

Efecto del potencial mátrico del suelo en el crecimiento del cultivo de estevia (*Stevia rebaudiana* Bert.)

Effect of soil matric potential on stevia (*Stevia rebaudiana* Bert.) crop growth

JAIME ALBERTO NIÑO R.^{1, 3}
JAIRO LEONARDO CUERVO A.²
ROBERTO VILLALOBOS R.²

**Plantación de estevia con
cobertura plástica.**

Foto: J.A. Niño



RESUMEN

En los últimos años la biotecnología ha introducido en el mercado mundial los edulcorantes artificiales bajos en calorías a base de componentes químicos, los cuales surgieron para satisfacer las necesidades de personas con limitaciones respecto al consumo de azúcar y calorías en su dieta. Entre otras especies, la estevia es una planta de la que se obtienen edulcorantes como esteviósidos y rebaudiósidos, pero su cultivo en Colombia se encuentra técnicamente rezagado, particularmente en el manejo del riego. Se estudió el potencial mátrico del suelo (PMS) en un cultivo de estevia, variedad Morita II, en el municipio de Prado, Sur del departamento del Tolima, Colombia, mediante la instalación de baterías de tensiómetros y la aplicación de diferentes láminas de agua con el fin de determinar el rango de PMS (0-5 cb, 10-20 cb, 30-40 cb, o 50-60 cb). Se pudo determinar qué niveles de riego superiores a los 5,4 mm diarios no redundan en el aumento del índice de cosecha y en la concentración de edulcorantes para el cultivo de estevia, que un PMS ≤ 20 cb contribuye hasta en un 1% en el aumento de la concentración de esteviosidos y en 0,5% en el aumento de la concentración de rebaudiósidos, y hasta en un 5% en el aumento del índice de cosecha en relación a PMS superiores. Tensiones entre 50 y 60 cb pueden ser un buen indicador en la eficiencia hídrica de la planta y del riego por goteo, para emisores colocados a 20 cm del cuello de raíz de la planta en sistemas de cultivo de estevia bajo las condiciones agroecológicas de este experimento.

Palabras clave adicionales:

estrés hídrico, tensión, evapotranspiración, edulcorantes, índice de cosecha, uso eficiente del agua.

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Joven Investigador, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

² Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

³ Autor para correspondencia. janinoru@unal.edu.co

ABSTRACT

In recent years, biotechnology has introduced low-calorie, chemical-based artificial sweeteners to the global market in response to the needs of people with limitations regarding the consumption of sugar and calories in their diet. Among other species, stevia is a plant from which sweeteners such as stevioside and rebaudioside are derived, but its cultivation in Colombia is technically lagging, particularly in regards to irrigation management. We studied the soil matric potential (SMP) in stevia cultivation, Morita II variety, grown in the municipality of Prado, in the southern province of Tolima, Colombia, using tensiometer battery installations and the application of various water levels in order to determine the SMP range (0-5 cb, 10-20 cb, 30-40 cb, or 50-60 cb). It was found that the irrigation levels of more than 5.4 mm per day did not result in an increased harvest index or concentration of sweeteners for the stevia culture. A soil matric potential of ≤ 20 cb resulted in an increase of up to 1% in the concentration of the steviosides and an increase of up to 0.5% in concentration of the rebaudiosides; there was also an increase of up to 5% in the harvest index as compared to a higher SMP. Tensions between 50 and 60 cb can be good indicators for the water efficiency of the plants and drip irrigation with emitters placed at 20 cm from the root neck of the plant in stevia growing systems under the agroecological conditions of this experiment.

Additional key words:

water stress, tension, evapotranspiration, sweetener, harvest index, water use efficiency.

Fecha de recepción: 22-07-2013

Aprobado para publicación: 31-10-2013

INTRODUCCIÓN

En Colombia, no se reportan trabajos sobre mediciones del consumo de agua para el cultivo de estevia, ni tampoco estudios que hayan determinado las frecuencias, duración y eficiencia de los riegos (Alvarado y Ochoa, 2008), aunque sí para otras especies aromáticas y medicinales (Martínez-Bernal, 2009; Patiño y Urrea, 2003). Una de las labores importantes en el manejo del cultivo es el riego debido a la alta susceptibilidad que presenta el cultivar a la sequía durante su etapa vegetativa (Cuervo, 2012). Con el sistema de riego por goteo en cuanto a instalación y mantenimiento para 5 años, este representa el 34% respecto al total de costos de producción del cultivo, y tan solo el 0,9% de los costos totales en mano de obra para el mismo periodo (cálculos realizados a partir de los valores reportados por López y Peña, 2004). Al respecto Fronza y Folegatti (2003) señalan la concentración de los principios activos de la estevia, particularmente

de los esteviosidos, dependientes del manejo del riego entre otras prácticas agronómicas. Dicho manejo, junto a otros componentes del riego se determinan de acuerdo con las condiciones del agua en el suelo del cultivo (Palacios, 2002).

