.

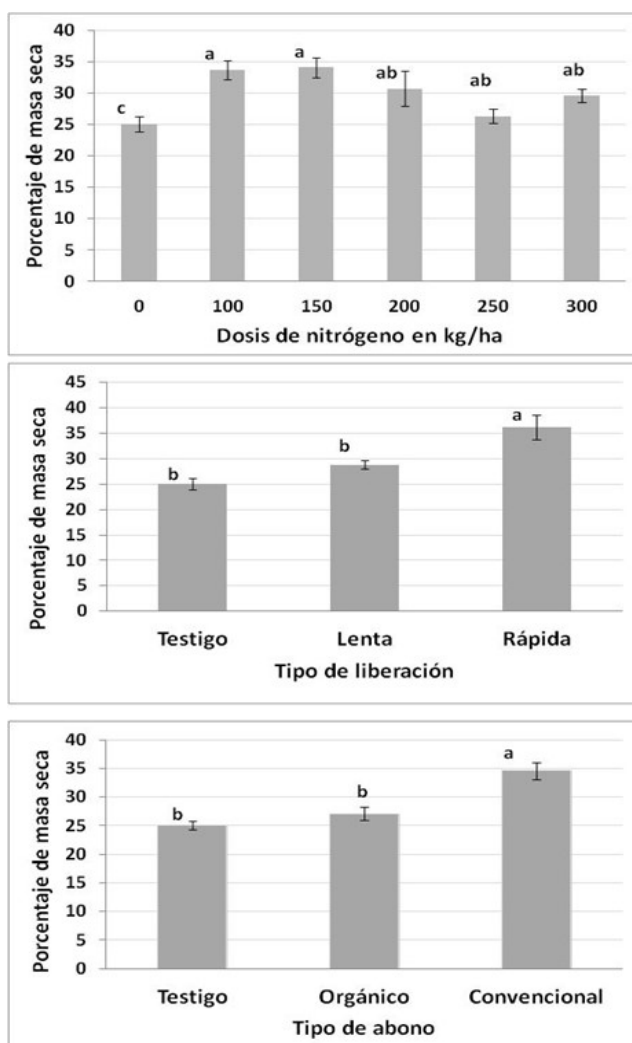


Figura 2. Efecto de la dosis (F= 1,98; P= 0,11), el tipo de liberación (F=9,16; P<0,001) y el tipo de fertilizante nitrogenado (F=11,56; P<0,001) en el porcentaje de masa seca de albahaca. Comparación de medias por la prueba de Tukey (p<0,05). Las barras indican el error estándar.

Fuente: Los autores

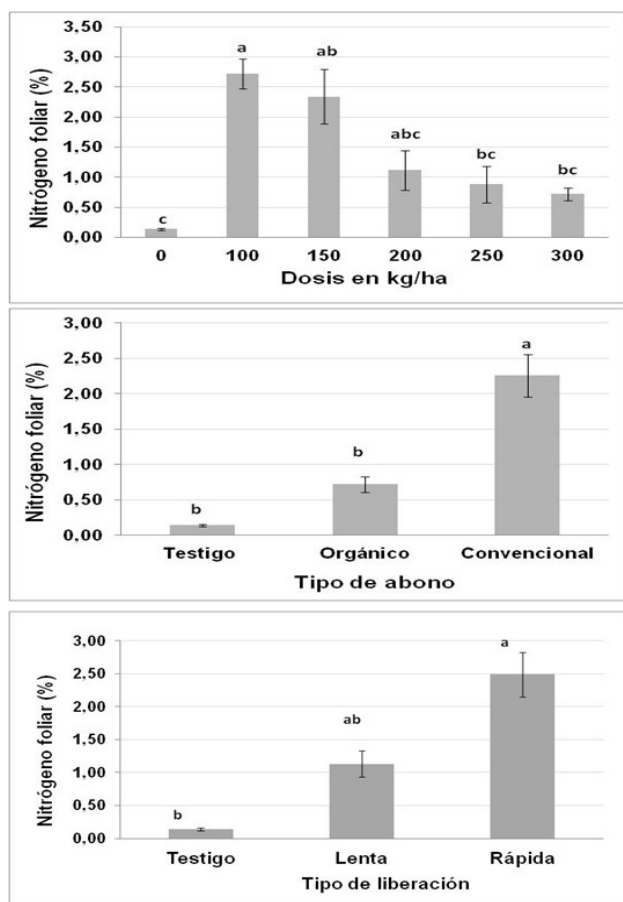


Figura 3. Efecto de la dosis ($F=5,99$; $p=0,00$), el tipo de abono ($F=16,2$; $p<0,001$) y el tipo de liberación ($F=9,68$; $p<0,001$) en el porcentaje de nitrógeno foliar en albahaca. Comparación de medias mediante la prueba de Tukey al 95 %. Las barras indican el error estándar.

