



Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año

Datos generales del Proyecto

Código del proyecto: CI 2805			
Título del proyecto: MANEJO INTEGRADO DEL RIEGO LA Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DE PLANTAS AROMÁTICAS PARA EVITAR LA LIXIVIACIÓN DE NITRATOS			
Facultad o Instituto Académico: Ingeniería			
Departamento o Escuela: Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente - EIDENAR			
Grupo (s) de investigación: Gestión Integral Del Riego Para El Desarrollo Agrícola Y La Seguridad Alimentaria – REGAR. Grupo de ingeniería en Recursos Hídricos y desarrollo de suelos - IREHISA			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	Norberto Urrutia Cobo	2 h/s	2 h/s
Coinvestigadores	Martha Constanza Daza Torres. Estudiante de doctorado	20 h/s	20 h/s
	Aldemar Reyes (Vinculado hasta junio de 2015)	8 h/s	8 h/s
Otros participantes	Paulo César Arias Prado	10 h/s	12 h/s
	Hugo Stiven Meneses Carvajal		
	Santiago Cuervo Jurado		
	Jorge Mario Gallardo Escobar		
	Christian David Lenis Ferreira		

1. RESUMEN EJECUTIVO:

La contaminación de fuentes hídricas por nitratos provenientes de sistemas agrícolas es un problema de carácter mundial. La lixiviación de nitratos ocurre principalmente por exceso en la aplicación de agua y fertilizantes nitrogenados en los cultivos, en especial aquellos promisorios que aún no cuentan con suficientes paquetes tecnológicos para su producción sostenible y competitiva, como es el caso de las plantas aromáticas. El desconocimiento del coeficiente de los cultivos para la determinación de las láminas de riego y las dosis inadecuadas de la fertilización nitrogenada, ha hecho que los costos de producción se incrementen y el riesgo a la contaminación sea más alto. El presente proyecto tuvo como propósito, proponer un plan de manejo integrado del riego y la fertilización nitrogenada en sistemas productivos de plantas aromáticas de estevia (*Stevia rabaudiana* Bertoni.) y albahaca (*Ocimum basilicum* L.), para evitar la lixiviación de nitratos. Como objetivos específicos se tuvieron: i) determinar las curvas del Kc para cada cultivo, ii) estimar la eficiencia y iii) definir dosis adecuadas para la fertilización nitrogenada de las aromáticas en cuestión. El proyecto se realizó en dos etapas, una en cultivos comerciales y la segunda en condiciones de invernadero. En la primera etapa se instalaron lisímetros en cultivos comerciales, localizados en el corregimiento de Juanchito (Candelaria), para realizar balances hídricos y estimar la evapotranspiración del cultivo y con ayuda de una estación meteorológica, se determinó la evapotranspiración de referencia para así calcular la curva del Kc para cada especie. En la segunda etapa en condiciones de invernadero, se instalaron lisímetros de drenaje y se evaluaron diferentes dosis de nitrógeno, usando urea como fuente de fertilizante. Durante el experimento se aplicó la lámina de riego de acuerdo al Kc calculado en la etapa anterior y los valores de evapotranspiración fueron medidos dentro del invernadero con un tanque

¹ Todas las personas relacionadas en el informe y que participen en el proyecto deben haber suscrito el acta de propiedad intelectual de acuerdo con los formatos establecidos.

evaporímetro tipo A. Se tomaron medidas de N en suelo, planta y lixiviados y se determinó la eficiencia de la fertilización nitrogenada. Dentro de los resultados presentados están: la curva del Kc para los cultivos de estevia y albahaca, la dosis adecuada de fertilizante nitrogenado para las dos especies teniendo en cuenta la respuesta de la planta y la menor pérdida de nitratos por lixiviación. Así mismo, el proyecto vinculó 5 estudiantes de pregrado y uno de doctorado así como dos semilleros de investigación. Como indicadores verificables se tienen cinco proyectos de grado, dos artículos en revista indexada tipo A, dos ponencias, una nacional y una internacional.

2. ABSTRACT

water sources Pollution by nitrates from agricultural systems is a global problem. Nitrate leaching occurs mainly in applying excess water and nitrogen fertilizer on crops, especially those promising not yet have sufficient technological packages for their sustainable and competitive production, as aromatic plants. Because Ignorance crop coefficient for determining water depths and inappropriate doses of nitrogen fertilization, production costs have increased and risk of contamination is higher. This project was aimed to propose a plan for integrated management of irrigation and nitrogen fertilization on production of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.) and basil (*Ocimum basilicum* L.), to avoid leaching of nitrates. The specific objectives were: i) determine Kc curves for each crop, ii) estimate the efficiency and iii) define suitable relevant doses for nitrogen fertilization of previous aromatic plants. The project was conducted in two stages, one in cash crops and the second under greenhouse conditions. In the first stage lysimeters were installed in commercial crops, located in Juanchito (Candelaria), through water balance and estimate crop evapotranspiration and with the help of a weather station, reference evapotranspiration was determined in order to calculate the curve Kc for each species. In the second stage under greenhouse conditions, drainage lysimeters were installed and different doses of nitrogen were evaluated, using urea as a source of fertilizer. During the experiment the level of water according to the Kc calculated at the previous step and evapotranspiration were measured in the greenhouse with an evaporimeter tank type A. measures N in soil, plant and leachates were collected applied and determined the efficiency of nitrogen fertilization. Among the results presented are: Kc curve for stevia crops and basil, the appropriate dose of nitrogen fertilizer for the two species taking into account the best response of the plant and the least loss of nitrate leaching. Likewise, the project linked five undergraduate students, a doctoral student linked and two seed research. As verifiable indicators have five graduation projects, three articles in indexed journal type A, three papers: two in national event and one in international event, and one in a institutional event.

3. SÍNTESIS DEL PROYECTO:

3.1. Introducción

El presente escrito hace referencia al informe final del proyecto de investigación de convocatoria interna (CI 2805) denominado "Manejo integrado del riego y la fertilización nitrogenada en sistemas productivos de plantas aromáticas para evitar la lixiviación de nitratos" financiado por la Universidad del Valle. Esta investigación surgió por el interés que existe en conocer la relación entre las láminas de riego, la fertilización nitrogenada y la lixiviación de nitratos en los sistemas productivos agrícolas.

3.2. Objetivos

Objetivo general

- Proponer un plan de manejo integrado del riego y la fertilización nitrogenada en sistemas productivos de plantas aromáticas para evitar la lixiviación de nitratos.

Objetivos específicos

- Determinar las láminas de riego para las diferentes etapas fenológicas de estevia (*stevia rebaudiana* B) y albahaca (*ocimum basilicum*), basadas en las curvas del coeficiente del cultivo, con el fin de contribuir al manejo adecuado del agua en los sistemas productivos.

- Estimar la eficiencia de la fertilización nitrogenada en estevia (*Stevia rabaudiana* B) y albahaca (*Ocimum basilicum*) en condiciones controladas usando láminas de riego acordes a los requerimientos hídricos de las plantas.
- Definir la dosis de fertilización nitrogenada para estevia (*Stevia rabaudiana* B) y albahaca (*Ocimum basilicum*) teniendo en cuenta la mínima lixiviación de nitratos y el mejor comportamiento agronómico del cultivo.

3.3. Metodología

La investigación se realizó en cultivos comerciales de albahaca y estevia localizados en la finca Las Palmas (N 03 26.767' W 076 27.551'), vereda Cauca Seco, corregimiento de Juanchito (Candelaria) en el Valle del Cauca (Colombia). Los suelos utilizados correspondieron a la clasificación taxonómica *Fluventic Haplustepts*.

Se diseñaron y elaboraron 6 lisímetros metálicos sin techo de 0,125 m³, los cuales fueron localizados al azar, tres en una parcela cultivada con estevia y tres en otra con albahaca. Dentro de cada lisímetro se distribuyeron las capas de suelo siguiendo el mismo orden del perfil encontrado en campo, procurando la menor disturbación posible. Después se saturó el suelo del lisímetro con agua durante tres días y se dejó drenar para permitir la acomodación de sus agregados. Cada lisímetro contó con dos orificios ubicados a 0,10 y 0,20 m de profundidad, que permitieron la medida de la humedad volumétrica por medio de un sensor de TDR (MASER MPM-160-B) previamente calibrado. En la parte inferior de cada lisímetro fue instalado un cono de drenaje conectado a una manguera plástica y a un recipiente tapado que permitió conducir el agua de drenaje, donde fue almacenada para su posterior medición del volumen.

3.3.1. Montaje y diseño experimental para cálculo de ET_c para el cultivo de estevia

El experimento se llevó a cabo entre los meses de febrero a mayo del 2015. Las condiciones climatológicas presentadas durante el desarrollo del experimento fueron: Temperatura media máxima de 30,2 °C, temperatura media mínima de 19,6 °C, humedad relativa media exterior de 77,5%, velocidad del viento promedio de 2,8 km h⁻¹ y precipitación total de 263,5 mm. La precipitación promedio diaria registrada estuvo entre 0 mm y 26,3 mm, así como la ET_o estuvo entre 1,8 mm y 9,7 mm.

En una parcela de 350 m² se sembró estevia a 0,30 m entre plantas y 0,30 m entre surcos. Se establecieron camas de 1,5 de ancho por 13,0 de largo. La preparación del terreno consistió en un pase con motocultor para romper los agregados más grandes del suelo y tres pases con arado de cincel. Se utilizaron esquejes de estevia variedad Morita que fueron sembrados en marzo de 2015. El experimento tuvo un seguimiento hasta junio de 2015 con una duración de 96 días. Las etapas fenológicas de la estevia fueron: desarrollo y crecimiento (3 – 54 ddt), madurez (55 – 72 ddt) y cosecha y senescencia (73 – 96 ddt). Durante los primeros días del cultivo se utilizó una cubierta de polisombra para permitir la adecuación de los esquejes a las condiciones climáticas de la zona.

Se realizaron podas de crecimiento y sanitarias siguiendo las recomendaciones de (Ramirez, 2011). Las plantas se fertilizaron con una solución nutritiva compuesta por NPK que contenía 200, 100 y 100 g L⁻¹ respectivamente y se aplicó en dosis de 2,4 mL por planta. La fertilización se realizó 15 días después de la poda de crecimiento para todas las plantas tanto de las camas como las del lisímetro. La presencia de plantas arvenses como *Cyperus rotundus* se eliminaron de forma manual. El control de hongos como *Septoria steviae* Speg se realizó mediante la aplicación de fosfitos de cobre, fósforo y ácidos policarboxílicos en dosis de 200 cm³ por 100 L. Se midió periódicamente la altura de la planta y al final de la etapa de cosecha y senescencia se determinó la materia seca de hojas, dividiendo los tallos en tres tercios y secando las plantas en un horno de flujo de aire a 65°C por 24 horas. También se calculó la eficiencia en el uso del agua siguiendo los lineamientos de Steduto *et al.*, (2012).

3.3.2. Montaje y diseño experimental para cálculo de ET_c para el cultivo de albahaca

El experimento se llevó a cabo entre los meses de mayo a julio del 2015. Las condiciones climatológicas registradas durante todo el experimento con la estación meteorológica portátil fueron: temperatura media máxima de 32,8 °C, temperatura media mínima de 17,3 °C, velocidad de viento promedio de 5 km h⁻¹. La precipitación promedio diaria registrada estuvo entre 0 mm y 4,95 mm, así como la evapotranspiración de referencia (ET_o) estuvo entre 1,68 mm y 5,06 mm.

El área experimental fue de 240 m², en la cual se realizaron labores de labranza previas como desmonte, arado y rastrillado. Se utilizaron semillas de albahaca variedad genovesa, las cuales fueron germinadas en semillero usando el mismo suelo como sustrato. Las plantas de albahaca fueron trasplantadas a los 10 días, sembradas a 0,5 m x 0,5 m y se abonaron con un fertilizante organo mineral al inicio del trasplante. Las etapas fenológicas de la albahaca fueron: desarrollo y crecimiento (1 – 25 ddt), madurez (26 – 50 ddt) y cosecha y senescencia (51 – 71 ddt).

Se determinó el porcentaje de masa seca de plantas de albahaca al cabo de 71 ddt, a partir del peso fresco y peso seco de biomasa y se correlacionó con el consumo de agua. Se determinó el peso seco pesando las plantas cosechadas después de pasar por un horno de flujo de aire a 65°C por 24 horas. También se calculó la eficiencia en el uso del agua siguiendo los lineamientos de Steduto *et al.*, (2012).

3.3.3. Balance hídrico y determinación de la curva de Kc

Se llevó un registro constante de las diferentes variables del balance hídrico, para luego calcular la ETc en lámina (mm) por medio de la ecuación (6).

$$ETc = P + R + C - ES - D \pm \Delta H$$

Ecuación 6

Donde P es la precipitación, R es el aporte de lámina por el riego, C es el aporte de agua a zonas de raíces por capilaridad la cual se asumió como cero por ser un valor pequeño en las dimensiones del lisímetro comparado con los demás aportes, ES es la pérdida de agua por escorrentía la cual igualmente se tomó el valor de cero puesto que el experimento se llevó a cabo en zona plana y las precipitaciones presentadas no ocasionaron escorrentía dentro del lisímetro, D es la lámina drenada y ΔH es el contenido de humedad del suelo.

El suelo se llevó a estado de humedad de saturación y se dejó drenar por 24 horas para ser llevado a la humedad de capacidad de campo y se realizó el trasplante de plántulas de estevia y albahaca con 20 y 10 días de germinación respectivamente, tanto en campo como en los lisímetros. Las mediciones con el TDR previamente calibrado se hicieron todos los días, para saber el estado de humedad del suelo. Una vez obtenidas las lecturas de humedad se dispuso aplicar las cantidades de agua teniendo en cuenta el área y la profundidad previamente determinada (0,08 m hasta los 62 ddt y 0,10 m hasta la cosecha para estevia y 0,10 m hasta los 25 ddt, 0,14 m de 26 – 50 ddt y 0,15 de 51 – 71 ddt para albahaca).

El riego se realizó manualmente con una probeta volumétrica de 1000 mL, esparciendo el agua sobre toda la superficie del lisímetro. La lámina de drenaje fue recolectada en los recipientes plásticos midiendo el volumen recogido. La precipitación fue determinada con la estación climatológica portátil y se ajustó al área de aplicación del lisímetro en el momento de realizar el balance hídrico.

Para la determinación de ETo, se empleó igualmente la estación climatológica portátil, la cual proporcionó los registros por hora de las variables utilizadas en la ecuación de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 2006).

El registro se realizó por un periodo de 96 días para estevia y 71 para albahaca, ya que este fue el tiempo necesario para que las plantas alcanzaran la madurez necesaria para la primera cosecha y su respectiva comercialización.

Posteriormente se procedió al cálculo de Kc para cada lisímetro siguiendo los lineamientos de (Allen *et al.*, 2006), como la relación ETc/ETo

3.3.4. Tratamiento de los datos y Análisis estadístico

Se verificó la distribución normal de los datos usando el Test de Shapiro - Will para los datos de estevia y el Test de Kolmogorov - Smirnov para albahaca y se realizó el test de homogeneidad de varianzas (Test de Friedman). También se realizó pruebas de correlación entre lisímetros utilizando la prueba de Spearman con un nivel de significancia del 95%. Se realizaron regresiones

lineales para los Kc por fase de cultivo con un nivel de confianza del 95% y se determinaron intervalos de confianza para la media. Para las variables altura de planta, porcentaje de materia seca y eficiencia en uso del agua, se realizó estadística descriptiva.

3.3.5. Determinación de plan de fertilización nitrogenada para plantas aromáticas

Los experimentos se realizaron en los invernaderos del Laboratorio de Aguas y Suelos Agrícolas LASA de la Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente (EIDENAR) de la Universidad del Valle, ubicado en el municipio de Santiago de Cali, Valle Del Cauca, a una altura de 979 msnm; en latitud 3° 22' 22.29" N y longitud 76° 31' 49.22" O. Los valores de temperatura y precipitación promedio anual son de 25 °C y 909 mm respectivamente.

El suelo utilizado provino de finca Las Palmas (N 03 26.767' W 076 27.551'), vereda Cauca Seco, corregimiento de Juanchito (Candelaria) en el Valle del Cauca (Colombia). Los suelos utilizados correspondieron a la clasificación taxonómica *Fluventic Haplustepts* cuyas principales características físico químicas presentaron los siguientes valores: pH de 7,47; materia orgánica de 2,32%; textura franco arcillosa; contenido de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Na⁺ de 10,66, 5,95, 1,69 y 0,44 cmol (+) kg⁻¹ respectivamente y contenido de N total de 0,12%.