Una de esas condiciones es la energía con que se encuentra retenida el agua por las partículas o matriz del suelo, conocida como potencial matricial del suelo (PMS) (Torrente, 2009). Este potencial, medido en unidades de presión (bares, pascales, atmosferas, etc.) se ha considerado particularmente en áreas no salinas como el mejor criterio para la caracterización de la disponibilidad de agua en el suelo, respecto a los contenidos volumétricos o gravimétricos (Xing-Wang *et al.*, 2007), está influenciado entre otros factores por la textura, la estructura, la porosidad, y la profundidad del suelo (Brady y Weil, 2002), y su aumento limita la absorción radical y por tanto

la reducción en el crecimiento vegetal (Sánchez-Díaz y Aguirreolea, 2000). El monitoreo del PMS hace que la precipitación y la evaporación para los cultivos no requieran ser medidas, al igual que minimiza las pérdidas por percolación mediante la elección adecuada de las descargas hídras (Wang *et al.*, 2007). Para dicho monitoreo entre otros instrumentos, se utiliza el tensiómetro, consistente en una cápsula porosa de material cerámico, a través de la cual se realiza una succión cuando el agua dentro de la cerámica entra en contacto hidráulico y tiende a equilibrarse con el agua del suelo (Gurovich, 1999). Rangos de tensión matricial entre 0 y 10 cb indican suelo saturado; entre 10 y 20 cb, capacidad de campo; desde 30 a 60 cb, inicio del riego; y tensiones mayores a 70 cb reflejan la poca disponibilidad de agua para las plantas (Fuentes y García, 1999). Además, si se colocan tensiómetros a diversas profundidades, es posible regular la aplicación del agua -cuándo y cuánto regar- con relación al estado de humedad que existe a diferentes niveles de profundidad del suelo (Gurovich, 1999), como también calcular su uso eficiente (WUE, *water use efficiency*) como el cociente entre la materia seca producida y el volumen de agua requerido (Wang *et al.*, 2007). Cuando el tensiómetro es instalado superficialmente, es decir sobre el volumen radical de la planta, indicará cuándo regar, mientras que si es instalado dentro de la masa radical, indicará cuánto regar (Palacios, 2002).

En el presente estudio se buscó identificar el efecto de diferentes rangos de tensión matricial en el rendimiento y calidad del cultivo, como también en la eficiencia en el uso del agua para la programación del riego por goteo en cultivos de estevia variedad Morita II, de la zona sur del departamento del Tolima, Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló en el departamento del Tolima, municipio de Prado, hacienda El

Paraíso, ubicada a 03°43'19" N y 74°55'19" W, a una altitud de 399 msnm, una temperatura promedio anual de 26°C y una precipitación anual de 1.800 mm. Se trasplantaron esquejes enraizados de estevia var. Morita II a 0,3m x 0,35 m al tres bolillo a una densidad de 54.000 plantas/ha en camas de 25 x 1,20 m en suelo franco arcilloso, cubiertas con plástico negro, calibre 1,25 y regadas con un sistema de riego por goteo. La curva de retención de humedad se presenta en la figura 1.

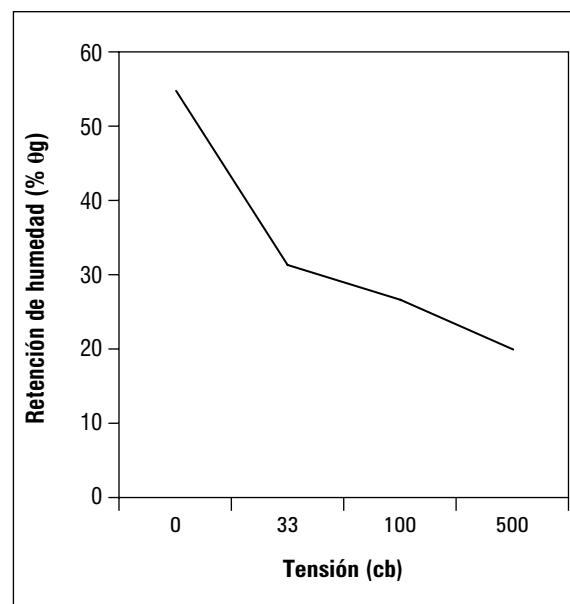


Figura 1. Curva característica de retención de humedad a cuatro diferentes tensiones.