Fuente: Los autores

En estudios previos de albahaca como el de Búfalo et al. [35] se obtuvieron valores promedio de NF entre 1,64 % y 2,75 %, siendo el máximo para un tratamiento orgánico; Singh et al. [10] encontraron valores promedio de 2,28 % y 2,37 % en albahaca con tratamientos inorgánicos y orgánicos respectivamente. Estos valores fueron similares a los encontrados en el presente trabajo para SA en sus tres dosis, U100 y U150, indicando que estos tratamientos brindaron la cantidad de N adecuada. Los AO obtuvieron valores por debajo de los reportados por estos autores, indicando posiblemente que se presentó inmovilización del N y que estos abonos deben aplicarse con mayor antelación antes de la siembra, de acuerdo a su tasa de mineralización, para un mejor aprovechamiento de N.

3.3. Propiedades del suelo

Los resultados promedio de las propiedades del suelo obtenidas después del ciclo del cultivo se encuentran en la Tabla 4. Los pH del suelo, después de la cosecha de albahaca, estuvieron por encima de 7,0 para todos los tratamientos. No se encontraron diferencias estadísticas entre AO, ni de estos con la urea y los FRL, pero si entre los tratamientos G200 y G300 con SA150. Esta situación se atribuye a la reacción de

Tabla 4.

Efecto del uso de abonos nitrogenados de liberación lenta en propiedades del suelo después de la cosecha de albahaca

Tratamiento	pH ^{1*}	CE (dS·m ⁻¹) ²	MOS (%) ¹	NTS (%) ³
TA	7,37±0,10ab	0,51±0,06fg	4,08±0,39abc	0,22±0,04
NC	7,44±0,05ab	0,96±0,07cd	3,73±0,16bc	0,11±0,05
U100	7,42±0,19ab	0,64±0,05defg	3,76±0,12bc	0,17±0,01
U150	7,17±0,63ab	0,87±0,05cde	3,87±0,20abc	0,10±0,02
U200	7,23±0,02ab	0,96±0,09cd	3,68±0,23c	0,13±0,06
SA100	7,36±0,48ab	1,08±0,10bc	3,73±0,24bc	0,14±0,05
SA150	7,11±0,38b	1,35±0,07ab	3,84±0,29bc	0,06±0,01
SA200	7,21±0,35ab	1,44±0,06a	3,76±0,12bc	0,21±0,01
L200	7,37±0,16ab	0,69±0,09defg	4,62±0,21abc	0,14±0,03
L250	7,44±0,11ab	0,49±0,03g	5,18±0,31ab	0,16±0,04
L300	7,41±0,19ab	0,60±0,04efg	4,08±0,05abc	0,09±0,01
G200	7,48±0,21a	0,63±0,06efg	3,97±0,42abc	0,15±0,04
G250	7,40±0,60ab	0,82±0,08cdef	4,99±0,33abc	0,12±0,00
G300	7,47±0,19a	0,78±0,05cdefg	5,31±0,49a	0,19±0,03
F	2,95	21,19	4,27	1,96
p	0,01	<0,001	<0,001	0,07

Promedio de tres repeticiones de la concentración de hidrógeno ± error estándar.

¹ Comparación de promedios mediante el Test de Tukey (95 %); ² Comparación de promedios mediante el Test de Duncan (95 %); ³ Comparación de promedios mediante el Test de Dunnett (95 %). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre las medias. Promedio de tres repeticiones ± error estándar. CE= conductividad eléctrica; MOS = Materia orgánica del suelo; NT= nitrógeno Total del suelo. TA= testigo absoluto; NC= nitrato de calcio; U= urea recubierta; SA= sulfato de amonio; L= lombricompost; G= Gallinaza. Los números indican las dosis evaluadas de N en kg·ha⁻¹

Fuente: Los autores.

los fertilizantes, al poder amortiguador del suelo mismo, así como a la absorción de cationes por las plantas. Similares resultados fueron encontrados por Hailing et al. [36] quienes argumentaron que la disminución en el pH del suelo producto de la fertilización nitrogenada es debida al proceso de nitrificación llevado a cabo por los microorganismos del suelo. El proceso de nitrificación en SA150 fue más rápido debido a la mayor disponibilidad del amonio, liberando hidrógeno y acidificando el medio.

Los valores de CE estuvieron entre 0,49 y 1,44 dS m⁻¹ para L250 y SA200 respectivamente, propios de un suelo normal no salino, aunque superiores a los hallados en la caracterización inicial del suelo (0,454 dS m⁻¹). Tanto el SA como la urea de liberación lenta, modificaron significativamente la CE del suelo, donde la dosis de 200 kg ha⁻¹ la incrementó en 65 % y 47 % con respecto al TA. Los valores más bajos de CE en los AO están relacionados con la presencia de lixiviados en las primeras etapas del cultivo, ocasionando el lavado de nutrientes.

La CE aumentó con la dosis, independientemente de la fuente aplicada. La cantidad de N aplicado tuvo un efecto significativo en la CE ($p=0,01$), donde las dosis de 150 kg·ha⁻¹ obtuvieron los valores más altos de CE, estadísticamente diferente del T y de las dosis más altas empleadas con los AO. Así mismo, los AO obtuvieron los menores registros de CE que los convencionales o de síntesis química, encontrando diferencias significativas con ellos ($p < 0,01$), mientras que no cambiaron el valor de esta variable en comparación con el T. Los FLL, tanto orgánicos como de síntesis, obtuvieron menores CEs y fueron diferentes de los FRL ($p < 0,01$).