Se construyó un tanque evaporímetro clase A con un diámetro de 0,60 m y una altura de 0,19 m; el cual se ubicó a una altura de 0,10 m de la superficie del suelo. El tanque evaporímetro se construyó en hierro galvanizado, y se cubrió con una capa pintura de aluminio de color blanco en su interior y exterior, su fondo se pintó de color negro según especificaciones (Allen *et al.*, 2006). La calibración del tanque evaporímetro se realizó registrando el valor diario de evaporación, tanto del prototipo como del tanque ubicado en la estación meteorológica de la Universidad del Valle sede Meléndez. El registro de la evaporación se realizó utilizando un limnómetro de gancho ubicado en forma perpendicular al tanque evaporímetro, en el cual, por medio de una regla milimetrada se pudo cuantificar la diferencia de nivel diariamente. 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 ajustaría a la lectura real de evaporación registrada por el tanque evaporímetro clase A ubicado en las instalaciones de la Universidad del Valle. El coeficiente de tanque utilizado fue de 0,75.

Se construyeron lisímetros consistieron en recipientes plásticos de 0,25 m de altura por 0,20 m de diámetro, recubiertos con malla y grava 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 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 del total del lixiviado. La recolección se realizó diariamente y la muestra fue guardada en condiciones refrigeradas hasta cuando se contó con suficiente cantidad de lixiviado para ser analizado.

Se estableció un diseño completamente al azar, donde se propusieron 5 tratamientos con tres repeticiones cada uno para cada cultivo. Los tratamientos establecidos fueron: testigo sin ninguna aplicación (T), dosis de N de 50, 100, 150 y 200 kg ha⁻¹ (T50, T100, T150 y T200 respectivamente). Se utilizó urea como fuente nitrogenada, la cual contenía el 46% de N y fue adicionada tres días antes con la lámina de riego necesaria para llevar al suelo a capacidad de campo (100 ml). Se realizaron aplicaciones de P₂O₅ y K₂O de 65 y 200 kg/ha respectivamente para albahaca y de 25 y 80 kg/ha para estevia. La unidad experimental consistió en un lisímetro de drenaje, con una planta en su interior a la cual se le realizaron todas las mediciones. Las dosis utilizadas fueron escogidas con base a los requerimientos de plantas de estevia (Casaccia y Álvarez, 2006) y de albahaca (Bonilla y Guerrero, 2010).

Las variables de respuesta evaluadas fueron N-amoniaco lixiviado medido, para el caso de la estevia, en tres momentos durante el cultivo (a los 29, 85 y 115 días después del trasplante, ddt) y para el caso de la albahaca en dos momentos (a los 24 y 77 ddt). En la planta se midió altura (medida desde la base del tallo hasta el ápice, diámetro de tallo (a 0,2 m de la superficie del suelo), masa fresca y seca, una vez cosechada la parte aérea de la planta, fue pesada y secada en estufa a 55°C por 24 horas, porcentaje de masa seca calculado a partir del peso de masa fresca y seca, N foliar (método Kjeldahl) (IGAC, 2006) y el rendimiento de hoja seca en tonelada por hectárea. Se consideraron los indicadores "eficiencia aparente de recuperación de N" y

“eficiencia interna de utilización” propuestos por Dobermann (2007). También se calculó la eficiencia en el uso del agua siguiendo los lineamientos de Steduto *et al.*, (2012). En el suelo se midió pH en relación 1:1, conductividad eléctrica en relación 2:1, materia orgánica del suelo (método de Walkley-Black) y N total (método Kjeldahl) siguiendo los lineamientos de IGAC (2006).

3.3.6. *Análisis estadístico*

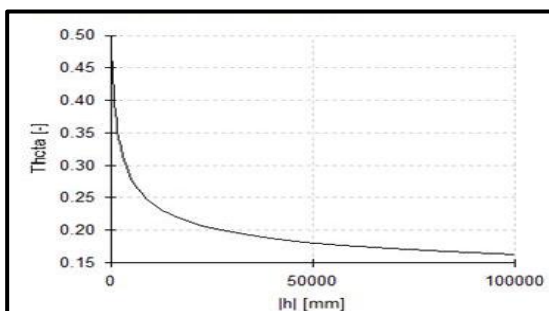
La verificación de la distribución normal de los datos se hizo siguiendo la prueba de Shapiro Wilk y la homogeneidad de varianzas se determinó con la prueba de Levene. Se realizó un análisis estadístico descriptivo y análisis de varianza para determinar diferencias significativas entre tratamientos. Para las variables que siguieron distribución normal y tuvieron varianzas homogéneas se realizó un análisis de postanova (Test de Tukey). Para el caso de las variables que no obtuvieron homogeneidad de varianza se realizó la comparación de medias mediante la prueba de Dunnet. Para las variables que no siguieron distribución normal, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para verificar la distribución homogénea entre tratamientos y la prueba de las medianas para determinar la existencia de diferencias significativas. Se utilizó el programa estadístico IBM SPSS Statistics 20.

3.4. Principales resultados

3.4.1. *Curva de retención de humedad del suelo*

El suelo en estudio presentó textura franco arcillosa, valor de densidad aparente acorde con la textura, tamaño medio de agregados; para Arias (2001), el tamaño ideal de agregados oscila entre los 0,50 – 2,00 mm de diámetro; agregados mayores restringen el volumen de suelo explorado por la raíces y agregados menores originan poros muy pequeños y no drenables por acción de la gravedad, de acuerdo a esto el suelo de la parcela experimental no posee problemas que afecten la aireación y el drenaje del suelo. La porosidad encontrada es alta con inadecuada distribución entre macro y microporosidad, restringiendo el crecimiento de raíces. La infiltración básica catalogada como lenta es coherente con la textura del suelo (Valverde, 2007), al igual que la conductividad hidráulica moderada (Villón, 2007).

La figura 1 muestra la curva de retención de humedad obtenida para un suelo franco arcilloso, a una profundidad de 30 cm a través del software Hydrus-2D.



(h): Contenido de Humedad.
(-)Theta: Cabeza de presión.

Figura 1. Curva de Retención de Humedad de un suelo Franco Arcilloso para una profundidad de 30 cm, simulada a través del software Hydrus-2D con el modelo van Genuchten (1980) - Mualem (1976) usando redes neuronales de Rosetta –lite.

3.4.2. *Necesidades hídricas del cultivo de estevia*

Los valores de ETc obtenidos para los tres lisímetros siguieron una distribución normal ($P=0,146$), cumplieron con la homogeneidad de varianzas ($p= 0,997$), y no presentaron diferencias entre sus medias ($P=0,811$), siguiendo similares

tendencias (Figura 2). Los coeficientes de correlación de Spearman entre lisímetros hallados ($P < 0,01$) estuvieron entre 0,92 y 0,96. Los valores registrados de ET_c estuvieron entre 1,16 mm alcanzado a los 30 ddt en el lisímetro 1 y 9,00 mm a los 63 ddt en el lisímetro 2.

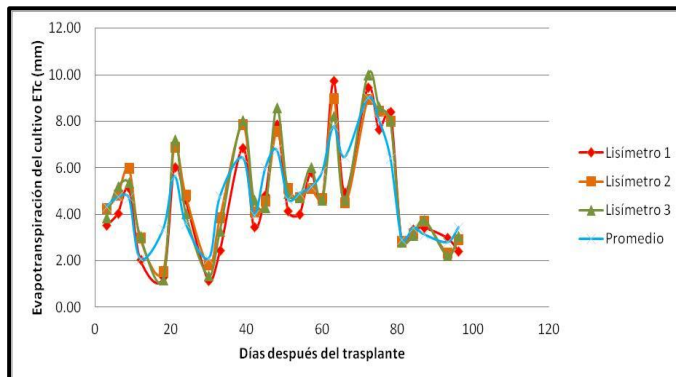


Figura 2. Variación de las necesidades hídricas del cultivo (ET_c) en el periodo de crecimiento de Estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.) en lisímetros de drenaje.

Debido a las precipitaciones que se presentaron distribuidas durante el ciclo de la planta, los valores de ET_c oscilaron permanentemente, encontrando que entre los 60 y 78 ddt las plantas de estevia demandaron mayor cantidad de agua. En la etapa de crecimiento y desarrollo, la demanda de agua fue más baja debido a que las hojas de la planta de estevia aún son pequeñas, disminuyendo las pérdidas de agua por sus estomas. A medida que la planta va creciendo, su demanda de agua aumentó, a pesar de la presencia de precipitaciones y a la alta capacidad de almacenamiento de humedad en el suelo (microporosidad del 36%). El consumo de agua promedio diario fue de $4,91 \text{ mm día}^{-1}$ equivalentes a $4714 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para el ciclo del cultivo evaluado. Este consumo total de agua es más bajo que el consumo del cultivo prevalente en la región de estudio que es la caña de azúcar ($10300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ -año}$), pero por encima de otros cultivos representativos como maíz ($3600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y soya ($3400 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) (Pérez *et al.*, 2011). Serfaty *et al.*, (2013) en su trabajo de investigación en condiciones desérticas de Israel, emplearon en cultivos de estevia $8000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, 40,6% más de agua que la empleada en esta investigación. Por otro lado González *et al.*, (2002) en regiones de Paraguay, registraron el empleo de $1576 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de agua para un cultivo de estevia realizado en suelos con una capa de 3,0 cm de bagazo de caña, razón por la cual este consumo fue más bajo. Así mismo, Aladakatti *et al.*, (2012) utilizaron una lámina en promedio de $20384 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en un cultivo de estevia cultivado durante dos años en suelos mantenidos a la humedad de capacidad de campo (equivalente a $2548 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ durante tres meses). En Colombia, Niño *et al.*, (2013) reportaron consumo de agua equivalente a $5488 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ por un periodo de 98 días después del trasplante en el departamento del Tolima.

El comportamiento de la ET_c y de la ET_o presentaron similares tendencias (Figura 3a). El valor mínimo y máximo de ET_o fueron 1,79 y 9,67 mm presentados a los 18 y 63 ddt respectivamente, mientras que los de ET_c estuvieron entre 2,08 y 9,01, a los 12 y 72 ddt respectivamente. Entre los 3 y los 12 ddt, la ET_o estuvo entre 30% y 51% por encima de la ET_c , puesto que en estos primeros días el área foliar se empieza a desarrollar y la planta no proporciona suficiente cobertura al suelo, lo que hace que predomine la evaporación sobre la transpiración. Finalizando la etapa fenológica de crecimiento y desarrollo y durante la etapa de madurez la ET_c sobrepasó a la ET_o entre 7 y 28%. En la mayoría de los cultivos, en las primeras fases la ET_o es mayor que la ET_c , debido a que el área foliar es más pequeña (Fronza y Folegatti, 2003). Autores como Araya, *et al.*, (2011) en tef, encontraron que en las primeras etapas, la ET_c estuvo por encima de ET_o y atribuyen este resultado a la alta cobertura del suelo proporcionada por la planta, lo que determina el porcentaje de aumento entre las dos variables. En el caso de la estevia, este fenómeno puede atribuirse a la capacidad que tiene la planta en estas etapas fenológicas de cubrir el suelo, reduciendo la evaporación, lo que permite mayor almacenamiento de agua reduciendo la frecuencia de aplicación. En la etapa de cosecha y senescencia la ET_o estuvo entre 8 y 24% por encima de la ET_c . Se encontró una baja relación ($R^2 = 0,43$) entre la ET_o y la ET_c registrada debido posiblemente al ataque de plagas en las hojas de la planta en la etapa de crecimiento y desarrollo (Figura 3b).

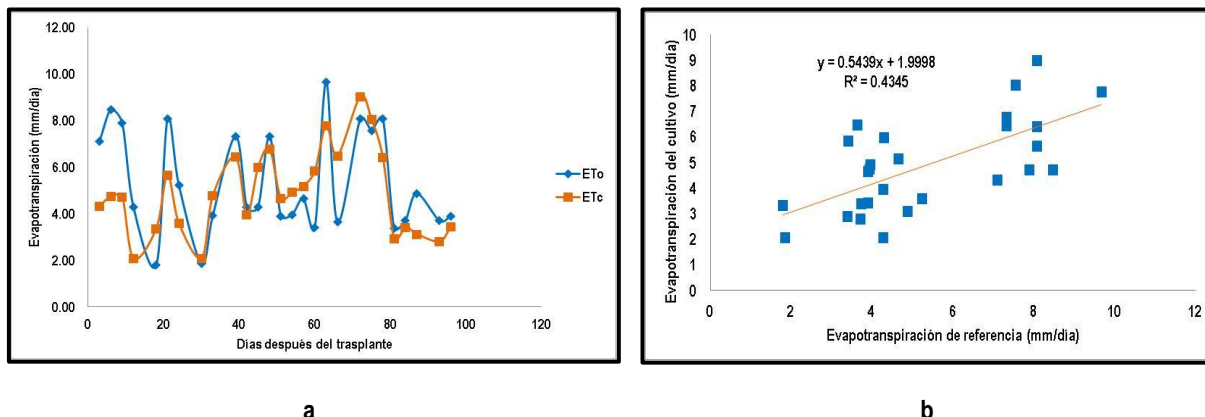
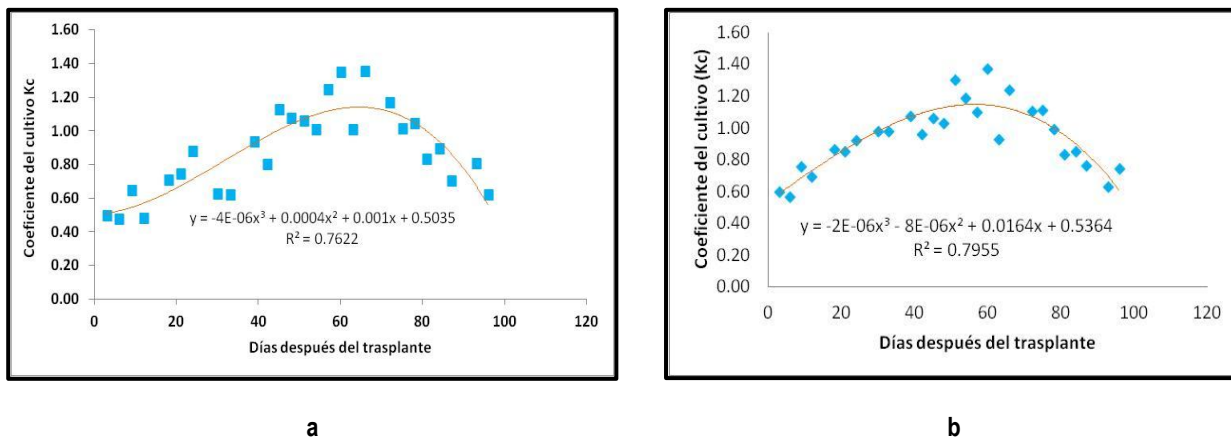


Figura 3. (a) Comportamiento de la evapotranspiración de referencia (ETo) y las necesidades hídricas del cultivo (ETc) durante el experimento realizado en un cultivo de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.) en el Valle del Cauca Colombia. (b) Regresión lineal encontrada entre ETo y ETc ($F = 19,21$; $p \leq 0,001$).

3.4.3. Determinación del coeficiente del cultivo (Kc) para estevia

El comportamiento del Kc en el tiempo siguió modelos polinomiales de orden tres, cuyos coeficientes de regresión no lineal fueron altamente significativos ($P < 0,001$) y estuvieron entre 0,76 y 0,84 (Figura 4). Los valores de Kc hallados oscilaron entre 0,48 y 1,35 para el lisímetro 1, entre 0,57 y 1,37 para el lisímetro 2 y entre 0,54 y 1,35 para el lisímetro 3. En promedio, los Kc oscilaron entre 0,55 y 1,36, donde los mayores valores se presentaron en la etapa de senescencia y cosecha. Los resultados obtenidos están por debajo de lo reportado por Fronza y Folegatti, (2003), cuyos valores hallados estuvieron entre 1,16 y 1,45 y por Lavini *et al.*, (2008) que reportaron valores entre 0,85 y 1,14, ambos en condiciones ambientales mediterráneas. No obstante, fueron más altos que los reportados por González *et al.*, (2002), cuyos valores residieron entre 0,25 y 0,82, debido a que fueron hallados en cultivos con cobertura de mulch, que permitió menor pérdida de agua por evaporación.