A los 5 d después del trasplante en dicho suelo se instalaron baterías de tensiómetros (tomado del proyecto Unidrench, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá) a 15 y 30 cm de profundidad y a 20 cm del emisor, manteniendo el PMS del cultivo entre los rangos de 0 y 5 cb, 10 y 20 cb, 30 y 40 cb y 50 y 60 cb de tensión (1 cb = 1 kpa), para un arreglo con cuatro tratamientos en bloques completos al azar y tres repeticiones.

Se realizaron muestreos destructivos (cortes) a los 38, 72 y 98 d posteriores al trasplante, en los cuales se midió: longitud de la parte aérea (cm),

masa fresca y seca de hojas (g), área foliar (cm²) y porcentaje de concentración de edulcorantes en muestra al total de hoja. A partir de estas se calculó el índice de área foliar (IAF) como el cociente entre el área foliar y el área ocupada por la planta, índice de cosecha (IC) como el cociente entre la masa seca total producida por la planta y la acumulada en hoja; y el uso eficiente del agua (WUE), relación entre la masa seca acumulada en hoja y el volumen de agua aplicada al cultivo para obtenerla. Paralelamente y a partir del día 37 posterior al trasplante se monitoreó la evapotranspiración diaria del cultivo mediante evaporímetro de cerámica DRC/D2 Dr.Calderón® (Bogotá).

El área foliar se midió a través de un acumulador LI-3100A (Licor-BioSciences, Lincoln, NE), la masa seca de hoja mediante el secado en estufa a 70°C durante 24 h, la concentración de edulcorantes a 100 g de hoja de estevia seca por tratamiento.

Para el análisis de los esteviósidos y rebaudiósidos, las hojas frescas fueron secadas a 60°C en horno hasta peso constante y luego molidas en molino eléctrico hasta obtener un polvo fino. Los componentes glucosídicos, previa extracción acuosa, se separaron de acuerdo con su peso molecular a través de una columna amínica Chemcosorb 5NH2-U de 4,6 mm x 150 mm (Chemco, Japón) en un equipo de cromatografía líquida de alta resolución (Shimadzu Japón), de inyección manual, compresor de aire y un detector UV/Vis, a una longitud de onda de 210.

Para cada variable se realizó un análisis de varianza anidado (Anova anidado) asumiendo que los datos de cada una de las variables provenían de una distribución normal y sus varianzas homogéneas; y una prueba de Tukey para la comparación de medias de tratamientos a un nivel de confianza del 95%. Todo ello se realizó mediante el *software* Minitab 15.1.20.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaporación diaria

La evaporación del cultivo presentó un comportamiento altamente variable durante el experimento con valores mínimos de 2 mm en los últimos días del ensayo, y máximos de 13 mm en el día 50 posterior al trasplante, para un acumulado durante los dos últimos muestreos de 316 mm un promedio diario de 5,6 mm, cociente resultante entre el número de días monitoreados y la evaporación acumulada para todos esos días (figura 2).

El clima de la zona de estudio está clasificado según Holdridge en bosque seco tropical (bs-T) con una distribución bimodal, siendo el mes de julio el más seco y el de noviembre el más lluvioso (Incoder-Corpoica, 2005). La evaporación promedio anual es de 1.655 mm y diaria de 4,55 mm, 1,1 mm inferior a la registrada en este estudio. Esta diferencia pudo originarse debido a que este estudio se realizó entre el mes de julio hasta el mes de octubre, temporada en la que la precipitación en la zona es menor y se presentó las mayor evapotranspiración. De la misma manera se puede comprender cómo la mayor evapotranspiración se obtuvo durante los primeros meses del estudio, ya que estos corresponden a la temporada de menores precipitaciones; y las menores evapotranspiraciones, en los últimos meses del experimento, debido al inicio de las lluvias.