Todos los tratamientos incrementaron el contenido de MOS con respecto a su valor inicial (2,32 %), debido a la presencia de la planta que aporta MOS a través de sus exudados y al desarrollo de la actividad microbiana en la zona cercana a las raíces. Los resultados obtenidos fueron superiores a los presentados por Singh et al. [10] quienes encontraron aumentos de hasta 0,25 % en MOS

utilizando AO y FRL en albahaca.

El análisis por factores (datos no mostrados) demostró que los AO incrementaron significativamente la MOS con respecto a los fertilizantes convencionales de síntesis química (NC, SA y U), siendo las dosis de 250 y 300 kg·ha⁻¹ las que contribuyeron a aumentar el contenido de forma significativa ($p < 0,01$). Por otro lado, el tipo de liberación no tuvo incidencia significativa en la MOS ($p = 0,032$), debido a que los FRL y la U no contienen materia orgánica como tal en su composición.

El porcentaje de NTS estuvo entre 0,06 % y 0,22 % con una alta variabilidad en los datos obtenidos, estando en los rangos habituales para suelos cultivados [37]. No se encontraron diferencias entre tratamientos, ni se incrementaron los valores sustancialmente con respecto a los iniciales, como se esperaba. Probablemente los AO perdieron parte del N por lixiviación ocurrida en las primeras semanas del experimento o también pudo haberse perdido por volatilización, en el proceso de amonificación de los compuestos orgánicos nitrogenados constituyentes de dichos abonos.

En el caso de la U, es muy probable que el N liberado haya sido absorbido por la planta, como se pudo apreciar anteriormente, al presentar los mayores valores de NF. Singh et al. [10] encontraron un incremento en el NTS de hasta 62,4 kg·ha⁻¹ utilizando AO y FRL al cabo del ciclo de la albahaca, y explican que se debió posiblemente al manejo efectivo del agua, y a la ausencia de minerales de arcilla expansivos que forman grietas creando flujos preferenciales y promoviendo la lixiviación del N, como los que se presentaron en la presente investigación.

3.4. Eficiencia de la fertilización nitrogenada

Las ER obtenidas con los AO fueron las más bajas, por debajo del 10 %, similares a la del TA, mientras que los tratamientos con SA obtuvieron las mayores eficiencias, por encima del 30 % (Fig. 4A). La U obtuvo la ER mayor al 10 % para las dosis más altas (100 y 150 kg·ha⁻¹), mientras que la dosis de 200 kg·ha⁻¹ fue la más baja, sin diferencias significativas con las de los AO. Estos resultados pueden obedecer a que los FLL, sean orgánicos o de síntesis industrial, necesitan un tiempo prudencial de aplicación para suministrar el N, para asegurar que éste sea disponible para la planta. El NC, obtuvo una eficiencia menor, debido a la alta movilidad del nitrato y a la baja densidad de raíces en edades tempranas de la planta para absorber, lo que pudo haber generado su movimiento a capas más profundas.

No hay muchos estudios donde se muestre el cálculo de eficiencias en la fertilización nitrogenada de albahaca. En comparación con otras aromáticas, Berti et al. [38] encontraron valores de ER entre 8,2 % y 18,2 % utilizando dosis entre 75 y 300 kg·ha⁻¹ de salitre sódico en hierba de San Juan, y argumentaron que la ER disminuyó con el aumento en la dosis de N, similares a los resultados obtenidos en este estudio, aunque los resultados expuestos deben interpretarse con precaución puesto que, para mayor certeza, el uso de isótopos es lo más indicado.

De acuerdo a la dinámica de mineralización, el L y la G deben aplicarse con tiempo de anterioridad, para permitir la mineralización del N y aumentar su disponibilidad. De acuerdo con Figueroa – Barrera et al. [39], los AO como L y G, en alrededor de la segunda semana después de su aplicación, liberan aproximadamente el 50 % del N mineralizable, por lo tanto, lo

ideal es que este período de liberación de N coincida con la etapa de crecimiento o desarrollo de la planta. En la presente investigación es posible que el tiempo de antelación con la que se aplicó fuera insuficiente, por lo que posiblemente no se liberó suficiente N, y no se hizo disponible para la planta en el momento oportuno, como lo muestran algunos valores de NT en el suelo, al final del experimento.

Vale la pena aclarar que para el cálculo de la ER de los AO se tuvo en cuenta todo el N contenido en el abono, el cual solo un pequeño porcentaje estará disponible para la planta, el resto está en formas orgánicas, cuya mineralización puede tardar un tiempo prudencial de meses e incluso de años. En el caso de la U, es posible que haya ocurrido la misma situación, y que sea necesario aplicarla con mayor anterioridad, puesto que necesita de tiempo para solubilizar la parte azufrada de recubrimiento y empezar a aportar el N al medio.