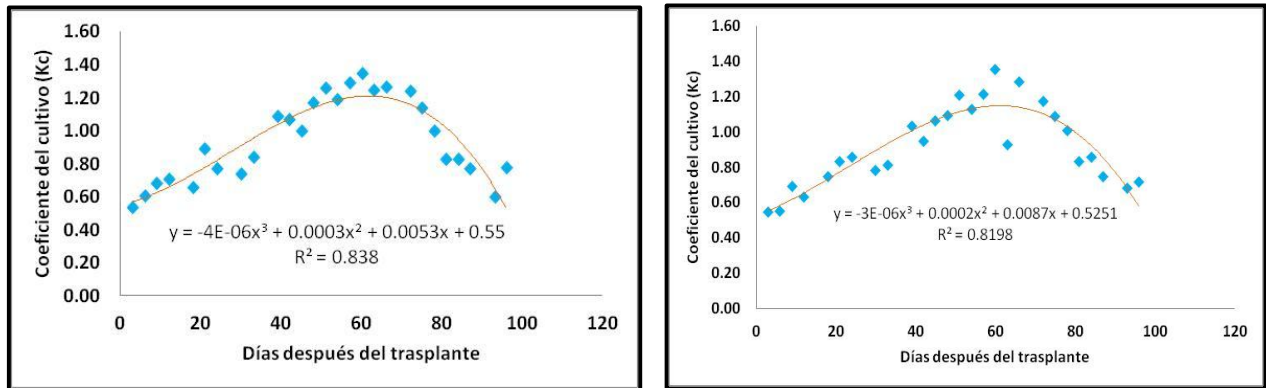


Figura 2. Valores del coeficiente del cultivo de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.) (a) lisímetro 1 (F=24,20 P<0.001). (b) lisímetro 2 (F=29,55; P< 0.001). (c) lisímetro 3 (F=23,78; P< 0.001). (d) promedio (F=33,98; P< 0.001).

Los valores promedio de Kc por etapas fisiológicas de estevia fluctuaron entre 0,85 y 1,24 (Tabla 1). Al analizar por etapas y realizar regresiones lineales, se encontró que los coeficientes de regresión fueron superiores a 0,6; sin embargo, en la etapa de madurez no se consiguió el comportamiento lineal sin pendiente, indicando que los valores de Kc alcanzaron un valor máximo pero no se estabilizaron por un periodo de tiempo prolongado, como es representado en la curva característica sugerida por la FAO y descrita por Allen *et al.*, (2006), sino que en la etapa de madurez los valores fluctuaron entre 0,93 y 1,36 aproximadamente (Figura 5).

Tabla 1. Valores promedio de coeficientes de cultivo (Kc) por etapa fenológica para estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.) cultivada en el Valle del Cauca Colombia.

Etapas (días)	Media de Kc	Intervalo de confianza (95%)		R²	Valor de F (P)	C.V. %
		Límite inferior	Límite superior			
3 - 54	0,86	0,75	0,98	0,91	150,64 (<0.001)	24,37
55 - 72	1,24	1,14	1,34	0,34	0,44 (0,56)	6,53
73 - 96	0,85	0,71	0,99	0,81	21,87 (0,005)	17,71

C.V.= coeficiente de variación.

Similares resultados fueron reportados por Daza *et al.*, (2015) quienes encontraron que las láminas de riego calculadas con un Kc de 1,2 fueron los que proporcionaron mejores resultados agronómicos en comparación con Kc de 1,0 y 1,1; sin embargo, este valor al ser utilizado para todo el ciclo del cultivo puede inducir pérdidas de nitratos por lixiviación y no lograr altos rendimientos (Daza *et al.*, 2015). Reis *et al.*, (2015) utilizaron coeficientes de cultivo de 1,0 para calcular láminas de riego con agua de diferentes calidades y encontraron que no tuvieron efecto negativo en la cosecha, cuando la conductividad eléctrica del agua de riego estaba por debajo de 2 dS m⁻¹. El consumo de agua reportada por estos autores estuvo entre 3,44 y 7,68 mm día⁻¹, láminas similares a las encontradas en el presente trabajo.

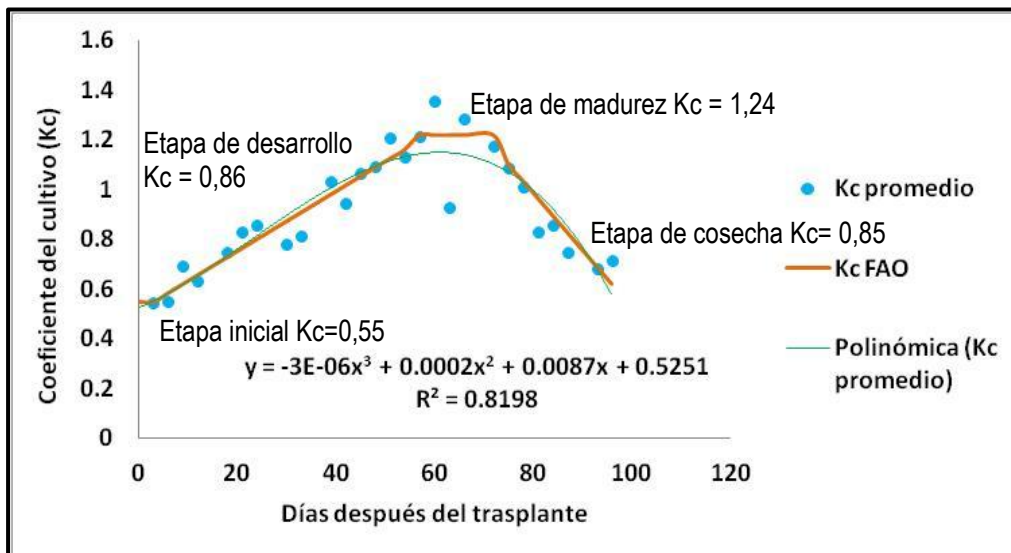


Figura 3. Curva promedio del coeficiente de cultivo (K_c) para estevia (*Stevia rebaudiana* Bertonii.).

En la etapa de crecimiento y desarrollo de estevia el consumo promedio de agua fue de $4,57 \text{ mm día}^{-1}$ (233,07 mm), mientras que en su etapa de madurez fue de $7,30 \text{ mm día}^{-1}$ (124,16 mm). A pesar de que el K_c en la etapa de crecimiento y desarrollo es menor, el periodo que dura esta etapa es más largo, lo que lleva a un consumo de 46,73% más de agua que en la etapa anterior. En la etapa de cosecha y comienzo de la senescencia, el consumo de agua fue de $4,28 \text{ mm día}^{-1}$ (98,44 mm en total) reduciendo el consumo hídrico en 20,72% con respecto a la etapa fenológica anterior. En esta última etapa, el consumo de agua es menor y es donde se produce la mayor concentración de metabolitos y azúcares. Estos valores estuvieron por encima de los reportados por González *et al.*, (2002), quienes encontraron consumos de $2,10 \text{ mm día}^{-1}$ en etapa de crecimiento y $6,30 \text{ mm día}^{-1}$ en etapa de madurez de la estevia y fueron similares a los encontrados por Niño *et al.*, (2013) quienes reportaron un consumo promedio diario de 5,60 mm y aseguran que mantener la humedad del suelo entre 0,20 – 0,30 cbar de tensión hídrica (cercana a capacidad de campo), favorece variables agronómicas como longitud de tallo, masa seca foliar y concentración de edulcorantes. También Ramírez, (2011) sostiene que las necesidades hídricas de la estevia son de 5,00 mm diarios, los cuales recomiendan ser aplicados cada tres días si los suelos son arenosos y cada 5 días si son arcillosos.

3.4.4. Necesidades hídricas del cultivo de Albahaca

Los tres lisímetros presentaron resultados similares de necesidades hídricas del cultivo (E_{tc}) (Figura 6). Los datos se distribuyeron normalmente ($P=0,228$) y no se encontraron diferencias entre sus medias ($P=0,962$). Los valores oscilaron entre un máximo de 8,58 mm presentado a los 34 ddt en el lisímetro 1 y un mínimo de 1,78 mm presentado a los 63 ddt en el lisímetro 3. Los coeficientes de correlación de Spearman entre lisímetros ($p < 0,01$) estuvieron entre 0,88 y 0,92.

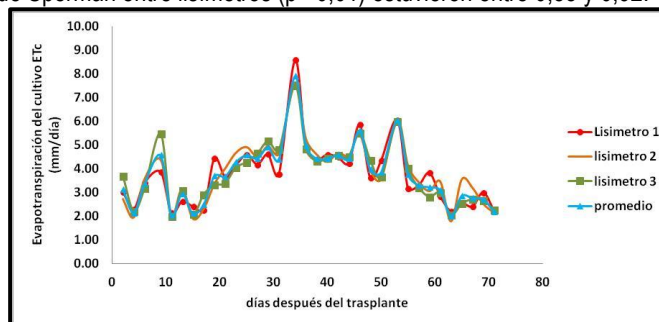


Figura 4. Variación de las necesidades hídricas del cultivo (E_{tc}) en el periodo de crecimiento de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) en lisímetros de drenaje.

El mayor consumo de agua de la albahaca genovesa se presentó hacia el final de la etapa de crecimiento y desarrollo y en la etapa de maduración. Generalmente en las etapas iniciales de los cultivos, la transpiración es baja debido a que el área foliar es más pequeña, por lo tanto la mayor pérdida de agua se le atribuye en mayor proporción a la evaporación del suelo que a la transpiración de la planta (Allen *et al.*, 2006). En la primera etapa (crecimiento y desarrollo) se presentaron precipitaciones y altas temperaturas, que favorecieron la evaporación del agua del suelo, puesto que el experimento se llevó a cabo terminando el primer periodo de lluvias en el año e iniciando la época seca, comportamiento propio de las condiciones tropicales de Colombia. A medida que la planta creció, el consumo de agua aumentó, debido a su mayor demanda hídrica para favorecer la producción de biomasa y la formación de flores, aumentando la transpiración. A pesar de la alta capacidad de retención de humedad del suelo, la lámina almacenada fue insuficiente para suplir la demanda de la planta, por lo que se hizo necesaria la aplicación del riego con una frecuencia entre dos y tres días. Hacia la etapa de senescencia, la ET_c disminuyó a valores similares a los registrados en las etapas iniciales. El promedio de la ET_c registrada durante la etapa de estudio fue de $3,79 \text{ mm día}^{-1}$ y el consumo total de agua durante el ciclo del cultivo fue de $269,38 \text{ mm}$ equivalentes a $2693,80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, valores por debajo del consumo registrado para otros cultivos de la región como caña de azúcar ($10300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), maíz ($3600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y soya ($3400 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) (Pérez *et al.*, 2011) e inclusive de cultivos de albahaca púrpura en Turquía ($12120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) (Ekren *et al.*, 2012) y azafrán en Iran ($6700 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) (Azizi-Zohan, *et al.*, 2008).

El comportamiento de la ET_c y ET_o siguieron tendencias similares aunque los valores de ET_o siempre estuvieron por encima de la ET_c (Figura 7a). Los valores de ET_c representados es el promedio diario de los tres lisímetros y el valor de ET_o es el registrado a las misma hora por la estación meteorológica. Los valores extremos de ET_o estuvieron entre $4,49$ y $13,26 \text{ mm}$ a los 11 y 34 ddt respectivamente, mientras que los de ET_c estuvieron entre $2,01$ y $7,91 \text{ mm}$ a los 63 y 34 ddt correspondientemente. En la etapa de inicio ($0 - 25 \text{ ddt}$) la ET_o estuvo entre 40% y 60% por encima de la ET_c mientras que en la etapa de madurez, donde se evidenció mayor demanda de agua, estuvo entre 35% y 47% por encima de ET_c . En la etapa de senescencia la ET_o estuvo entre 47% y 67% por encima de la ET_c . En la mayoría de los cultivos, en las primeras etapas la ET_o es mayor que la ET_c , debido a que el área foliar es más pequeña Fronza y Folegatti, (2003). En el presente estudio, el agua se suministró por probeta obteniéndose resultados de similar tendencia entre ET_c y ET_o , con un coeficiente de regresión de $0,75$ (Figura 7b). Las plantas de albahaca al no cubrir completamente el suelo, favorecieron la evaporación de agua, siendo mayor que la transpiración y la ET_c permaneció por debajo de ET_o .

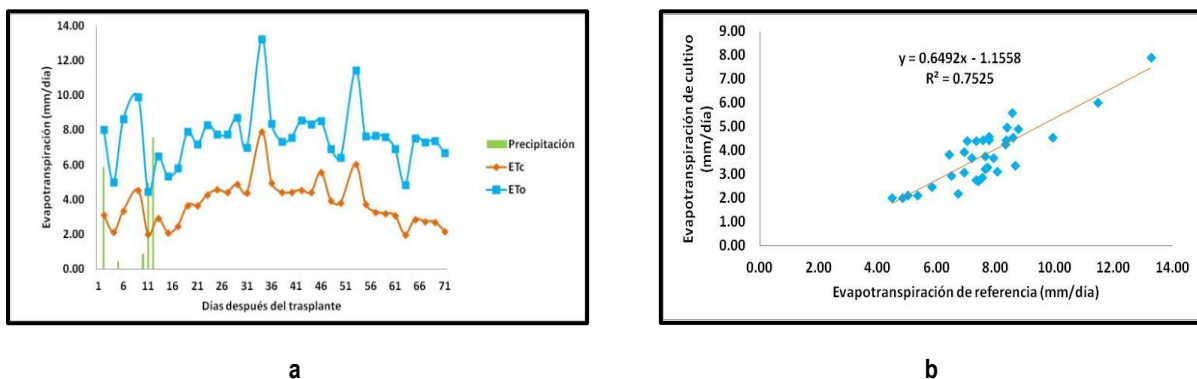


Figura 5. (a) Comportamiento de la evapotranspiración de referencia (ET_o) y necesidades hídricas del cultivo (ET_c) durante el experimento realizado en un cultivo de albahaca (*Ocimum Basilicum* L.) en el Valle del Cauca Colombia. (b) Regresión lineal encontrada entre ET_o y ET_c .

3.4.5. Determinación del coeficiente del cultivo (K_c) para albahaca

Los valores hallados de K_c en los tres lisímetros fueron similares donde el modelo polinomial de grado tres presentó el mejor ajuste, con coeficientes de regresión entre $0,66$ y $0,73$ altamente significativos ($P < 0,001$) (Figura 8). Los mayores valores de K_c ($0,66 - 0,68$) se hallaron en la etapa de madurez ($46 - 50 \text{ ddt}$) y los valores más bajos ($0,33 - 0,31$) en etapa de senescencia y cosecha de hoja ($67 - 71 \text{ ddt}$). Estos valores hallados están por debajo de los reportados por Delgado y Daza (2012) quienes encontraron que el coeficiente $1,1$ fue el que mejor resultado brindó en el análisis de características agronómicas de planta,

aunque sin diferencias significativas con valores de coeficientes iguales a 0,8. Estas diferencias pueden deberse a que el experimento de Delgado y Daza (2012) se desarrolló en condiciones de invernadero, con ensayos de prueba y error, donde se probaron diversos valores de Kc sin realizar balances hídricos, mientras que el hallado en el presente estudio fue en condiciones de campo teniendo en cuenta dichos balances. El promedio de los resultados obtenidos en los tres lisímetros mostró una curva que sigue un modelo polinomial de orden tres con un coeficiente de regresión de 0,81.