Longitud de tallos y ramas

Se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos para esta variable en los tres muestreos (figura 3). La mayor elongación de tallo y ramas se evidenció en el tratamiento 0-5 cb en el primer y segundo muestreo con hasta un 9% más de longitud respecto a 10-20 cb, mientras que en el tercer muestreo la mayor elongación de tallos y ramas se presentaron en las plantas

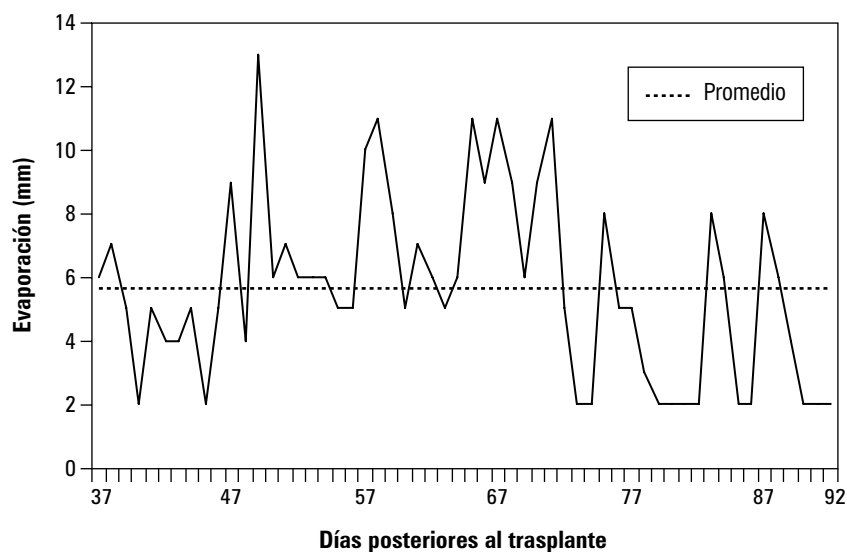


Figura 2. Evaporación diaria obtenida durante los días posteriores al trasplante del cultivo en dos ciclos.

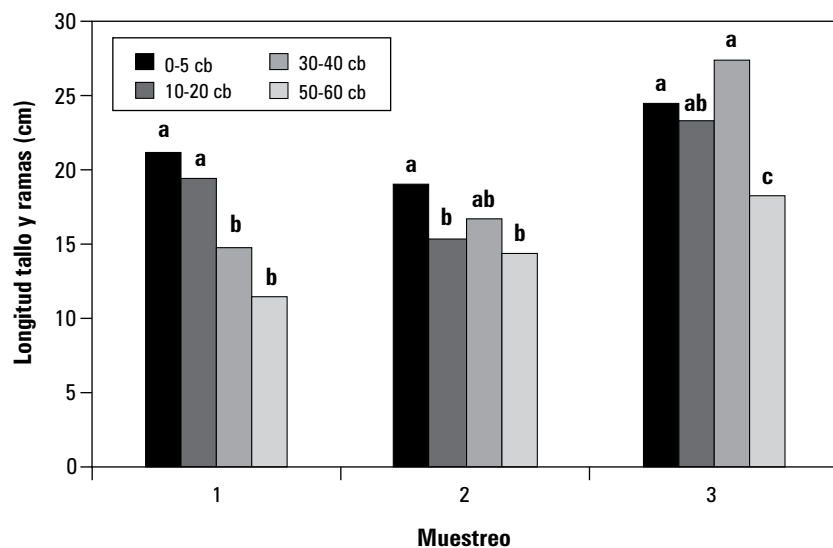


Figura 3. Longitud de tallo y ramas, obtenida a potenciales mátricos del suelo de 0-5 cb, 10-20 cb, 30-40 cb y 50-60 cb en los muestreos 1 (38 d), 2 (72 d) y 3 (98 d posteriores al trasplante). Promedios con letras distintas en el mismo muestreo indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

mantenidas en un rango de PMS de 20 a 30 cb con un 9% de diferencia respecto al tratamiento 0-5 cb. Los menores valores para esta variable se presentaron en las plantas sometidas a 50-60 cb para los tres muestreos (figura 3).