De acuerdo con Roberts [40], las ER para cereales generalmente están entre 20 % y 30 % en cultivos de secano y pueden alcanzar hasta un 40 % en cultivos bajo irrigación; estos bajos valores no significan un aspecto negativo, porque no necesariamente alta eficiencia significa buenas cosechas y viabilidad para el agricultor o para el ambiente. En efecto, se ha demostrado que las bajas cosechas vienen acompañadas de altas eficiencias de uso de nutrientes y viceversa, como se encontró en este experimento, pero los aspectos ambientales como, por ejemplo, la protección contra la erosión del suelo se vería comprometida por la reducción en la producción de residuos de cosecha.

A pesar de que los AO presentaron bajas ER, las EI estuvieron dentro de las más altas (Fig. 4B), puesto que el N suministrado por los AO se manifestó en mayor producción

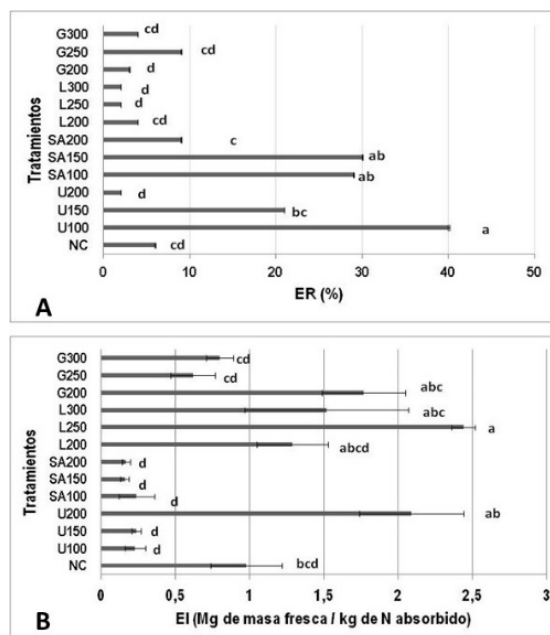


Figura 4. (A) Eficiencia aparente de recuperación ER ($F=14,85$; $p < 0,001$) (B) Eficiencia interna de utilización EI ($F=12,27$; $p < 0,001$) del nitrógeno para diferentes tipos de fertilizantes utilizados en albahaca. Promedio de tres repeticiones. Las barras indican el error estándar. Letras iguales indican que no hay diferencias estadísticas (test de Tukey al 95%). TA= testigo absoluto; NC= nitrato de calcio; U= urea recubierta; SA= sulfato de amonio; L= lombricompost; G= Gallinaza. Los números indican las dosis evaluadas de N en kg·ha⁻¹. Fuente: Los autores.

de masa fresca. Además, la adición de AO trae beneficios adicionales como, por ejemplo, mejor acondicionamiento físico del suelo, aporte de otros nutrientes, y mayor actividad microbiana. En el caso de la G la dosis de 200 kg·ha⁻¹ produjo más de 1,5 Mg de masa fresca por cada kg de N absorbido por la planta, mientras que para el L fue la dosis de 250 kg·ha⁻¹, la cual obtuvo valores cercanos a los 2,5 Mg·kg⁻¹ de N absorbido.

Para la U, la mayor dosis fue la que obtuvo mayor EI, cercano a los 2 Mg·kg⁻¹ de N absorbido, debido a que la planta tuvo mayor oportunidad de aprovechar el N y se presentaron menores pérdidas ya sea por lixiviación a capas más profundas o por volatilización. Gao et al. [33] encontraron que la urea recubierta aumentó la eficiencia agronómica de papa, pero redujo la eficiencia fisiológica con respecto a la urea convencional, opuesto a lo encontrado en este trabajo. Estas diferencias pueden deberse a que son cultivos diferentes, con sistemas radicales diferentes, lo que influye en la absorción del nutriente.

Los FRL obtuvieron EI por debajo de un Mg·kg⁻¹ de N absorbido, lo cual puede deberse probablemente a la volatilización del N en los procesos de aminificación y amonificación, que se vieron favorecidos por el pH básico del suelo o por inmovilización del N ocasionado por la actividad microbiana del mismo. La eficiencia interna de utilización (EI) superó los rangos óptimos reportados para cereales (55- 65 kg·kg⁻¹) presentados por Dobermann, [24]. Vale la pena aclarar que estos valores de eficiencia fueron calculados sólo para permitir la comparación entre tratamientos durante el tiempo experimental. Los valores no pueden ser aplicados como valores de referencia, puesto que para conocer la eficiencia del N es necesario tener en cuenta otros factores y procesos implicados en la dinámica a largo plazo del ciclo del N [40].

3.5. Eficiencia del uso del agua (EUA)

Todos los tratamientos obtuvieron similares valores de EUA, entre 3 y 6 y entre 1 y 1,5 kg·m⁻³ de masa fresca y seca (Fig. 5). Los valores hallados son similares a los reportados a cereales como el maíz, que están entre 1,3 y 1,5 kg·m⁻³ [41] y arroz que están 0,6 y 1,6 kg·m⁻³ [42].