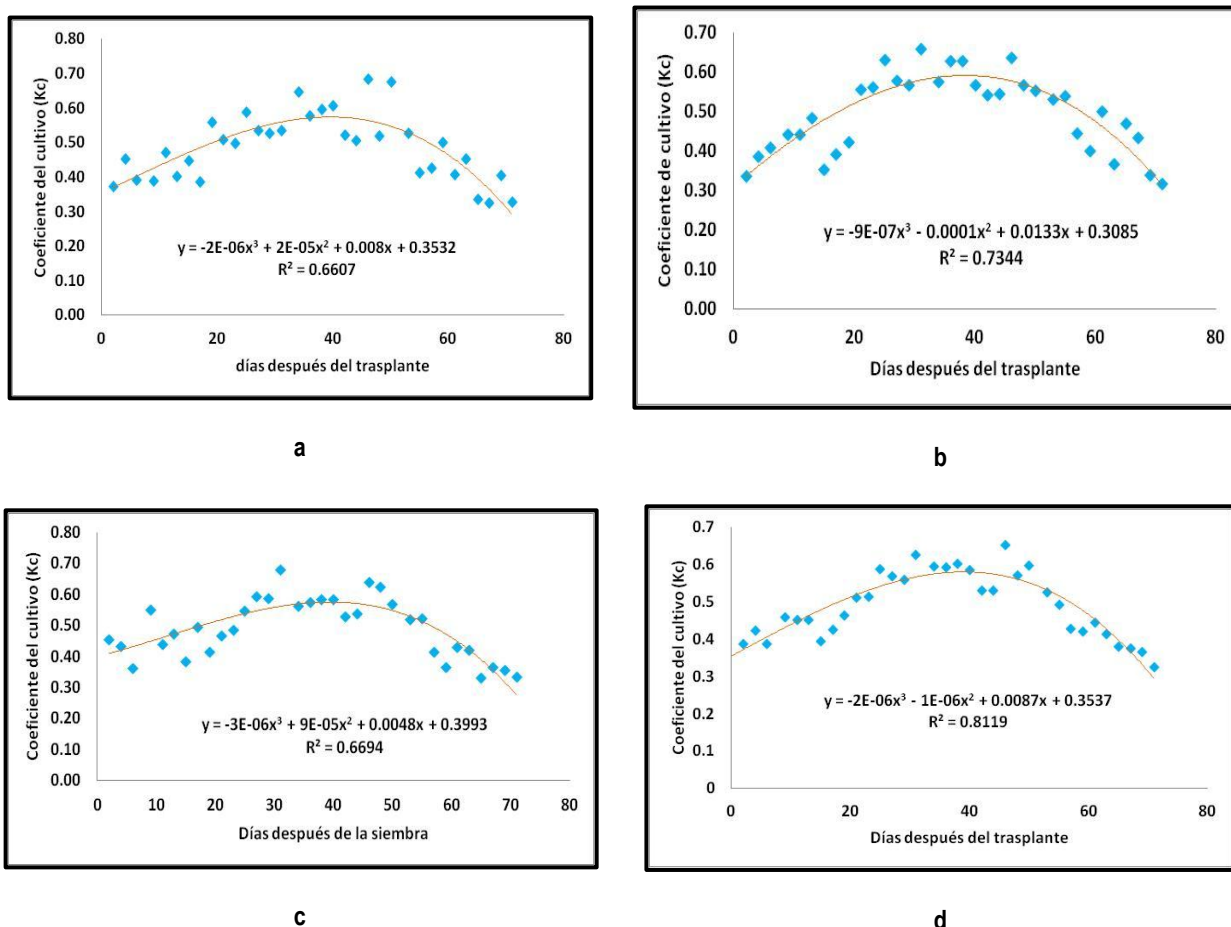


Figura 6. Valores del coeficiente del cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). (a) lisímetro 1 ($F = 20,30$; $P < 0.01$). (b) lisímetro 2 ($F = 27,03$; $P < 0.01$). (c) lisímetro 3 ($F = 21,31$; $P < 0.01$). (d) promedio ($F = 42,85$; $P < 0.01$).

Los valores de Kc para las etapas fisiológicas de la albahaca genovesa estuvieron entre 0,42 y 0,59 (Tabla 2). Los valores alcanzados por etapa mostraron baja variabilidad con aceptable precisión, como lo muestra los coeficientes de variación. Al analizar por etapas y realizar regresiones lineales, las etapas de crecimiento y desarrollo y senescencia obtuvieron coeficientes de regresión superiores a 0,6 mientras que en la etapa de madurez no se consiguió el comportamiento lineal, indicando que, al igual que la estevia, los valores de Kc alcanzaron un valor máximo pero no se estabilizó por un periodo de tiempo prolongado, como es representado en la curva característica sugerida por la FAO y descrita por Allen *et al.*, (2006), sino que en la etapa de madurez los valores fluctuaron entre 0,5 y 0,6 aproximadamente (Figura 9).

Tabla 2. Valores promedio de coeficientes de cultivo (Kc) por etapa fenológica para albahaca genovesa (*Ocimum Basilicum* L.) cultivada en el Valle del Cauca Colombia.

Etapas (ddt)	Media de Kc	Intervalo de confianza (95%)		C.V. %	R ²	F(p)
		Límite inferior	Límite superior			
1 - 25	0,46	0,42	0,50	12,8	0,65	18,34 (<0,01)
26 - 50	0,59	0,56	0,61	6,10	0,01	0,00 (0,98)
50 -71	0,42	0,38	0,46	14,05	0,89	60,94 (<0,01)

ddt: días después del trasplante; C.V. coeficiente de variación

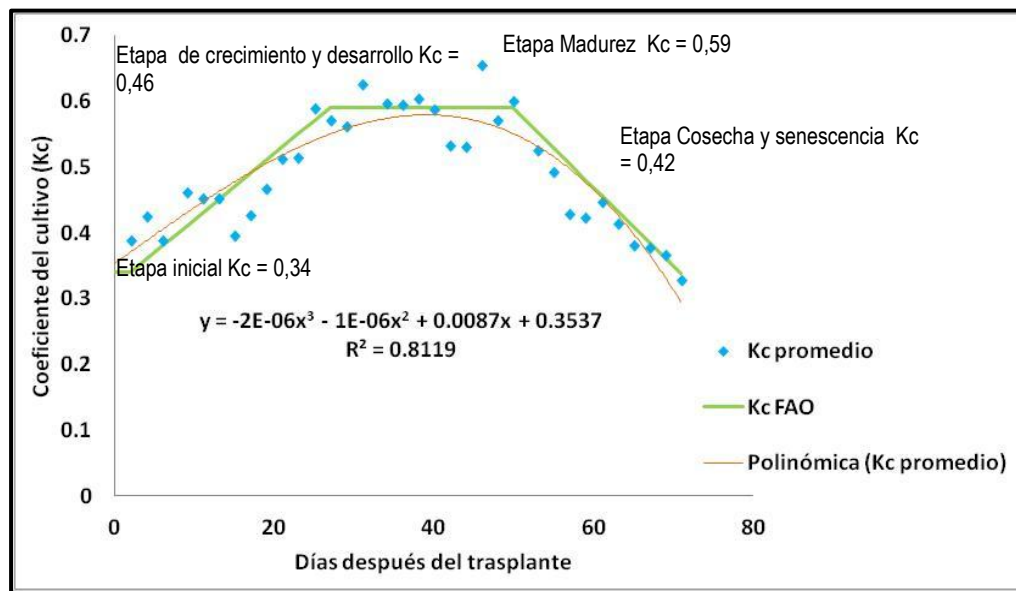


Figura 7. Curva promedio del coeficiente de cultivo (Kc) para albahaca (*Ocimum basilicum* L.).

Se han reportado valores de Kc, similares a los hallados en el presente estudio, para diferentes cultivos como por ejemplo: 0,65 para cebolla (López-Urrea *et al.*, 2009), 0,22 – 1,05 para azafrán (Azizi-Zohan *et al.*, 2008), 0,55 – 1,09 para lechuga (Fernández-Pacheco *et al.*, 2014), 0,52 – 1,09 para melón (Shukla *et al.*, 2014), 0,82 para coliflor y 0,70 para col roja (Sahin *et al.*, 2009). Así mismo López-Urrea *et al.*, (2012) encontraron valores de Kc entre 0,60 y 0,75 para viñedos de tempranillo y los menores valores fueron hallados en el año donde se presentó la menor cobertura del suelo. Este fenómeno se atribuyó a que el componente de evaporación del suelo de la ETc después de aplicaciones de agua (precipitación o riego), puede ser alto al inicio del crecimiento, cuando la fracción de cobertura vegetal es mínima. Los bajos valores de Kc también puede atribuirse a que algunas plantas pueden desarrollar mecanismos de resistencia a la sequía, lo que se traduce en menor consumo de agua, como es el caso del cereal tef (*Eragrostis tef*) cultivado en zonas secas de Africa, cuyos valores de Kc varían entre 0,4 en etapa de senescencia y 1,0 en la etapa de madurez (Araya *et al.*, 2011). Sin embargo, Ojeda-Silvera *et al.*, (2013) estudiaron 20 variedades de albahaca y encontraron que la variedad genovesa es una de las que menos resistencia presenta al estrés hídrico, en especial en sus etapas tempranas de crecimiento, puesto que afecta directamente la elongación y división celular.

3.4.6. Fertilización nitrogenada para estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.)

Para los tres momentos de la determinación de la lixiviación, la cantidad de amonio lixiviado fue menor que la cantidad de nitrato (Tabla 3). La pérdida de N por lixiviación estuvo entre 9,98 y 32,00 mg/L a los 29 ddt, encontrándose diferencias significativas entre las dosis aplicadas. La menor pérdida de amonios ocurrió para la mayor dosis evaluada, mientras que la mayor pérdida, ocurrió sin diferencia significativa para las demás dosis. Caso contrario ocurrió con el nitrato donde las mayores dosis (150 y 200 kg/ha) fueron las que presentaron la mayor lixiviación.

A los 85 ddt, no se encontraron diferencias significativas en la lixiviación de amonio, cuyos valores estuvieron entre 2,98 y 6,61 mg/L correspondientes a las dosis de 100 y 0 kg/ha de N aplicado respectivamente. La cantidad de nitratos lixiviados fue menor a los encontrados a los 29 ddt, evidenciando la importancia de la etapa fenológica de la planta y el desarrollo de sus raíces en la absorción y la lixiviación de N-NO₃.

Tabla 3. Efecto de la dosis de fertilizante nitrogenado en la lixiviación de amonio, nitrato y total amoniacal a los 29, 85 y 115 días después del trasplante (DDT) en estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.)

Tratamientos	29 DDT			85 DDT			115 DDT		
	NH ₄ ⁺ mg/L (F= 2,24; P=0,14)*	NO ₃ ⁻ mg/L (F=7,17; P=0,00)**	N-amoniacal mg/L (F= 4,62; P=0,02)*	NH ₄ ⁺ mg/L (P= 0,138)***	NO ₃ ⁻ mg/L (F=1,74; P=0,22)****	N-amoniacal mg/L (P=0,37)***	NH ₄ ⁺ mg/L (P=0,20)***	NO ₃ ⁻ mg/L (P=0,31)***	N-amoniacal mg/L (P=0,37)***
T	7,26±3,03a	9,46±4,18b	16,72±7,19ab	6,61±3,90a	4,92±3,19b	11,54±7,07a	1,04±0,13a	2,72±0,90a	3,76±0,91a
T50	3,11±0,23ab	7,52±0,91b	10,63±1,13b	3,24±0,57a	12,05±2,34ab	15,29±1,88a	1,68±0,25a	3,24±0,26a	4,92±0,26a
T100	3,11±0,23ab	6,87±1,37b	9,98±1,53b	2,98±0,52a	7,78±2,17ab	10,76±2,52a	2,20±0,26a	4,02±0,26a	6,22±0,45a
T150	4,80±0,72ab	27,22±2,37a	32,00±2,79a	4,93±0,13a	13,09±5,71ab	18,02±5,77a	2,33±0,39a	6,22±2,92a	8,56±3,14a
T200	1,81±0,13b	26,70±7,11a	28,52±7,18a	4,80±0,72a	16,46±2,52a	21,26±3,03a	2,46±0,47a	2,33±0,59a	4,80±1,03

Letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre las medias. *Comparación de medias por la prueba de Duncan al 95% **Comparación de medias por la prueba de Dunnet al 95%. *** Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis y comparación de medianas. **** Comparación de medias por la prueba de Dunnet al 90%.

La dosis de 200 kg/ha fue la que presentó la mayor lixiviación de nitrato, pero sin diferencias significativas con las demás dosis, con excepción del testigo. A los 115 ddt se realizó la última medición antes de la primera cosecha y se encontró que la concentración de amonio y nitrato lixiviados fue aun menor, sin diferencias significativas entre los tratamientos.

Cabe destacar que la concentración de amonios en los lixiviados fue encontrada a los 85 ddt en todos los tratamientos, mientras que la de nitratos disminuyó entre el 40% y 90% con el tiempo. A pesar de que las concentraciones halladas en todos los tratamientos no superaron la máxima concentración recomendada por la OMS de 50 mg L⁻¹ de nitratos (Arauzo y Valladolid, 2013), la presencia de N en los lixiviados implican disminución en las eficiencias de la fertilización nitrogenada y aumento en los costos de producción.

Los volúmenes de lixiviados recolectados en el periodo de seguimiento del cultivo no presentaron diferencias significativas entre las dosis aplicadas, en ningún momento de medición, ni en el total del volumen lixiviado (Figura 10). Los valores hallados estuvieron por debajo de los 400 mL, lo que se considera bajo, lo que se debió al uso de las constantes del cultivo en la determinación de las láminas de riego, en función de la etapa fenológica correspondiente. La lixiviación presentada pudo deberse posiblemente a la presencia de flujos preferenciales, que aparecen en los procesos de secado y humedecimiento en presencia de arcillas expansivas, que alteran la porosidad estructural del suelo (Cerisola *et al.*, 2005).

La pérdida de nitrato total en unidades de kg/ha no fue directamente proporcional con las dosis de N suministrado como se esperaba (Figura 11). Se encontró una relación matemática polinómica de segundo orden con alto coeficiente de regresión entre estas dos variables. Hallando el máximo a la ecuación encontrada, una dosis de 94 kg/ha es la que mayor pérdida de nitratos se produce (1,43 kg/ha), la cual es baja en comparación con estudios relacionados con la lixiviación de nitratos (Arias *et al.*, 2009).

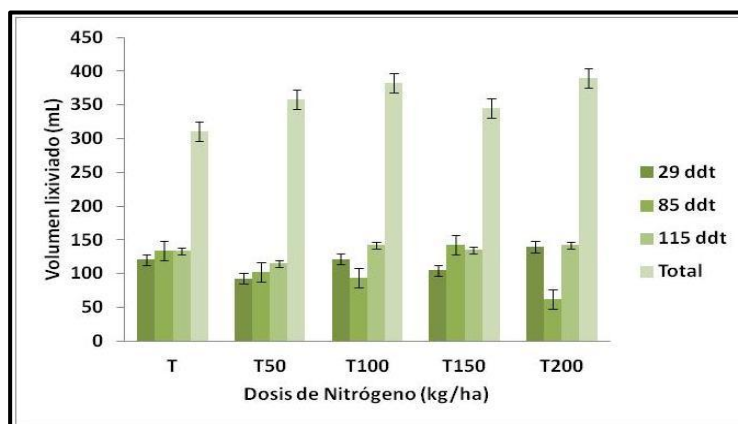


Figura 8. Volumen lixiviado a los 29 días después de la siembra (ddt) ($F=0,29$; $P=0,88$), a los 85 ddt ($F=2,85$; $P=0,08$), a los 115 ddt ($F=2,28$; $P=0,13$) y el total recolectado ($F=0,55$; $P=0,70$) en estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.).

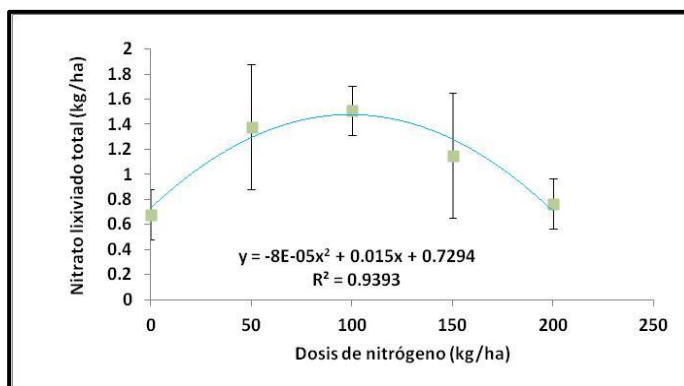


Figura 9. Relación entre la dosis aplicada y la lixiviación de nitrato en estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.). Las barras indican el error estándar al 95%.

El efecto de la aplicación de diferentes dosis de N en algunas características agronómicas de la estevia se puede apreciar en la tabla 4. Las dosis de 100, 150 y 200 kg/ha presentaron los mayores valores de altura de planta, diámetro del tallo, masa fresca y seca, porcentaje de materia seca y rendimientos.

La altura de la planta estuvo entre 57,7 y 102,7 cm de altura para el testigo y la dosis de 100 kg/ha respectivamente. Las menores alturas halladas fueron para las dosis extremas (0 y 200 kg/ha) sin diferencia entre ellas. La dosis de 100 kg/ha obtuvo la mayor altura de planta, con 45 cm por encima de las plantas del testigo y entre 15 y 25 cm por encima de las otras dosis. Los valores obtenidos estuvieron por encima de los reportados por Zetina *et al.*, (2014) (28,5 cm), Gusqui *et al.*, (2010) (60 cm) y Salgado (2013) (57,8 cm).