Determinaciones realizadas por Prada-Albornoz (2005) en clavel muestran que este cultivo a 20 cb presenta las mejores condiciones para esta variable al propiciar en un 10% más la elongación del tallo respecto a 10 cb en forma significativa. Este autor, explica esta tendencia, basado en la relación 1 a 1 entre la presión hídrica en la hoja y el PMS, por lo que condiciones restrictivas de humedad en el suelo se traducen en presiones hídricas elevadas en los tejidos de la planta, y en condiciones que influyen en procesos tales como la elongación y la expansión celular. Nishihara *et al.* (2001) encontraron resultados similares en espinaca (*Spinacia oleracea*, var. Virginia) en la que a menor PMS, menores fueron las tasas de crecimiento; comportamiento que fue asociado a la reducción de la tasa fotosintética como producto del cierre estomático, además del aumento en la senescencia foliar, dadas las condiciones de estrés hídrico. El presente estudio confirma dicha tendencia al observarse en los tallos de estevia una menor elongación a medida que se aumenta el PMS.

Materia seca (MS) de hojas

Para esta variable las diferencias estadísticas fueron debidas principalmente a los distintos rangos de tensión en los que permaneció el cultivo. Predominantemente en el tratamiento 20-30 cb se obtuvieron los valores más bajos, en comparación con los obtenidos de las plantas cultivadas a un PMS de 0 a 5 cb, en las que la acumulación de MS en hojas fue la más alta (figura 4).

Lavini *et al.* (2008) evidenciaron el mismo comportamiento en un cultivo de estevia, donde la MS total de la planta y de las hojas se reducen conforme incrementa el PMS, es decir, la energía involucrada por la planta para la absorción del

agua es mayor respecto a la necesaria cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo. Estos autores consiguieron en promedio 40 g de MS foliar por planta en aquellas que fueron mantenidas a capacidad de campo durante el primer año del cultivo, 10 g más respecto a las plantas que se regaron con un 66% menos de la cantidad de agua requerida para mantener el suelo a capacidad de campo en el mismo periodo. Este resultado es similar a lo reportado por Andolfi *et al.* (2006), quienes señalan que la poda dos veces por año se traduce en altos rendimientos. Situación que puede ayudar a entender la baja acumulación de MS foliar en el presente estudio, en el que se realizaron dos podas, la primera a los 15 d y la segunda a los 45 d posteriores al trasplante, reduciendo sustancialmente el área foliar como también la acumulación de MS en hoja. Fronza y Folegatti (2003) reportan valores distintos a los obtenidos en este estudio para la MS foliar; al conseguir en promedio 65,5 g/planta de hoja seca en las cultivadas a capacidad de campo durante 80 d posteriores al trasplante. Estos investigadores justifican esta mayor acumulación de MS a la prolongada duración del día (15,9 h respecto a las 12 h en el presente estudio) así como también a la alta radiación incidente presentada a lo largo de la época del ensayo.

Índice de área foliar (IAF)

Se evidenciaron diferencias significativas para esta variable entre los tratamientos mas no entre los muestreos. Hasta el primer muestreo el tratamiento 0-5 cb evidenció el más alto IAF con valores promedios de 0,32, mientras que para el segundo y tercer muestreo el mayor IAF se presentó a 10-20 cb con valores promedios de 0,23 y 0,28, respectivamente. El IAF más bajo se obtuvo en las plantas mantenidas entre 50 y 60 cb para los tres muestreos con IAF de 0,02; 0,09 y 0,08 respectivamente (figura 5).

Fronza y Folegatti (2003) encontraron para un cultivo de estevia a capacidad de campo y de 80 d de trasplante un IAF de 4,3, alto si se compara