A pesar de no encontrarse diferencias estadísticas, los AO mostraron tendencia a presentar mayores eficiencias de uso del agua, que los fertilizantes convencionales de síntesis industrial, lo cual se relaciona positivamente con la EI. Una mayor eficiencia implica menores pérdidas por lixiviación, garantizando que tanto el agua como los nutrientes se queden en la zona de raíces y las plantas tengan mayores oportunidades de aprovecharlos. A pesar que los AO presentaron pérdidas por lixiviación al inicio del experimento, su contribución a mejorar las propiedades físicas del suelo y el suministro de nutrientes pudieron tener un efecto positivo en el desarrollo radicular de la planta y, por tanto, en la producción de biomasa. Los valores más bajos de EUA pueden deberse a que el dosel de cobertura de las plantas es menor, quedando la superficie del suelo expuesta a mayor evaporación. Además, a medida que se aumenta la concentración de sales, la EUA se reduce, debido al incremento del potencial osmótico del suelo, como se puede apreciar en los tratamientos con SA [43].

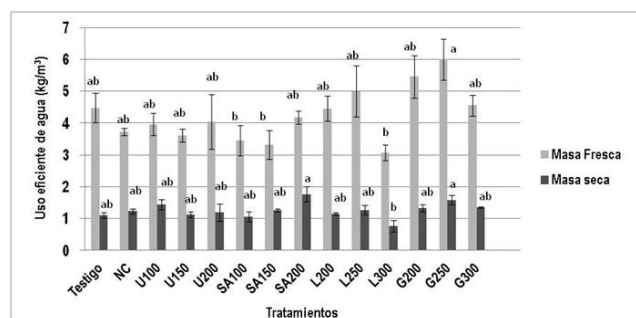


Figura 5. Uso eficiente de consumo de agua en kg/m³ de masa fresca y seca en función del tipo de fertilizante nitrogenado en albahaca. Comparación de medias realizada con la prueba de Tukey al 95 % (F=4,33; p=0,00) para masa fresca y (F=2,83; p=0,01) para masa seca. TA= testigo absoluto; NC= nitrato de calcio; U= urea recubierta; SA= sulfato de amonio; L= lombricompost; G= Gallinaza. Los números indican las dosis evaluadas de N en kg·ha⁻¹.

4. Conclusiones

Los AO presentaron mayor lixiviación de N que los fertilizantes NC, SA y U cuando el riego se realizó llevando el suelo a capacidad de campo, debido probablemente a cambios en la porosidad y en la retención de humedad del suelo. El empleo del Kc por etapa redujo significativamente la lixiviación, ratificando que el manejo del agua es el factor más importante para la reducción de las pérdidas de los iones nitrato y amonio.

Las dosis de 100 y 150 kg ha⁻¹ obtuvieron los mayores porcentajes de MS independiente del tipo de abono, aunque sin diferencias con las dosis empleadas con los AO (200, 250 y 300 kg ha⁻¹). Las plantas fertilizadas con dosis de 100 y 150 kg ha⁻¹ independiente del tipo de abono, presentaron mayores concentraciones de NF que las demás dosis. Los FRL (NC y SA) obtuvieron mayores porcentajes de MS y NF que los FLL (U, AO) y que el TA. Los abonos convencionales de síntesis industrial (NC, SA y U) alcanzaron mayores porcentajes de MS y NF que los AO y el TA, indicando que una oportuna disponibilidad del N es importante para el crecimiento y desarrollo del cultivo, y que la definición de la época de aplicación es indispensable para garantizar dicha disponibilidad. Este tiempo de aplicación antes de la siembra dependerá de la velocidad de disolución de los FLL convencionales o de la tasa de mineralización de los AO. Los resultados obtenidos sugieren que, para la comercialización de albahaca en fresco, el uso de AO puede ser más apropiado y para forma deshidratada o extracción de aceites, la fertilización con FRL es mejor. Sin embargo, se requieren otros estudios para confirmar lo anterior.

Todos los fertilizantes empleados mantuvieron el pH cerca a la neutralidad, mientras que el SA y la U aumentaron significativamente la CE, indicando una mayor disponibilidad de nutrientes. Ni los tipos de abono evaluados ni las dosis aplicadas tuvieron incidencia en la MOS y en NTS después de la cosecha.

La U y el SA consiguieron mayores kg de N absorbido por kg de N aplicado mientras que los AO consiguieron mayores kg de MS por kg de N absorbido, resultando más eficientes en la producción de biomasa. Los AO permitieron obtener mayor productividad de agua, al conseguir más kg de MS por m³ de agua aplicada, gracias a la capacidad de estos

para la retención de humedad y al mejoramiento de las propiedades físicas del suelo.

Es necesario realizar estudios más profundos que evalúen el efecto de estos fertilizantes en contenidos de aceites y compuestos aromáticos en albahaca, así como la investigación en cultivos comerciales con seguimiento por mayor tiempo, tanto de variables agronómicas, como de variables ambientales, relacionadas con el agua y el suelo.