Los diámetros de tallo estuvieron entre 4,28 y 4,77 mm sin diferencia entre tratamientos. No se encontró ningún efecto de la dosis aplicada en esta variable agronómica. Los valores hallados estuvieron por debajo de los reportados por Gusqui *et al.*, (2010) quienes encontraron valores por encima de los 9 mm, cuando usaron vermicompost en dosis de 5 Mg/ha. De igual manera Salgado (2013) reportó valores de diámetro de tallo de alrededor de 7 mm a los 70 ddt usando dosis de 130 kg/ha de nitrato como nutrición a plantas de estevia variedad Eirete. Sin embargo, Zetina *et al.*, 2014, hallaron con la aplicación de 350 mg/kg de N, diámetros de tallo de 4,85 mm, valores similares a los hallados en el presente estudio. Estas diferencias encontradas pudieron deberse a la ocurrencia de altas temperaturas durante el periodo experimental, que hicieron que la planta presentara mayor elongación de tallo y menor desarrollo de diámetro.

Tabla 4. Efecto de la aplicación de dosis de nitrógeno en variables agronómicas de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.).

Tratamiento	Altura de planta (cm)*	Diámetro de tallo (mm)*	Masa fresca aérea total (g/planta)*	Masa seca aérea total (g/planta)**	Porcentaje de masa seca *	Rendimiento de hoja fresca (Mg/ha)**	Rendimiento de hoja seca (Mg/ha)**
T	57,7±0,04b	4,77±0,19a	47,10±1,57ab	15,93±1,09ab	33,76±1,23ab	5,24±0,17bc	1,77±0,12b
T50	93,7±0,07a	4,50±0,06a	25,86±1,32b	12,17±2,15b	27,68±2,66b	4,10±0,79c	1,72±0,16b
T100	102,7±0,07a	4,77±0,23a	61,97±4,89a	20,60±3,18a	32,85±2,81ab	6,89±0,54a	2,29±0,35ab
T150	89,0±0,08a	4,28±0,34a	52,67±5,53ab	16,97±1,92ab	32,18±0,67ab	5,85±0,61ab	1,88±0,21ab
T200	79,0±0,03ab	4,48±0,19a	59,03±5,30ab	22,17±2,11a	37,55±1,24a	6,56±0,59ab	2,46±0,24a
F	7,66	0,88	3,98	3,25	3,39	3,71	2,05
P	0,00	0,51	0,04	0,06	0,05	0,04	0,16

Promedio de tres repeticiones ± error estándar. *Comparación de medias por la prueba de Tukey (95%). ** Comparación de medias por la prueba de Duncan (90%).

La masa fresca estuvo entre 25,9 y 61,9 g/planta correspondientes a T50 y T100 respectivamente mientras que la masa seca estuvo entre 12,17 y 22,17 correspondientes a T50 y T200 respectivamente. Las dosis de T. 100, 150 y 200 kg/ha no presentaron diferencias significativas entre sus resultados de masa fresca y seca, pero si fueron diferentes de la dosis de 50 kg/ha. La dosis que mayor valor obtuvo de masa fresca fue la de 100 kg/ha y estuvo 24,0% y 58,3% por encima de los tratamientos T50 y testigo respectivamente. En cuanto a la masa seca fue la dosis de 200 kg/ha la que obtuvo mejor resultado, obteniendo 45,1%, 28,1% y 23,5% más de peso que T50, testigo y T150 respectivamente. Los resultados obtenidos estuvieron por debajo de los reportados por Salgado (2013), quien reportó masas frescas de hasta 112,3 g/planta a dosis de N superiores a las utilizadas en el presente estudio. Zetina *et al.*, (2014) obtuvo valores de masa seca por debajo de los hallados, entre 3,28 y 9,15 g/planta con aplicaciones de 350 mg/kg. Daza *et al.*, (2015) usando fertilizantes de liberación lenta y orgánicos encontraron valores similares de masa seca, entre 10,8 y 24,7 para dosis de 200 kg/ha de N aplicado en urea y 300 kg/ha de N aplicado con gallinaza respectivamente.

Los rendimientos de hoja fresca estuvieron entre 4,10 y 6,89 Mg/ha para los tratamientos T50 y T100 respectivamente. Las dosis de 100, 150 y 200 kg/ha no presentaron diferencias significativas entre ellas pero si fueron diferentes del Testigo y T50. La dosis que mayor rendimiento obtuvo de masa fresca fue la de 100 kg/ha y estuvo 40,5% y 23,9% por encima de T50 y T100. Los rendimientos de hoja seca estuvieron entre 1,72 y 2,46 Mg/ha para T50 y T200 respectivamente. Al igual que en la masa fresca, no se encontraron diferencias significativas entre dosis pero si las hubo con el testigo y T50. El mayor valor hallado fue para T200, cuyo rendimiento estuvo 30,1% y 28,0% por encima de T50 y testigo respectivamente. Resultados más altos fueron hallados por Daza *et al.*, (2015) quienes encontraron valores de rendimiento entre 3,5 y 7,7 Mg/ha para dosis de 200 y 300 kg/ha con el uso de fertilizantes de liberación lenta. De igual manera Yang *et al.*, (2013) obtuvieron rendimientos de hasta 4,5 Mg/ha al utilizar dosis de N de 225 kg/ha y Gusqui *et al.*, (2010) alcanzaron 2,9 Mg/ha con 50 Mg/ha de vermicompost. Salgado (2013) encontró rendimientos de 2,78, 4,05 y 5,06 Mg/ha para dosis de N de 118, 172 y 215 kg/ha de N respectivamente.

El porcentaje de N foliar promedio hallados estuvieron entre 1,36% y 2,46% correspondientes a los tratamientos testigo y T50 respectivamente (Figura 12). De acuerdo con Osorio (2014) los contenidos de NF en general para las plantas están en el orden de 2 y 6%. Borda Molina *et al.*, (2011) han reportado contenidos de NF para estevia entre 1,92% y 2,20 %, valores similares a los de Salgado (2013) quien encontró valores entre 1,8% y 2,8%. Así mismo Daza *et al.*, (2015) reportaron valores entre 0,7% y 2,12% sin diferencias significativas entre dosis ni fuentes de abonos de rápida y lenta liberación, ni entre aquellos orgánicos y de síntesis química. La dosis de 50 kg/ha fue la que obtuvo el mayor porcentaje pero sin diferencias significativas con las dosis mayores.

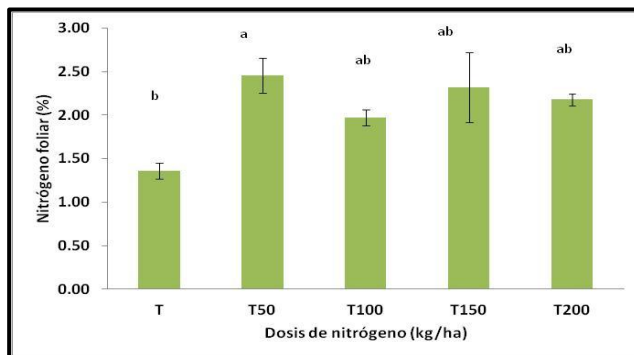


Figura 10. Contenido de nitrógeno foliar en plantas en función de la dosis de aplicación de nitrógeno en estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.). Prueba de comparación de medias por la prueba de Tukey al 95%. Las barras indican el intervalo de confianza para la media con confiabilidad del 95% ($F=4,16$; $P=0,03$).

La extracción de N por parte de las plantas estuvo entre 26 y 54 kg/ha correspondientes a las dosis de 0 y 200 kg/ha respectivamente (Figura 13). Al relacionar la extracción de N por las plantas y las dosis aplicadas se encontró una relación polinomial de orden 2. A medida que se aumentó la dosis, las plantas de estevia realizaron una mayor extracción. Sin embargo, los valores extraídos no fueron estadísticamente diferentes, aunque la dosis de 200 kg/ha si obtuvo la mayor extracción. De acuerdo a la ecuación hallada, la máxima extracción de N por las plantas ocurriría a una dosis de 226 kg/ha, para luego descender nuevamente.

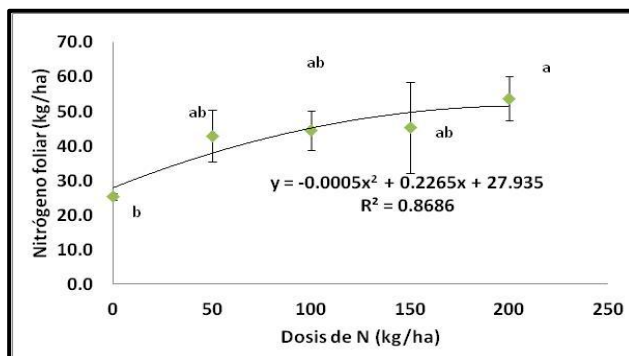


Figura 11. Relación entre la dosis de nitrógeno aplicada y el contenido foliar de nitrógeno en estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.). Prueba de Duncan al 95% ($F=1,78$; $P=0,21$). Regresión polinomial de segundo orden ($F=6,67$; $P=0,13$).

Después de 115 ddt una vez se realizó la cosecha se determinaron el estado final de algunas propiedades químicas del suelo (Tabla 5). No se encontraron diferencias significativas en los valores de pH, los cuales estuvieron entre 6,17 y 6,51 clasificados como ligeramente ácidos, aunque si fueron más bajos del valor inicial (7,47). La presencia de la planta y la absorción de nutrientes contribuyeron a la acidificación del suelo. Los valores de pH alcanzados son adecuados ya que se incrementa la disponibilidad de nutrientes esenciales para la planta.

Los valores de CE estuvieron entre 0,29 y 0,40 dS/m sin diferencias significativas entre dosis aplicadas ni con el testigo y son valores deseables para la mayoría de los cultivos (González *et al.*, 2015). Los volúmenes de lixiviación producidos en las distintas dosis no ocasionaron diferencias en la concentración de sales en la solución del suelo. Jácome *et al.*, (2013) encontraron que la CE disminuyó después de la aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos en un cultivo de frijol y afirmaron que la principal razón de esta situación obedece a la absorción de aniones y cationes formadores de sales por las plantas.

Los niveles de materia orgánica estuvieron entre 2,50% y 2,79% sin diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo cabe resaltar que se presentó un leve incremento en su valor en comparación con el inicial (2,32%). Este aumento pudo deberse a la presencia de la planta y al aporte de sustancias orgánicas que pudieron activar la actividad microbiana, aumento un poco

este nivel. A pesar de no ser significativamente diferentes, fueron las dosis de 100 y 150 kg/ha las que mostraron mayor valor de materia orgánica.

Los niveles finales de N total del suelo estuvieron entre 0,034% y 0,046% catalogados como bajos (González *et al.*, 2015). No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos y explica los niveles adecuados de N foliar hallados. Gran parte de este N en el suelo se encuentra en formas orgánicas tal como se intuye de los valores de materia orgánica, con un contenido de N menor al 5% (Blanco, 2003). Pero existe otro porcentaje aportado por la urea que se encuentra en formas disponibles solubles, que son susceptibles de adsorberse en el complejo de cambio del suelo en forma de amonio, ser absorbido por la biota del suelo y aprovechado por cultivos posteriores o puede ser lixiviado.

Tabla 1. Efecto de la aplicación de dosis de nitrógeno en propiedades del suelo a los 56 ddt en estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.).

Tratamiento	pH	C.E. (dS m ⁻¹)	M.O (%)	NT (%)
T	6,39±0,05a	0,40±0,13a	2,62±0,04a	0,034±0,02a
T50	6,46±0,08a	0,32±0,07a	2,69±0,03a	0,036±0,01a
T100	6,36±0,01a	0,29±0,05a	2,77±0,14a	0,038±0,00a
T150	6,51±0,02a	0,40±0,13a	2,79±0,12a	0,046±0,01a
T200	6,17±0,05a	0,36±0,01a	2,50±0,04a	0,044±0,01a
F	1,66	0,29	1,85	0,75
P	0,24	0,88	0,20	0,58

Promedio de tres repeticiones de la concentración de hidrógeno ± error estándar. Comparación de medias por la prueba de Tukey (95%). Letras iguales quiere decir que no hay diferencias significativas entre tratamientos.

Una tendencia a aumentar el NTS con la dosis puede ser observada en la figura 14. Si bien es cierto que este NT podría ser aprovechado por cultivos siguientes, también es de alto riesgo su presencia, ya que mediante los procesos de mineralización, se promueve la formación de NO₃⁻ y es susceptible a lixiviación. A pesar de que las altas dosis permite mayor acumulación de NT en el suelo, esto no se vió reflejado sustancialmente en la absorción del N por parte de la planta ni en el rendimiento de la misma. Prueba de lo anterior es posible evidenciar al calcular las eficiencias de utilización del N. De acuerdo con Dobermann (2007), la eficiencia aparente de recuperación (ER) esta del orden de 0,3 a 0,5 para cereales y para sistemas bien manejados pueden alcanzar valores de 0,8 (Figura 15). Para el caso de la estevia, a menor dosis empleada la eficiencia fue mayor, donde la dosis de 50 kg/ha fue la que obtuvo mejores resultados (0,86), siendo significativamente diferente de las demás dosis; sin embargo, la eficiencia interna de utilización (EI) alcanzada por esta dosis, no fue diferente de las demás, alcanzando valores entre 0,11 y 0,16 Mg de masa fresca por cada kg de N absorbido, por encima de los obtenidos para los cereales.

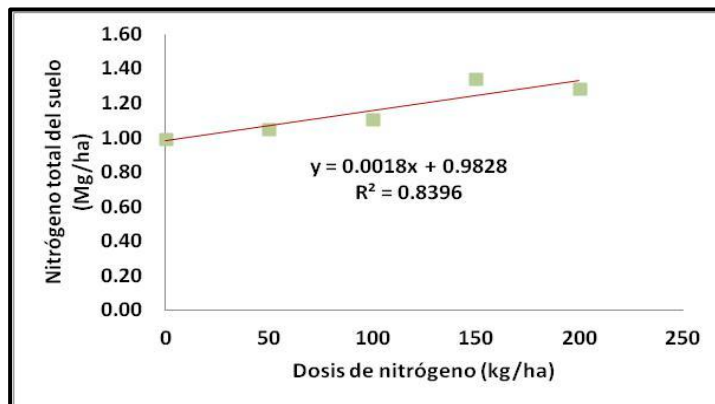


Figura 14. Nitrógeno total del suelo a los 105 ddt obtenido con la variación de dosis de nitrógeno en estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.). Comparación de medias por prueba de Tukey al 95% (F= 0,75; P= 0,58). Regresión lineal. (F=15,70; P=0,03).

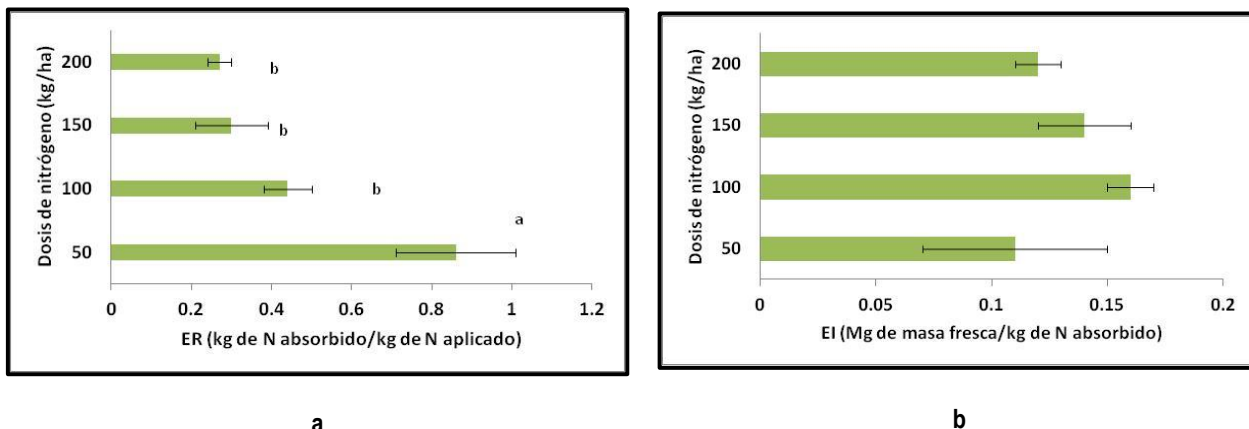


Figura 12. A) Eficiencia aparente de recuperación ($F=8,64$; $P=0,01$) (B) Eficiencia interna de utilización ($F=0,82$; $P=0,52$) del nitrógeno para diferentes dosis de aplicación utilizadas en estevia. (*Stevia rebaudiana* Bertoni.).

De acuerdo a los resultados obtenidos, no fue fácil establecer la mejor dosis para las condiciones de estudio. Sin embargo, la dosis apropiada puede estar entre 50 y 100 kg/ha, al presentar valores de lixiviación de nitratos del orden de 1,4 kg/ha, que es menor al 3% de la aplicación realizada. La dosis de 50 kg/ha presentó los mayores valores de N foliar y por consiguiente, la mejor ER, mientras que la dosis de 100 kg/ha obtuvo los mejores resultados agronómicos de la estevia como rendimiento de hoja y mejor EI.