Referencias

- [1] Jamali, H., Quayle, W. and Baldock, J., Reducing nitrous oxide emissions and nitrogen leaching losses from irrigated arable cropping in Australia through optimized irrigation scheduling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 208, pp. 32-39, 2015. DOI: 10.1016/j.agrformet.2015.04.010G
- [2] Arauzo, M. and Valladolid, M., Drainage and N-leaching in alluvial soils under agricultural land uses: implications for the implementation of the UE Nitrates Directives. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 179, pp. 94-107, 2013. DOI: 10.1016/j.agee.2013.07.013.
- [3] Reyes, A., Figueroa, U., Ochoa, E., Verastegui, J., Sánchez, J.I. and Núñez, G., Lixiviación de nitratos provenientes de estiércol y fertilizante en forrajes cultivados en lisímetros de volumen. *Agrofaz* [En línea], 12(4), pp. 95-101, 2012. [fecha de referencia: Noviembre 25 de 2017]. Disponible en: http://www.agrofaz.mx/wp-content/uploads/articulos/2012124V_1.pdf
- [4] IDAE – Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía., Ahorro, eficiencia energética y fertilización nitrogenada. Ahorro y eficiencia energética en la agricultura. IDAE: Madrid, 2007, 44 P.
- [5] Hadas, A., Agassi, M., Zhevelev, H., Kautsky, L., Levy, G.J., Fizik, E. and Gotessman, M., Mulching with composted municipal solid wastes in the Central Negev Israel. II Effect on available nitrogen and phosphorus and on organic matter in soil. *Soil Tillage Research*, 78, pp. 115-128, 2004. DOI: 10.1016/j.still.2004.02.020
- [6] Soca, M. and Daza, M.C., Evaluation of particle size fractions and doses of zeolite for agriculture. *Agrociencia* [Online], 50(8), pp. 965-976, 2016. [date of reference: November 25th of 2017]. Available at: <http://www.colpos.mx/agrociencia/Bimestral/2016/nov-dic/nov-dic-16.html>
- [7] Barrios, M. and Killorn, R., Nitrificación del amonio a partir de un fertilizante de liberación controlada y urea convencional en dos suelos de Iowa, EEUU. *Bioagro* [En línea], 22(3), pp. 193-200, 2010. [fecha de referencia: Noviembre 25 de 2017]. Disponible en: [http://www.ucla.edu/ve/bioagro/Rev22\(3\)/4.%20Nitrificaci%C3%B3n%20del%20amonio.pdf](http://www.ucla.edu/ve/bioagro/Rev22(3)/4.%20Nitrificaci%C3%B3n%20del%20amonio.pdf)
- [8] Barbieri, P.A., Echeverría, H.E., Sañz, H.R. and Maringolo, M., Fertilización de maíz con urea de liberación lenta: pérdida por volatilización y eficiencia de uso de nitrógeno. *Ciencia del Suelo* (Argentina) [En línea], 28(1), pp. 57-66, 2010. [fecha de referencia: Noviembre 25 de 2017]. Disponible en: [https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_28n1/28\(1\)%2057-66.pdf](https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_28n1/28(1)%2057-66.pdf)
- [9] Moncayo, M., Alvarez, V., González, G., Salas, L. and Chaves, J., Producción orgánica de albahaca en invernadero en la Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana* [En línea], 33(1), pp. 69-77, 2015. [fecha de referencia: Noviembre 25 de 2017]. Disponible en: <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/46>
- [10] Singh, K., Chand, S. and Yaseen, M., Integrated nutrient management in Indian basil (*Ocimum basilicum*). *Industrial Crops & Products*, 55, pp. 225-229, 2014. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.02.009
- [11] Lu, Y., Sun, Y., Liao, Y., Nie, J., Xie, J., Yang, Z. and Zhou, X., Effects of the application of controlled release nitrogen fertilizer on rapeseed yield, agronomic characters and soil fertility. *Agricultural Science & Technology* [Online], 16(6), pp. 1216-1226, 2015. [date of reference: November 29th of 2017]. Available at: <https://search.proquest.com/openview/c5861a601cf5a7bb94f8bce494ae448e/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1596357>
- [12] Xie, L., Liu, M., Ni, B., Zhang, X. and Wang, Y., Slow release nitrogen and boron fertilizer from a functional superabsorbent formulation based on wheat straw and attapulgite. *Chemical Engineering Journal* [Online], 167(1), pp. 342-348, 2011. [date of reference: November 25th of 2017]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894711000180>
- [13] Cristobal-Acevedo, D., Álvarez, M.E., Hernández, E. and Améndola, R., Concentración de Nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional. *Terra Latinoamericana* [En línea], 29(3), pp. 325-332, 2011. [fecha de referencia: Noviembre 25 de 2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57321283011>
- [14] Li, J., Zhao, B., Li, X., Jiang, R. and So, H.B., Effects of long-term combined application of organic and mineral fertilizers on microbial biomass, soil enzyme activities and soil fertility. *Agricultural Sciences in China*, 7(3), pp. 336-343, 2008. DOI: 10.1016/S1671-2927(08)60074-7
- [15] Daza, M.C., Díaz, J., Aguirre, E. and Urrutia, N., Efecto de abonos de liberación lenta en la lixiviación de nitratos y nutrición nitrogenada en estevia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* [En línea], 9(1), pp. 112-123, 2015. [fecha de referencia: Noviembre 25 de 2017]. Disponible en: http://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/3750/pdf_20
- [16] Nielsen, S., Minchin, T., Kimber, S., van-Zwieten, L., Caporaso, J.G., Gilbert, J., Munroe, P., Joseph, S. and Thomas, T., Comparative analysis of the microbial communities in agricultural soil amended with enhanced biochar or traditional fertilizers. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 191, pp. 73-82, 2014. DOI: 10.1016/j.agee.2014.04.006
- [17] Ni, X., Wu, Y., Wu, Z., Wu, L., Qiu, G. and Yu, L., A novel slow-release urea fertiliser: Physical and chemical analysis of its structure and study of its release mechanism. *Biosystems engineering*, 115(3), pp. 274-282, 2013. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2013.04.001
- [18] Sánchez, D., Gutierrez, J., Campo, J. and Herrera, J.P., Estudio sobre el sector de fertilizantes en Colombia. Grupo de Estudios Económicos Sectoriales, Superintendencia de Industria y Comercio, Bogotá, 2013, 198 P.
- [19] DNP – Departamento Nacional de Planeación., Política nacional para la racionalización del componente de costos de producción asociado a los fertilizantes en el sector agropecuario. CONPES 3577, Bogotá, 2009, 33 P.
- [20] IGAC/CVC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi/Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca), Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del departamento del Valle del Cauca. IGAC, Bogotá, COL, 2004.
- [21] ICONTEC. NTC Norma Técnica Colombiana 5167., Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá, 2011.
- [22] Allen, R., Pereira, L., Raes, D. and Smith, M., Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO. Irrigation and Drainage, 56, Rome, Italy, 2006, 300 P.
- [23] Daza, M.C., Arias, P., Reyes, A. and Urrutia, N., Basil (*Ocimum basilicum* L.) water needs calculated from the crop coefficient. *Ingeniería e Investigación*, 37(3), pp. 8-16, 2017. DOI: 10.15446/ing.investig.v37n3.65058
- [24] Dobermann, A., Nutrient use efficiency-measurement and management, Proceedings of the International Fertilizer Industry Association (IFA) Workshop on Fertilizer Best Management Practices, Brussels, Belgium, 267 P, 2007.
- [25] Mitran, T., Kumar-Mani, P., Kumar-Bandyopadhyay, P. and Basak, N., Influence of organic amendments on soil physical attributes and aggregate associated phosphorus under long-term rice-wheat cropping. *Pedosphere*, In press, 2017. DOI: 10.1016/S1002-0160(17)60423-5
- [26] Moreno, G., López, M.L., Oliveira, F. and Chuna, M., Eficacia de los sistemas agroforestales en el control de la lixiviación de nitrato. Cuadernos de la sociedad española de ciencias forestales [En línea], 22, pp. 113-118, 2007. [fecha de referencia: Noviembre 25 de 2017]. Disponible en: http://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernos_secf/article/view/9589/9507
- [27] Cavero, J., Barros, R., Sellam, F., Topcu, S., Isidoro, D., Hartani, T., Lounis, A., Ibrkici, H., Cetin, M., Williams, J.R. and Aragüés, R.,

- APEX simulation of best irrigation and N management strategies for off-site N pollution control in three Mediterranean irrigated watersheds. *Agricultural Water Management*. 103, pp. 88-99, 2012. DOI: 10.1016/j.agwat.2011.10.021
- [28] Alfaro, M., Salazar, F., Endress, E., Dumont, J.C. and Valdebenito, A., Nitrogen leaching losses on a volcanic ash soil as affected by the source of fertiliser. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* [Online]. 6(2), pp. 54-63, 2006. [date of reference: November 25th of 2017]. Available at: http://jsspn.ufro.cl/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=76&Itemid=6
- [29] WHO – World Health Organization., *Guidelines for drinking-water quality*. Fourth edition. WHO library cataloguing in publication data, 564 P, 2011.
- [30] Ortuzar, M.A., Aizpurua, A., Castellón, A., Alonso, A. and Estavillo, J.M., Evolución del contenido de nitrato y amonio en lixiviados bajo diferentes formas de fertilización nitrogenada en trigo. *Estudios de la zona no saturada del suelo* [En línea]. 6, pp. 45-50, 2003. [fecha de referencia: Noviembre 25 de 2017]. Disponible en: http://www.zonanosaturada.com/zns03/publications_files/p045-050.pdf
- [31] Civeira, G. and Rodríguez, M.B., Nitrógeno residual y lixiviado del fertilizante en el sistema suelo-planta-zeolitas. *Ciencia Del Suelo* [En línea]. 29(2), pp. 285-294, 2011. [fecha de referencia: Noviembre 25 de 2017]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4346877>
- [32] Zhang, B., Li, Q., Cao, J., Zhang, C., Song, Z., Zhang, F. and Chen, X., Reducing nitrogen leaching in a subtropical vegetable system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 241, pp. 133-141, 2017. DOI: 10.1016/j.agee.2017.03.006
- [33] Gao, X., Li, C., Zhang, M., Wang, R. and Chen, B., Controlled release urea improved the nitrogen use efficiency, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) on silt loamy soil. *Field crops research*. 181, pp. 60-68, 2015. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.07.009
- [34] Osorio, N.W., Manejo de nutrientes en suelos del trópico. Ed L Vieco S.A.S, Medellín, pp. 185-187, 2014.
- [35] Búfalo, J., Cantrell, C.L., Astatkie, T., Zheljzkov, V.D., Gawde, A. and Boaro, C.S.F., Organic versus conventional fertilization effects on sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) growth in a greenhouse system. *Industrial Crops and Products*. 74, pp. 249-254, 2015. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.04.032
- [36] Hailing, Y., Qiang, G., Zeqiang, S., Anning, Y., Yuyang, S., Jingwei, L. and Zhang, B., Decreasing nitrogen fertilizer input had little effect on microbial communities in three types of soils. *PLoS One*. 11(3), pp. 1-13, 2016. DOI: 10.1371/journal.pone.0151622
- [37] Navarro, S. and Navarro, G., *Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Segunda edición, Ediciones Mundiprensa, Madrid, España, 438 P, 2003.
- [38] Berti, M., Hevia, F., Wilckens, R. and Joublan, J., Fertilización nitrogenada del cultivo de hierba de San Juan (*Hypericum perforatum* L.) en Chillan, Provincia de Nuble, Chile. *Ciencia e Investigación Agraria* [En línea]. 107-116, 2000. [fecha de referencia: Noviembre 25 de 2017]. Disponible en: <http://www.submission.rcia.uc.cl/index.php/rcia/article/view/1002/859>
- [39] Figueroa-Barrera, A., Álvarez-Herrera, J.G., Forero, A.F., Salamanca, C. and Pinzón, L.P., Determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización de nitrógeno en materiales orgánicos. *Temas Agrarios* [En línea]. 17(1), pp. 32-43, 2012. [fecha de referencia: Noviembre 25 de 2017]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4230882.pdf>
- [40] Roberts, T., Improving nutrient use efficiency. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* [Online]. 32(3), pp. 177-182, 2008. [date of reference: November 25th of 2017]. Available at: <http://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/issues/tar-08-32-3/tar-32-3-4-0801-9.pdf>
- [41] Reta, D.G., Figueroa, U., Faz, R., Núñez, G., Gaytán, A., Santos, J. and Payán, J.A., Sistemas de producción de forraje para incrementar la productividad del agua. *Revista Fitotecnia Mexicana* [En línea]. 33(4), pp. 83-87, 2010. [fecha de referencia: Noviembre 25 de 2017]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v33nspe4/v33nspe4a17.pdf>
- [42] Sander, J. and Win, G.M., Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*. 69(2), pp. 115-133, 2004. DOI: 10.1016/j.agwat.2004.04.007
- [43] Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, E. and Raes, D., Crop yield response to water. *Food and Agriculture Organization of United Nations – FAO, Irrigation and drainage paper N° 66, 530 P, 2012.*