3.4.7. Plan de fertilización nitrogenada para albahaca (*Ocimum basilicum* L.)

Las concentraciones de amonio y nitrato lixiviados a los 24 ddt estuvieron entre 1,03 y 6,09 mg/L para los primeros correspondientes a T200 y T respectivamente y entre 10,99 y 42,33 mg/L para los segundos, correspondientes a T200 y T respectivamente (Tabla 6). A menor dosis empleada, la lixiviación de amonio es mayor pero la de nitrato aumenta, indicando con esto que los procesos de mineralización del N aumenta con la dosis suministrada, dejando mayor concentración de formas oxidadas solubles de N. Ninguna de las concentraciones de nitratos halladas superó los límites descritos por la OMS de 50 mg/L pero las concentraciones de amonio sí estuvieron por encima de las comúnmente encontradas en aguas superficiales y subterráneas de 0,5 mg/L. El tratamiento testigo fue el que menor cantidad de N-amoniaco perdió por lixiviación sin diferencia significativa con la dosis de 100 kg/ha, pero sí por debajo de los valores alcanzados por las demás dosis.

A los 55 ddt, las concentraciones de amonio y nitrato lixiviados fueron menores, debido a la mayor utilización por la planta y la biota del suelo. Las concentraciones de amonio estuvieron entre 2,50 y 4,14 mg/L, sin diferencias significativas entre tratamientos, mientras que las de nitrato estuvieron entre 5,04 y 19,83 mg/L correspondientes a T y T200 respectivamente para ambos casos. Al igual que en la medición anterior, no se superaron los límites establecidos por la OMS.

Tabla 2. Efecto de la dosis de fertilizante nitrogenado en la lixiviación de amonio, nitrato y total amoniaco a los 24 y 55 días después del trasplante (DDT) en albahaca (*Ocimum basilicum* L.).

Tratamientos	24 DDT			55 DDT		
	NH ₄ ⁺ mg/L ($F=25,91$; $P=0,00$)*	NO ₃ ⁻ mg/L ($F=9,08$; $P=0,02$)*	N-amoniaco mg/L ($F=5,99$; $P=0,01$)*	NH ₄ ⁺ mg/L ($F=2,49$; $P=0,11$)	NO ₃ ⁻ mg/L ($F=4,88$; $P=0,02$)	N-amoniaco mg/L ($F=5,38$; $P=0,01$)
T	6,09±0,01a	10,99±0,84c	17,08±0,83c	2,50±0,47a	5,04±1,52b	7,54±1,18b
T50	2,17±0,07b	34,33±0,85a	36,49±0,78a	3,44±0,30a	9,62±2,31ab	13,06±2,33ab
T100	2,93±0,47ab	30,44±8,41abc	33,38±8,83abc	2,92±0,23a	13,42±2,55ab	16,36±2,77ab
T150	3,27±0,65ab	23,35±1,17b	26,62±0,85b	2,94±0,61a	13,59±1,63ab	16,51±1,39ab
T200	1,03±0,20b	42,33±1,97a	43,36±1,77a	4,14±0,39a	19,83±3,72a	23,98±4,10a

* Diferencias significativas prueba de Dunett 95% de confianza.

Los volúmenes de lixiviados estuvieron entre 450 y 745 ml para los diferentes tratamientos (Figura 16). No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, aunque los volúmenes fueron más altos a los registrados por la estevia. Estas diferencias pudieron deberse a la ocurrencia de flujos preferenciales ocasionados por la presencia de arcillas expansivas. Al utilizar láminas de agua menores, debido a las bajas Kc de la albahaca, baja frecuencia de aplicación del agua, sumado a las altas temperaturas ocurridas durante el experimento que alcanzaron los 38 °C en el invernadero, ocasionaron fenómenos de secado y humedecimiento que dieron paso a la aparición de grietas que favorecieron la lixiviación.

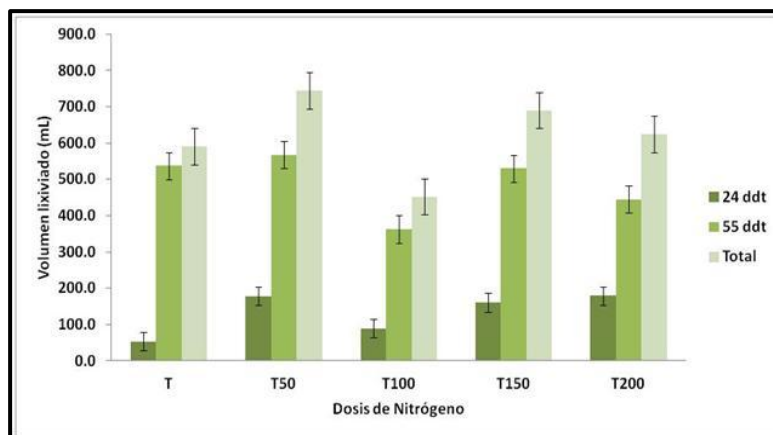


Figura 13. Volumen lixiviado a los 24 días después de la siembra (ddt) ($F=2,12$; $P=0,15$), a los 55 ddt ($F=0,75$; $P=0,58$) y el total recolectado ($F=1,10$; $P=0,41$) en albahaca (*Ocimum basilicum* L.).

En el cultivo de albahaca, la pérdida de nitratos lixiviados resultó directamente proporcionales a las dosis aplicadas (Figura 17). Las dosis empleadas presentaron diferencias significativas en la cantidad de nitrato lixiviado por unidad de área en comparación con el testigo, a excepción de la dosis de 100 kg/ha. La cantidad de nitratos lixiviados estuvieron entre 0,8 y 3,6 kg/ha para el testigo y T200 respectivamente. Sin embargo, al comparar entre la dosis aplicada y el nitrato perdido por lixiviación se encontró que a mayor dosis, el porcentaje de pérdida de nitrato por lixiviación fue menor (5,5% para T50, 2,1% para T100, 1,87% para T150 y 1,82% para T200). Este resultado puede deberse a que las mayores dosis promueven la actividad microbiana del suelo, induciendo a procesos de inmovilización, dejando menos cantidad en el suelo de formas inorgánicas como el nitrato. Sin embargo, es posible que al realizar la evaluación por más tiempo, las pérdidas de nitratos aumenten para las mayores dosis.

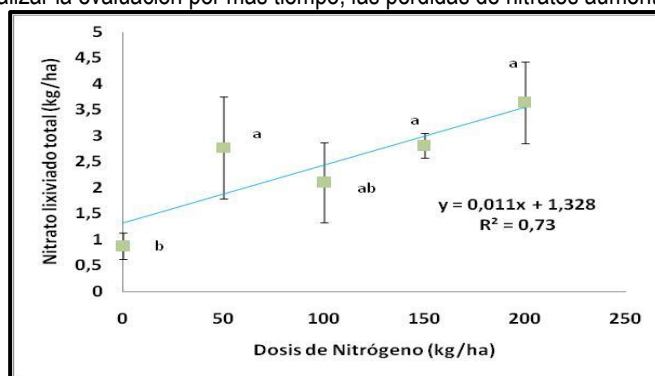


Figura 14. Relación entre la dosis aplicada y la lixiviación nitrato en albahaca (*Ocimum basilicum* L.). Las barras indican el error estándar al 95%. Comparación entre medias por el test de Tukey ($F=2,30$; $P=0,13$). Regresión lineal ($F= 8,11$; $P=0,07$).

La altura de las plantas de albahaca estuvo entre 55,8 y 68,2 cm para el testigo y T100 respectivamente, sin diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tabla 7). Las dosis de T100 y T150 fueron las que obtuvieron mayores, con diferencias entre 10 y 15 cm con respecto al testigo. Estas diferencias en altura les permiten mayor acceso a luz, favoreciendo la fotosíntesis. Los valores encontrados estuvieron por encima de los reportados por Ledesma *et al.*, (2013), cuyas alturas estuvieron entre 14 y 37 cm, al utilizar diferentes dosis de compost proveniente de residuos orgánicos domiciliarios y por

González (2013) quien al usar aislados bacterianos de *bacillus*, las plantas alcanzaron alturas de 36 cm máximo de altura. Por otro lado, González *et al.*, (2009) encontraron alturas de planta entre 50,0 y 58,3 cm, similares a las halladas en esta investigación, cuando utilizaron relaciones de amonio/nitrato igual a 20/80, demostrando que la fertilización nitrogenada tiene incidencia en el crecimiento de la planta. Pandey *et al.*, (2016) encontraron alturas de planta entre 65 y 79 cm donde los mayores valores correspondieron a tratamientos que combinaban abono orgánico y fertilizante de síntesis química en dosis de 2,5 ton/ha de abono orgánico y 50 kg/ha de fertilizante inorgánico.

Tabla 7. Efecto de la aplicación de dosis de nitrógeno en variables agronómicas de albahaca (*Ocimum basilicum* L.).

Tratamiento	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Masa fresca total (g)*	Masa seca total (g)**	Porcentaje de masa seca	Rendimiento de hoja fresca (Mg/ha)*	Rendimiento de hoja seca (Mg/ha)**
T	55,8±5,10a	3,5±0,55a	69,3±2,55b	24,5±3,15ab	35,7±5,72a	7,8±0,28b	2,8±0,35ab
T50	65,1±8,18a	4,3±0,35a	65,9±5,53b	27,1±8,66ab	39,3±10,57a	7,4±0,62b	3,0±0,97ab
T100	68,2±3,95a	4,6±0,64a	102,1±9,51a	44,2±12,94a	44,2±12,62a	11,4±1,06a	4,6±1,45a
T150	65,6±6,72a	4,7±0,17a	92,3±6,03ab	41,1±2,92ab	44,5±1,22a	10,3±0,68ab	5,0±0,33ab
T200	58,7±4,12a	4,1±0,27a	65,3±16,64b	20,6±8,38b	29,3±4,92a	7,3±1,73b	2,3±0,94b
F	0,79	1,19	3,61	1,66	0,61	3,61	1,66
P	0,56	0,37	0,05	0,23	0,66	0,05	0,24

Promedio de tres repeticiones ± error estándar. *Comparación de medias por la prueba de Duncan (95%). ** Comparación de medias por la prueba de Duncan (90%).

Los diámetros de tallo estuvieron entre 3,5 y 4,7 mm correspondientes al testigo y T150 respectivamente, sin diferencias significativas entre dosis aplicadas. Diferentes resultados fueron encontrados por Guerrero (2008), al encontrar diámetros menores de 2 mm utilizando soluciones Steiner, las cuales contenían 16,42 g /L de N. La aplicación de N aumentó entre 14,6% y 25,5% el diámetro con respecto al testigo, siendo la dosis de 150 kg/ha la que mejor respuesta obtuvo.

La dosis de 100 kg/ha obtuvo el mayor valor de masa fresca en plantas de albahaca sin diferencia significativa con la dosis de 150 kg/ha. Esta dosis obtuvo 36,0%, 35,5% y 32,1% más de masa fresca que las dosis de 200, 50 y testigo respectivamente. González *et al.*, (2009) encontraron masas frescas entre 65,5 y 84,9 g/planta al fertilizar con nitrato y amonio, similares a las halladas en este estudio. En cuanto la masa seca hallada, nuevamente la dosis de 100 kg/ha fue el tratamiento que obtuvo los mayores valores, pero estos no fueron estadísticamente diferentes de las dosis de 0, 50 y 150 kg/ha. La masa seca alcanzada estuvo 50,4% por encima de la alcanzada con la dosis de 200 kg/ha. Estos resultados respaldan la hipótesis de que a mayor dosis, la inmovilización del N se presenta y no es disponible para las plantas en el momento oportuno. Los mayores rendimientos de hoja fresca se obtuvieron con las dosis de 100 y 150 kg/ha, sin diferencias significativas entre ellas, estando entre 32% y 36% por encima de las dosis 0, 50 y 200 kg/ha.

Los valores de N foliar estuvieron entre 0,3% y 2,55% correspondientes al testigo y a T200 respectivamente (Figura 18). Las dosis de 50, 100 y 150 kg/ha no presentaron diferencias significativas entre ellas pero si con la dosis de 200 kg/ha y con el testigo. La mayor dosis estuvo 63,9%, 63,1% y 58,4% por encima de las tres dosis menores respectivamente. A pesar de que N es fundamental para la división celular y por tanto el crecimiento de plantas, estas diferencias en N foliar no se vieron reflejadas en diferencias en la altura de planta ni en los rendimientos de masa fresca y seca. De acuerdo con Yepes *et al.*, (2016) la altura de las plantas de albahaca es independiente a la dosis de N aplicado. Ferreira *et al.*, (2015) no recomiendan el uso de altas dosis de N cuando se va a realizar un único corte de plantas de albahaca con fines farmacéuticos o homeopáticos. Mota y Sanchez (2013), sembraron plántulas de albahaca en 300 g de vermicompost de café por planta (1,04% de N), aportando N por encima de las dosis empleadas en el presente trabajo y obtuvieron mayores valores de N foliar, entre 2,2% y 2,8%, situación que pudo deberse a la alta porosidad de este material orgánico que permite mejorar las relaciones de porosidad y favorece la absorción de nutrientes.

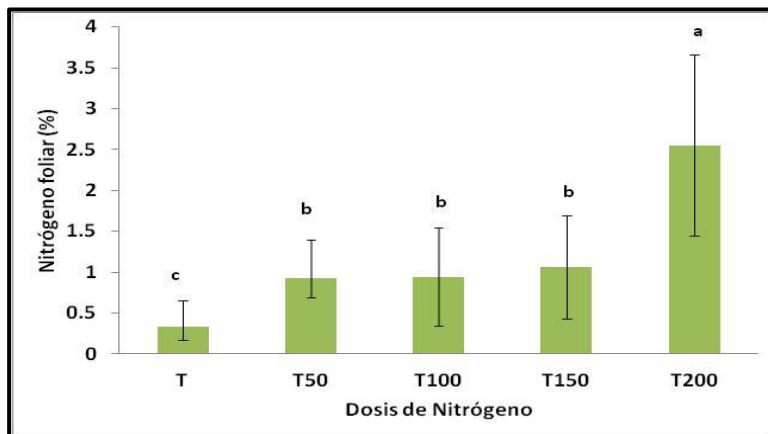


Figura 15. Contenido de nitrógeno foliar en plantas en función de la dosis de aplicación de nitrógeno en albahaca (*Ocimum basilicum* L.). Prueba de comparación de medias por la prueba de Duncan al 95%. Las barras indican el intervalo de confianza para la media con confiabilidad del 95% ($F=27,04$; $P=0,00$).

A medida que se incrementó la dosis de N aplicado, la cantidad de N absorbido y acumulado en las hojas por unidad de área aumentó (Figura 19). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre las dosis de 100, 150 y 200 kg/ha. El comportamiento de absorción sigue un modelo polinómico de segundo orden. Además, el 34% del N aplicado en la dosis de 100 kg/ha fue absorbido por la planta, mientras que sólo el 23% y el 20% lo fue por las dosis más grandes.

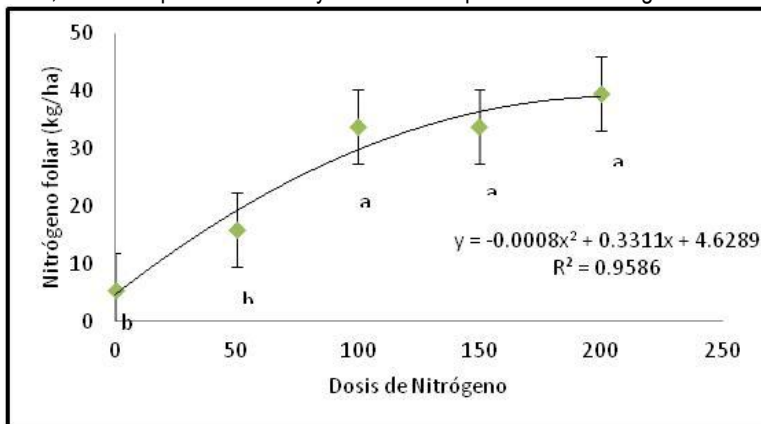


Figura 16. Relación entre la dosis de nitrógeno aplicada y el contenido foliar de nitrógeno en albahaca (*Ocimum basilicum* L.). Prueba de Duncan al 90% ($F=1,57$; $P=0,26$). Regresión potencial de grado dos ($F=23,15$; $P=0,04$). (Valores de NT entre 0,12% y 0,14%. Resultante de dividir la materia orgánica por el factor de 20, asumiendo que la materia orgánica tiene 5% de N).

La aplicación de diferentes dosis de N afectó el pH, la materia orgánica y el N total del suelo al final de los 76 ddt (Tabla 8). El pH del suelo varió entre 5,89 y 6,32 correspondientes a la dosis de 200 kg/ha y el testigo respectivamente, donde se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Se encontró una tendencia que a mayor dosis de N aplicada, mayor fue la acidificación del suelo, pero sin diferencias significativas entre las tres dosis mayores. Todos los tratamientos, incluidos el testigo, presentaron valores de pH por debajo del valor inicial (7,47), debido posiblemente a la extracción de nutrientes por parte de la planta, al proceso de nitrificación ocurridos y a la aplicación del riego, que con la lixiviación de nitratos, también se presenta el lavado de bases intercambiables que promueven la acidificación del suelo. Los porcentajes de materia orgánica estuvieron entre 2,63% y 3,28% para el testigo y la dosis de 50 kg/ha respectivamente, valores cercanos a los hallados en la caracterización inicial del suelo.

Tabla 3. Efecto de la aplicación de dosis de nitrógeno en propiedades del suelo a los 56 ddt en albahaca (*Ocimum basilicum* L.).

Tratamiento	pH ¹²	C.E. (dS m ⁻¹) ³	M.O (%) ³	NT (%) ⁴
T	6,32±0,64b	0,95±0,27a	2,63±0,21b	0,035±0,01c
T50	6,25±0,27b	1,27±0,50a	3,28±0,08a	0,118±0,01ab
T100	6,07±0,63ab	0,68±0,17a	2,73±0,18b	0,143±0,02a
T150	6,07±0,83ab	0,99±0,33a	2,80±0,08ab	0,082±0,01bc
T200	5,89±0,34a	1,53±0,83a	2,80±0,14ab	0,047±0,01c
F	7,30	0,46	2,78	12,06
P	0,005	0,76	0,09	0,00

¹Promedio de tres repeticiones de la concentración de hidrógeno ± error estándar. ²comparación de medias por la prueba de Dunnett (95%). ³comparación de medias por la prueba de Duncan (95%). ⁴comparación de medias por la prueba de Tukey (95%).

El N total del suelo estuvo entre 0.035% y 0.143% para los tratamientos testigo y dosis de 100 kg/ha. Estos valores alrededor de 0,1% son frecuentes en los suelos agrícolas, especialmente los que están cultivados (Navarro y Navarro, 2003). Las dosis de 50 y 100 kg/ha fueron las que presentaron el valor más alto de N en el suelo después de los 76 ddt, sin diferencia significativa entre ellos. La aplicación de estas dosis resultó brindar mejores resultados, ya que la planta logró absorber 34% de esta aplicación, obteniendo las más altas respuestas agronómicas en las plantas de albahaca y la menor lixiviación. La dosis más altas presentó el menor contenido de N total, el mayor contenido de N foliar, aunque no se vio reflejada en el peso seco y en el rendimiento de hoja, lo que podría interpretarse como un exceso de absorción, conocido también como “consumo de lujo” que hace a las plantas más susceptibles a plagas y enfermedades y menos tolerante a condiciones climatológicas como sequías. También se debe considerar que las dosis más altas presentaron las mayores pérdidas de nitratos en los lixiviados, reduciendo la concentración de N en el suelo y la consecuente reducción del pH.

La única propiedad que no se vio afectada fue la conductividad eléctrica, cuyos valores estuvieron entre 0,68 y 1,53 dS/m, sin diferencias entre dosis de N aplicadas, indicando que la aplicación de las dosis de N utilizando como fuente la urea no produjo salinización de los suelos (Fernandez *et al.*, 2006).

La concentración de N en el suelo después de 76 ddt de albahaca y la dosis aplicada siguieron un modelo polinomial de tercer orden, donde las dosis de 50 y 100 kg/ha registraron los valores más altos, sin diferencias significativas entre ellas (Figura 20). De acuerdo a la ecuación, la dosis que deja mayor concentración de N en el suelo es de aproximadamente 81 kg/ha, dosis intermedia entre 50 y 100 kg/ha. Es posible que aplicaciones de N por encima de este valor sea susceptible a perderse por lixiviación y contribuya a la acidificación del suelo.

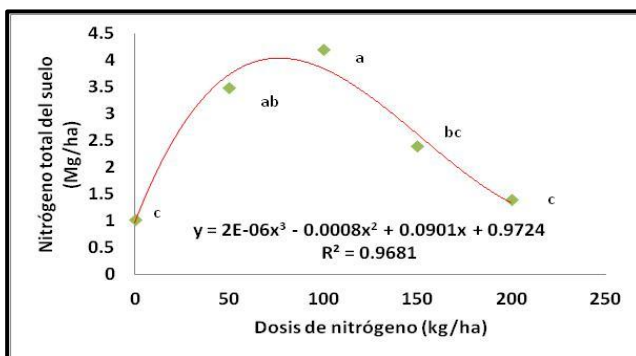


Figura 17. Nitrógeno total del suelo a los 71 ddt obtenido con la variación de dosis de nitrógeno en albahaca (*Ocimum basilicum* L.). Comparación de medias por prueba de Tukey al 95% (F= 13,18; P= 0,00). Regresión polinómica de orden tres. (F=10,11; P=0,23).

No se encontraron diferencias significativas para la ER y la EI, debido probablemente a la alta dispersión de los datos (Figura 21). Sin embargo, las dosis más bajas utilizadas brindaron los mayores valores de ER, por encima del 30% y EI alrededor de 0,6 Mg de masa fresca por kg de N absorbido. Estas eficiencias no estuvieron altas y aun es posible mejorarlas realizando más estudios acerca de la época de aplicación, otras fuentes de fertilizante nitrogenado y viabilidad de fraccionamiento de la fertilización. De acuerdo a los resultados hallados es posible asegurar que la dosis más adecuada de N para el cultivo de

albahaca en las condiciones climatológicas y para el tipo de suelo en estudio es de 100 kg/ha.

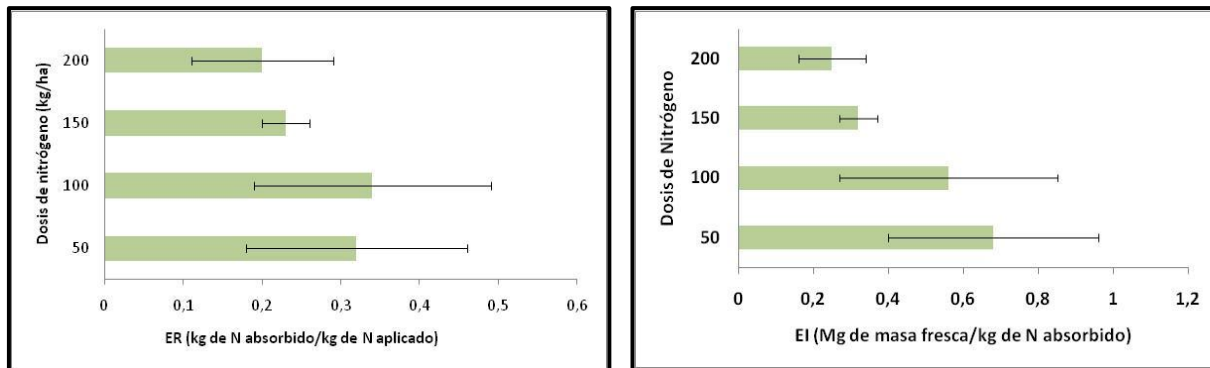


Figura 18. (A) Eficiencia aparente de recuperación ER ($F=0,38$; $P=0,77$) (B) Eficiencia interna de utilización EI ($F=0,94$; $P=0,47$) del nitrógeno para diferentes dosis de aplicación utilizadas en albahaca (*Ocimum basilicum* L.).

3.5. Principales conclusiones y/o recomendaciones

En la presente investigación se determinaron los valores de coeficiente de cultivo (K_c) y los requerimientos hídricos de los cultivos de estevia variedad morita y albahaca variedad genovesa para los estados fenológicos de crecimiento (desarrollo, madurez y cosecha), senescencia. Esta determinación se realizó en condiciones tropicales del valle geográfico del río Cauca (Colombia), calculados a partir de la relación entre ET_c y ET_o , los cuales a su vez fueron determinadas a través de balances hídricos, usando lisímetros de drenaje y mediciones de variables climatológicas necesarias en la ecuación de Penman-Monteith.

El consumo de agua durante el ciclo de cultivo de estevia de 96 ddt y el cultivo de albahaca de 71 ddt fue de $4753 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y $2693,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ respectivamente, los cuales estuvieron por debajo de la demanda hídrica de cultivos presentes en la región como la caña de azúcar. De acuerdo a lo anterior, estos cultivos puede ser una buena alternativa productiva en regiones secas, como el Valle del Cauca, donde se ha presentado una reducción de la disponibilidad hídrica debida principalmente a la variabilidad climática.

Los valores medios de K_c hallados para estevia fueron 0,86 para la etapa de crecimiento y desarrollo ($4,57 \text{ mm día}^{-1}$), 1,24 para la etapa de madurez ($7,30 \text{ mm día}^{-1}$) y 0,85 para la etapa de cosecha y senescencia ($4,28 \text{ mm día}^{-1}$). En el caso de la albahaca, los valores medios de K_c hallados fueron 0,45 para la etapa de crecimiento y desarrollo ($2,98 \text{ mm día}^{-1}$), 0,59 para la etapa de madurez ($4,87 \text{ mm día}^{-1}$) y 0,42 para la etapa de cosecha y senescencia ($3,16 \text{ mm día}^{-1}$).

La recomendación de dosis nitrogenada para estevia para las condiciones establecidas en el presente trabajo está entre 50 y 100 kg/ha, puesto que estas dosis presentaron el mejor comportamiento de variables agronómicas, la mayor concentración de N en las hojas y las mayores eficiencias calculadas.

La dosis recomendada de N para el cultivo de albahaca en las condiciones climatológicas del sur del Valle del Cauca y con las características físico-químicas del suelo procedente de Juanchito Candelaria es de 100 kg/ha. Esta dosis brindó la menor pérdida de nitrato por lixiviación, se obtuvo las mayores respuestas agronómicas de la planta y no alteró significativamente las propiedades del suelo, dejando incluso niveles de N en el suelo medio. Además, presentó la mejor eficiencia aparente de recuperación y eficiencia interna de utilización, aunque sus valores aun estén bajos.

Continuar realizando estudios para conocer valores del coeficiente del cultivo (K_c) y evapotranspiración del cultivo (ET_c) de albahaca y estevia en otras zonas productoras del Valle del Cauca, para compararlos con los valores obtenidos en el presente estudio.

Para el cálculo de la lámina de riego es necesario conocer la profundidad radicular de las plantas, por lo tanto se recomienda el estudio del crecimiento de las raíces de los cultivos estudiados, para conocer mejor la profundidad radicular en cada etapa del cultivo y optimizar el cálculo del volumen de agua a aplicar.

En el presente estudio se utilizaron lisímetros metálicos conductores de calor, que expuestos directamente al sol, pudieron alterar los valores de evapotranspiración del cultivo, por lo que se recomienda utilizar en la construcción de lisímetros, materiales no conductores ó el uso de aislantes térmicos.

Los suelos en estudio se caracterizan por el contenido de arcillas expansivas, que cambian el volumen del suelo y las relaciones de porosidad con el contenido de humedad. Se recomienda en primer lugar, evitar el secamiento excesivo del suelo, para prevenir la formación de grietas que crea flujos preferenciales y que no permite la aplicación uniforme del agua y genera pérdidas por lixiviación. Lo ideal es que el suelo se mantenga en valores cercanos a la humedad de capacidad de campo, para evitar el agrietamiento.

Las muestras recolectadas de lixiviación deben ser procesadas en el corto tiempo. En caso de no poderse hacer, es necesario mantenerlas refrigeradas entre 0 y 2 °C para evitar la volatilización del N e inhibir la actividad microbiana.

4. PRODUCTOS:

Tabla 9. Cantidad y tipo de productos pactados en el *Acta de Trabajo y Compromiso* y productos finalmente presentados

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
Productos de nuevos conocimientos				
Artículo completo publicado en revistas A1 o A2	2		3	
Artículo completo publicados en revistas B				
Artículo completo publicados en revistas C				
Libros de autor que publiquen resultados de investigación				
Capítulos en libros que publican resultados de investigación				
Productos o procesos tecnológicos patentados o registrados				
▢ Prototipos y patentes				
▢ Software				
Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial				
Normas basadas en resultados de investigación				
Formación de recursos humanos	No. de estudiantes vinculados	No. de tesis	No. De estudiantes Vinculados	No. De tesis
Estudiantes de pregrado	2	2	5	5
Semillero de Investigación	2	-	2	-
Estudiantes de maestría	0	0	0	0
Estudiantes de doctorado	1	-	1	0
Productos de divulgación				

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
Publicaciones en revistas no indexadas				
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales
	1	1	3*	1
Propuesta de investigación				
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.	1		1	

*Uno de estos productos es de carácter institucional.

4.1. Detalle de productos.

Tabla 10. Relación de artículos científicos

Tipo de producto:	Artículo científico
Nombre General:	Revista Agronomía Mesoamericana (A1)
Nombre Particular:	Artículo: Necesidades hídricas de estevia calculadas con el coeficiente del cultivo, Candelaria, Valle del Cauca, Colombia
Ciudad y fechas:	Alajuela Costa Rica Mayo 27 de 2016.
Participantes:	Martha Constanza Daza, Hugo Meneses, Aldemar Reyes y Norberto Urrutia Cobo.
Sitio de información:	http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso
Formas organizativas:	Grupos REGAR e IREHISA

Tipo de producto:	Artículo científico
Nombre General:	Chilean Journal of Agricultural Research
Nombre Particular:	Artículo: "Estimated water consumption of the basil crop (<i>Ocimum basilicum</i> L.) under tropical conditions"
Ciudad y fechas:	Santiago, Chile Julio 7 de 2016.
Participantes:	Martha Constanza Daza, Paulo Arias, Aldemar Reyes y Norberto Urrutia Cobo.
Sitio de información:	http://www.chileanjar.cl/
Formas organizativas:	Grupos REGAR e IREHISA

Tipo de producto:	Artículo científico
Nombre General:	Revista Agrociencia
Nombre Particular:	Artículo: "Evaluación de fracciones granulométricas y dosis de zeolita para la agricultura".
Ciudad y fechas:	México Mayo 20 de 2015.