M.C. Daza-Torres, recibió su título de Ing. Agrícola en 1997 y su grado de MSc. en el año 2005 ambos de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Fue profesora e investigadora en el área de suelos de la Facultad de Ciencias agropecuarias de la Universidad de Cundinamarca entre los años 2003 y 2006. Desde el 2007 trabaja como profesora de tiempo completo en el área de suelos en la Universidad del Valle, Cali, Colombia, en el área de Ingeniería Agrícola y Recursos Hídricos. Ha participado en proyectos de investigación en temas relacionados con el uso de abonos orgánicos de diferente procedencia y su repercusión en sistemas productivos y en los recursos suelo y agua.
ORCID: 0000-0002-7200-0443.
Google analytics: UA-99323342-1

G.S. Ladino-Tabarquino, recibió su título de Ing. Agrícola en 2017 de la Universidad del Valle, Cali, Colombia. Participó como pasante en Cenipalma entre noviembre de 2016 y agosto de 2017. Actualmente trabaja como investigadora en CENIPALMA en el Programa de Agronomía en el área de suelos.
ORCID: 0000-0003-1542-9267.

N. Urrutia-Cobo, recibió su título de Ing. Agrícola de la Universidad del Valle, Cali, Colombia, en convenio con la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira en 1977. Realizó una Esp. en ingeniería de regadíos del Centro de Estudios y de Experimentación de Obras Públicas de España en 1988. También realizó MSc. en ingeniería hidráulica en el International Institute for Infrastructural Hydraulic and Environmental Eng (IHE – Holanda) entre 1995 y 1997. Es Dr. en ingeniería hidráulica de la Agricultural University – Wageningen. Ha trabajado como profesor e investigador del área de ingeniería agrícola y recursos hídricos de la Universidad del Valle, Cali, Colombia, desde 1979. Actualmente es profesor titular e investigador principal del grupo de investigación Gestión integral del riego para el desarrollo agrícola y la seguridad alimentaria (REGAR).
ORCID: 0000-0002-7163-3708.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MEDELLÍN
FACULTAD DE MINAS

Área Curricular de Medio Ambiente

Oferta de Posgrados

Especialización en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos
Especialización en Gestión Ambiental
Maestría en Ingeniería Recursos Hidráulicos
Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo
Doctorado en Ingeniería - Recursos Hidráulicos
Doctorado Interinstitucional en Ciencias del Mar

Mayor información:
E-mail: acma_med@unal.edu.co
Teléfono: (57-4) 425 5105