Participantes:	Martha Constanza Daza, Miguel soca.
Sitio de información:	http://www.colpos.mx/agrocien/agrociencia.htm
Formas organizativas:	Grupo REGAR

Tabla 11. Relación de trabajos de grado

Tipo de producto:	Trabajo de Grado
Nombre General:	Programa de Ingeniería Agrícola
Nombre Particular:	Determinación de la curva del coeficiente del cultivo de la albahaca genovesa (<i>Ocimum basilicum</i>)
Ciudad y fechas:	Cali Marzo 1 de 2016
Participantes:	Paulo César Arias Prado
Sitio de información:	Biblioteca Central, Centro de Documentación del programa de ingeniería agrícola.
Formas organizativas:	Grupo REGAR
Tipo de producto:	Trabajo de Grado
Nombre General:	Programa de Ingeniería Agrícola
Nombre Particular:	"Determinación del coeficiente del cultivo Kc de estevia (<i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni.) a partir de lisímetros de drenaje"
Ciudad y fechas:	Cali Marzo 1 de 2016
Participantes:	Hugo Stiven Meneses Carvajal
Sitio de información:	Biblioteca Central, Centro de Documentación del programa de ingeniería agrícola.
Formas organizativas:	Grupo REGAR
Tipo de producto:	Trabajo de Grado
Nombre General:	Programa de Ingeniería Agrícola
Nombre Particular:	"Estimación de la dosificación nitrogenada para estevia (<i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni.)"
Ciudad y fechas:	Cali Agosto 19 de 2016
Participantes:	David Esteban Ríos Gracia
Sitio de información:	Biblioteca Central, Centro de Documentación del programa de ingeniería agrícola.
Formas organizativas:	Grupo IREHISA
Tipo de producto:	Trabajo de Grado
Nombre General:	Programa de Ingeniería Agrícola
Nombre Particular:	"Determinación de la dosis óptima de fertilización nitrogenada en el cultivo de albahaca (<i>Ocimum basilicum</i>)"
Ciudad y fechas:	Cali septiembre 8 de 2016
Participantes:	Sebastian Escobar Bolaños
Sitio de información:	Biblioteca Central, Centro de Documentación del programa de ingeniería agrícola.
Formas organizativas:	Grupo IREHISA
Tipo de producto:	Trabajo de Grado
Nombre General:	Programa de Ingeniería Agrícola
Nombre Particular:	"Modelación de la dinámica del agua de la parcela de la granja experimental de la Universidad del Valle"
Ciudad y fechas:	Cali febrero 22 de 2016
Participantes:	Jorge Mario Gallardo Escobar
Sitio de información:	Biblioteca Central, Centro de Documentación del programa de ingeniería agrícola.
Formas organizativas:	Grupo IREHISA
Tipo de producto:	Trabajo de Grado
Nombre General:	Programa de Ingeniería Agrícola
Nombre Particular:	"Evaluación de la mineralización de Nitrógeno en dos abonos orgánicos (lombricompost y gallinaza"
Ciudad y fechas:	Cali Aun no ha sustentado



Participantes:	Brenda Marcela Montoya Gómez
Sitio de información:	Biblioteca Central, Centro de Documentación del programa de ingeniería agrícola.
Formas organizativas:	Grupo REGAR

Tabla 12. Relación de ponencias

Tipo de producto:	Ponencia internacional
Nombre General:	Convención Internacional de Ingeniería Agrícola 2016
Nombre Particular:	Determinación de coeficientes de cultivo (kc) para estevia (Stevia rebaudiana Bertoni.) y albahaca (Ocimum basilicum L.) mediante lisímetros de drenaje"
Ciudad y fechas:	Cayo Santa María, Cuba Marzo 21 – 25 de 2016
Participantes:	Martha Constanza Daza, Paulo Arias, Hugo Meneses y Norberto Urrutia.
Sitio de información:	Memorias CD room Convención Internacional de Ingeniería Agrícola 2016
Formas organizativas:	Grupo REGAR

Tipo de producto:	Ponencia nacional
Nombre General:	XVIII Congreso Nacional de Suelos, Suelos saludables y productivos para la paz de Colombia"
Nombre Particular:	Evaluación de dosis nitrogenadas en albahaca y su efecto en la lixiviación de nitratos
Ciudad y fechas:	Villa de Leyva, 5 - 8 de octubre de 2016
Participantes:	Martha Constanza Daza, Sebastian Escobar y Norberto Urrutia.
Sitio de información:	Memorias CD ROOM
Formas organizativas:	Grupo REGAR

Tipo de producto:	Ponencia nacional
Nombre General:	XVIII Congreso Nacional de Suelos, Suelos saludables y productivos para la paz de Colombia"
Nombre Particular:	EVALUACIÓN DE LA MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO EN DOS ABONOS ORGÁNICOS (LOMBRICOMPOST Y GALLINAZA)
Ciudad y fechas:	Villa de Leyva, 5 - 8 de octubre de 2016
Participantes:	Martha Constanza Daza, Brenda Montoya y Norberto Urrutia.
Sitio de información:	Memorias CD ROOM
Formas organizativas:	Grupo REGAR

Tipo de producto:	Ponencia institucional
Nombre General:	Noveno simposio de investigación en ingeniería
Nombre Particular:	Coeficientes de cultivo (kc) para estevia (Stevia rebaudiana Bertoni.) y albahaca (Ocimum basilicum L.)
Ciudad y fechas:	Cali, Octubre 18 de 2016
Participantes:	Martha Constanza Daza.
Sitio de información:	-
Formas organizativas:	Grupo REGAR

Tabla 13. Propuesta de investigación a convocatoria externa

Tipo de producto:	Propuesta de investigación
Nombre General:	Convocatoria Colciencias
Nombre Particular:	Diseño y desarrollo de consorcios microbianos fijadores de nitrógeno generados en bioreactores automatizados
Ciudad y fechas:	Cali, julio 31 de 2015
Participantes:	Martha Constanza Daza; Janeth Sanabria.
Sitio de información:	Vicerrectoría de investigaciones, SICOP
Formas organizativas:	Grupos de investigación GAOX y REGAR

5. IMPACTOS ACTUAL O POTENCIAL:

Se logró determinar las curvas del coeficiente del cultivo para estevia y albahaca en cada etapa fenológica de la planta, necesarias para el cálculo de las láminas de riego a aplicar, lo que permite un manejo adecuado del recurso hídrico para los agricultores. Estos valores se determinaron en parcelas comerciales de cultivos, lo que tiene gran significancia para los agricultores de aromáticas.

Se logró establecer un acercamiento a la dosis adecuada de nitrógeno para ser aplicada a estevia y albahaca, utilizando urea como fertilizante, en las condiciones de clima y suelo del corregimiento de Juanchito, Candelaria, Valle del Cauca. Este estudio integró visiones agronómica y ambiental, ya que la dosis escogida no sólo fue la que presentó mejores resultados en variables agronómicas de la planta, sino que fue la que menor lixiviación presentó y mantuvo las condiciones de calidad del suelo.

Desde el punto de vista académico, este proyecto contribuyó a la formación de capital humano y al fortalecimiento de masa crítica alrededor de la importancia del manejo del agua y los fertilizantes nitrogenados en los sistemas productivos.

6. REFERENCIAS

- Aladakatti, Y. R., Palled, Y. B., Chetti, M. B., Halikatti, S. I., Alagundagi, S. C., Patil, P. L., Patil V. C. & Janawade, A. D. (2012). Effect of irrigation schedule and planting geometry on growth and yield of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.). *Karnataka J. of Agricultural Science*, 25 (1) : 30-35.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D. y Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación FAO. Estudio Riego y Drenaje N° 56. 300 p.
- Araya, A., Stroosnijder, L., Girmay, G., & Keesstra, S. D. (2011). Crop coefficient, yield response to water stress and water productivity of teff (*Eragrostis tef* Zucc.). *Agricultural Water Management*, 98(5), 775-783. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.12.001>.
- Arauzo, M. y Valladolid, M. 2013. Drainage and N-leaching in alluvial soils under agricultural land uses: implications for the implementation of the UE Nitrates Directives. *Agr. Ecosyst. Environ.* 179: 94-107.
- Azizi-Zohan, a., Kamgar-Haghighi, a. a., & Sepaskhah, a. R. 2008. Crop and pan coefficients for saffron in a semi-arid region of Iran. *Journal of Arid Environments*, 72(3), 270-278. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.06.001>
- Arias, E., Sadeghian, S. Mejía, B. y Morales, S. 2009. Lixiviación de nitrógeno en algunos suelos de la zona cafetera y su relación con la textura. *Cenicafa* 60(3): 239 -252.
- Blanco, J.O. 2003. Manejo integral de suelos con énfasis en el cultivo del arroz. PRONATTA OFFSET LA OPINIÓN S.A. disponible en: agronet.gov.co/www/docs_si2/Manejo%20del%20suelos%20para%20arroz.pdf. Fecha de consulta: Julio 19 de 2016.
- Bonilla, R. & Guerrero, M. 2010. Albahaca (*Ocimum basilicum* L.) producción y manejo poscosecha. *Produmedios*. Bogotá p 48-64.
- Borda-Molina, D., Pardo, J., Martínez, M. y Montaña, J. 2009. Producción de un biofertilizante a partir de un aislamiento de *azotobacter nigricans* obtenido en un cultivo de estevia *rebaudiana* Bertoni. *Universitas Scientiarum* 14(1): 71-78.
- Casaccia, J. y Alvarez, E. 2006. Recomendaciones técnicas para una producción sustentable del ka' a he'e (*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni) en el Paraguay. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Manual Técnico N° 8. (En línea): http://www.steviaparaguay.com.py/recomendaciones-tecnicas_kaahee.pdf. Fecha de consulta: Septiembre 8 de 2016.
- Cerisola, C., García, M. y Filgueira, M. 2005. Distribución de la porosidad de un suelo franco arcilloso (alfisol) en condiciones semiáridas después de 15 años bajo siembra directa. *Ciencia del suelo (Argentina)* 23(2): 167-178.
- Daza, M., Jurado, J. & Torres, V. 2015. Efecto de aplicación de diferentes láminas de riego en estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.) bajo invernadero. *Revista Temas Agrarios* 20(1): 83-92.



- Daza, M.C., Díaz, J., Aguirre, E. y Urrutia, N. 2015. Efecto de abonos de liberación lenta en la lixiviación de nitratos y nutrición nitrogenada en estevia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 9(1): 112-123.
- Delgado, G. & Daza, M.C. (2012). Determinación del coeficiente de la evapotranspiración y lámina de riego para albahaca. (*Ocimum basilicum* L.). En: *Memorias del XVI Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. La ciencia del suelo al servicio de la sociedad y del ambiente. Riohacha (Colombia) CD-R. Octubre 3-6.*
- Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency-measurement and management. Proc. Of International Fertilizer Industry Association (IFA) Workshop on Fertilizer Best Management Practices. Brussels, Belgium. March 7-9.
- Ekren, S., Sönmez, Ç., Özçakal, E., Kurttaş, Y. S. K., Bayram, E., & Gürgülü, H. 2012. The effect of different irrigation water levels on yield and quality characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.). *Agricultural Water Management*, 109, 155-161. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.03.004>
- Fernández-Pacheco, D. G., Escarabajal-Henarejos, D., Ruiz-Canales, A., Conesa, J., & Molina-Martínez, J. M. 2014. A digital image-processing-based method for determining the crop coefficient of lettuce crops in the southeast of Spain. *Biosystems Engineering*, 117(C), 23-34. <http://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.07.014>.
- Fernandez, L.C., Rojas, N.G., Roldán, T.G., Ramírez, M.E., Zegarra, H.G., Uribe, R., Reyes, R.J., Flores, D. y Arce, J.M. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. Instituto Mexicano del Petróleo. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 184p.
- Ferreira, S., De Moraes, M., Guilherme, L., Pastorio, M., Aline, V., Massahiro, R. y Achre, D. 2015. Influência da adubação nitrogenada e época de cultivo sobre o rendimento de folhas de manjeriço (*Ocimum basilicum* var. verde Toscana) para fins medicinais. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 20(4): 389-396.
- Fronza, D., & Folegatti, M. V. 2003. Water consumption of the estevia (*Stevia rebaudiana* (Bertoni.) Bertoni) crop estimated through microlysimeter. *Scientia Agricola*, 60, 595-599. <http://doi.org/10.1590/S0103-90162003000300028>.
- Gonzalez, R., Paniagua, J. & Mayeregger, E. 2002. Necesidad de agua para el cultivo de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.), calculado sobre la base de lectura de microlisímetro. *Investigación Agraria* 4(2): 19-24.
- González, J.L., Rodríguez, M., Sanchez, P. y Gaitán, E. 2009. Relación amonio/nitrato en la producción de hierbas aromáticas en hidroponía. *Agricultura Técnica en México* 35(1): 5-11.
- González, M.G. 2013. Efecto de la inoculación de aislados bacterianos sobre la producción de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). Trabajo de grado. Universidad Autónoma de Querétaro. México. 64p.
- Guerrero, L.A. 2008. Cultivo intensivo de aromáticas en hidroponía. trabajo de maestría. Colegio de Postgraduados, México 147p disponible en: http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/1475/Guerrero_Lagunes_LA_MC_Botanica_2008.pdf?sequence=1. Fecha de consulta: junio 15 de 2016.
- Gusqui, L., Huisha, C., Oña, V. Alban, A. 2010. Evaluación de cuatro dosis de humus para la adaptación del cultivo no tradicional de yerba dulce (*Stevia rebaudiana*) en la zona de Santo Domingo de los Tsachilas. XII Congreso ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Santo Domingo, Ecuador 17-19 de Noviembre.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Sexta Edición. Bogotá, 674 p.
- Jácome, R., Peñarete, W. y Daza, M.C. 2013. Fertilización orgánica e inorgánica en frijol (*Phaseolus vulgaris* L) en suelo inceptisol con propiedades ándicas. *Rev. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente* 12: 59-67.
- Ledesma, A., Cabanillas, C., Stobbia, D., Viera, B. y Tablada, M. 2013. Crecimiento de albahaca a partir de residuos sólidos domiciliarios orgánicos inoculados. En: 4th International workshop Advances in Cleaner Production. Sao Paulo, Brasil. Mayo 22-24.
- López-Urrea, R., Martín de Santa Olalla, F., Montoro, a., & López-Fuster, P. 2009. Single and dual crop coefficients and water requirements for onion (*Allium cepa* L.) under semiarid conditions. *Agricultural Water Management*, 96(6), 1031-1036. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.02.004>
- Mota, L. y Sánchez, D. 2013. Sustratos orgánicos como alternativa para la producción de albahaca (*Ocimum Selloi* Benth), *Revista Mexicana de Ciencias agrícolas* 5: 1055-1061.
- Navarro, S y Navarro, G. 2003. Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Segunda edición. Ediciones Mundiprensa, Madrid España. 438p.
- Niño, J., Cuervo, J. y Villalobos, R. 2013. Efecto del potencial mátrico del suelo en el crecimiento del cultivo de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 7(2): 240-251.
- Ojeda-Silvera, C. M., Nieto-garibay, A., Reynaldo-escobar, I. M., Troyo-diéguez, E., Higinio, F., & Bernardo, R. (2013). Tolerancia al estrés hídrico en variedades de albahaca *Ocimum basilicum* L. *Terra Latinoamericana* 31, 145-154.
- Osorio, N.W. 2014. Manejo de nutrientes en suelos del trópico. Segunda edición. Vieco L. S.A.S., Medellín. (pp 177-206).
- Pandey, V., Patul, A. y Patra, D. 2016. Integrated nutrient regimes ameliorate crop productivity, nutritive value, antioxidant activity and volatiles in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Industrial crops and products* 87: 124-131.
- Pérez, M. A., Peña, M. R., & Alvarez, P. (2011). Agro Industria Cañera y uso del agua: Análisis crítico en el contexto de la política de agrocombustibles en Colombia. *Ambiente & Sociedad*, XIV(2), 153-178. <http://doi.org/10.1590/S1414-753X2011000200011>.
- Ramírez, G. 2011. Paquete tecnológico estevia (*Stevia rebaudiana*) establecimiento y mantenimiento. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias – INIFAP. Mocochá, México. Pp 7-9
- Reis, M., Coelho, L., Santos, G., Kienle, U., & Beltrão, J. (2015). Yield response of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.) to the salinity of irrigation



- water. *Agricultural Water Management*, 152, 217–221. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.017>.
- Sahin, U., Kuslu, Y., Tunc, T., & Kiziloglu, F. M. (2009). Determining Crop and Pan Coefficients for Cauliflower and Red Cabbage Crops Under Cool Season Semiarid Climatic Conditions. *Agricultural Sciences in China*, 8(2), 167-171. [http://doi.org/10.1016/S1671-2927\(09\)60024-9](http://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60024-9)
- Salgado L.E. 2013. Requerimiento de nitrógeno en la producción de *Stevia rebaudiana* Bertoni en hidroponía e invernadero. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados Montecillo, México.
- Serfaty, M., Ibdah, M., Fischer, R., Chaimovitsh, D., Saranga, Y., & Dudai, N. 2013. Dynamics of yield components and stevioside production in *Stevia rebaudiana* grown under different planting times, plant stands and harvest regime. *Industrial Crops and Products*, 50, 731–736. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.08.063>.
- Shukla, S., Shrestha, N. K., Jaber, F. H., Srivastava, S., Obreza, T. a, & Boman, B. J. 2014. Evapotranspiration and crop coefficient for watermelon grown under plastic mulched conditions in sub-tropical Florida. *Agricultural Water Management*, 132, 1–9. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.09.019>
- Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, E. & Raes, D. 2012. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación FAO. Estudio Riego y Drenaje N° 66. 530 p.
- Valverde, C. Juan, Riego y Drenaje, Segunda reimpresión, Costa Rica. 2007, pag 48.
- Villón M. (2007) Drenaje. Editorial tecnológica de Costa Rica. Primera edición. p. 544.
- Yang, J. Liu, X. y Shi, Y. 2013. Effect of Different Mixed Fertilizer on Yield, Quality and Economic Benefits in *Stevia rebaudiana* Bertoni. *J. Food Sci. Techn.* 5(5): 588-591.
- Yepes, F., Ferrera, R., Alarcón, A., Delgadillo, J., Mendoza, M. y García, O. 2016. Fertilización nitrogenada en el crecimiento, contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de albahaca. *Revista Fitotecnia Mexicana* 39(1): 33-40.
- Zetina, R., Vázquez, A. y Meneses, I. 2014. Aplicación de N-P-K para el establecimiento de *Stevia rebaudiana* Bertoni en suelos del centro de Veracruz. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan* 2(3): 201-206.

La presente versión del informe contiene las observaciones de los evaluadores:

Firma del investigador principal

VoBo. Vicedecano de Investigaciones