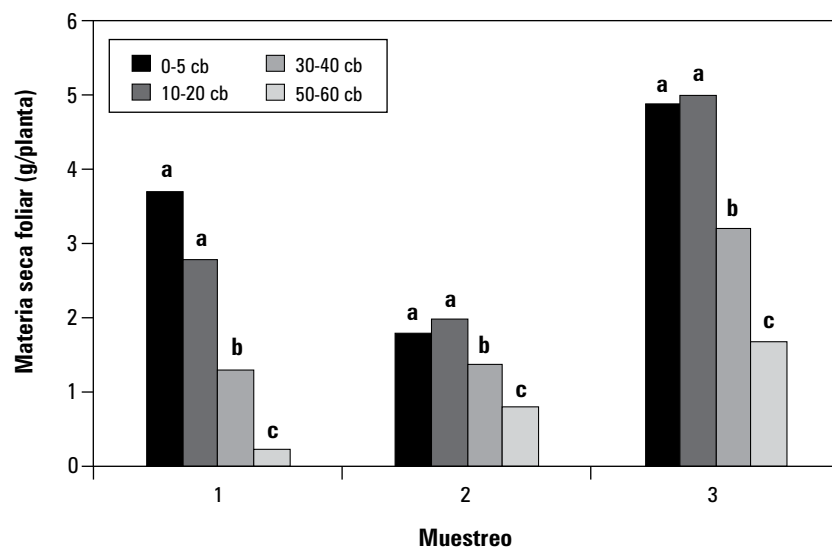


Figura 4. Materia seca de hojas, obtenida a potenciales mátricos del suelo de 0-5 cb, 10-20 cb, 30-40 cb y 50-60 cb en los muestreos 1 (38 d, 2 (72 d) y 3 (98 d posteriores al trasplante). Promedios con letras distintas en el mismo muestreo indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

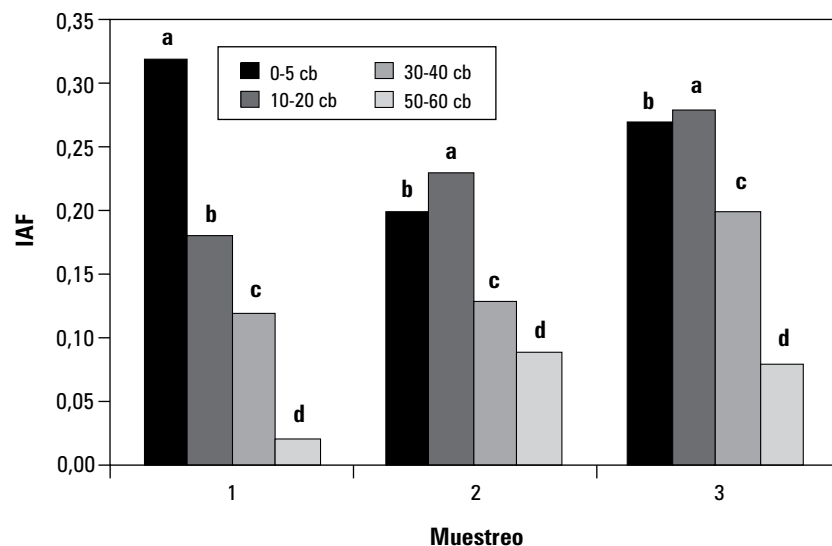


Figura 5. Índice de área foliar (IAF), obtenida a potenciales mátricos del suelo de 0-5 cb, 10-20 cb, 30-40 cb y 50-60 cb en los muestreos 1 (38 d), 2 (72 d) y 3 (98 d posteriores al trasplante). Promedios con letras distintas en el mismo muestreo indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

con el de otros cultivares. Según estos investigadores, el alto IAF está justificado por los días largos, la alta radiación solar y la ubicación del área del experimento (43°N), cerca de la máxima radiación incidente para la temporada en la que llevaron a cabo su estudio. Lavini *et al.* (2008) reportan en estevia un IAF de 2,7 para las plantas mantenidas a capacidad de campo, presentando esta variable diferencias significativas entre tratamientos; estos resultados los explican conforme al alto contenido de agua en el suelo del cultivo durante los primeros periodos de crecimiento como consecuencia de la alta precipitación, situación meteorológica distinta en el presente estudio en el que los volúmenes de agua contenidos por el suelo se debieron principalmente a las láminas de riego aplicado.

Índice de cosecha (IC)

No se evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos ni entre muestreos para esta va-

riable. El mayor IC se obtuvo en un rango de PMS de 10-20 cb con valores de 0,76; 0,70 y 0,67 para los muestreos 1, 2 y 3, respectivamente; seguido por el tratamiento 30-40 cb. Las plantas que mostraron un menor IC fueron las del PMS de 0-60 cb, particularmente en los muestreos 2 y 3 con valores de 0,52 y 0,63 respectivamente (figura 6).

Lavini *et al.* (2008) no encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para esta variable, ya que el IC fue de 0,6 para las plantas cultivadas a capacidad de campo, y de 0,71 para las cultivadas al 33% del volumen de riego necesario para llegar a dicha capacidad; además indican que la MS en las hoja se reduce respecto a la MS total, con el aumento en el volumen de riego, por lo que el IC para el cultivo de estevia disminuye con el incremento en el riego para cada muestreo, aunque sin diferencias notorias. Los resultados obtenidos para esta variable en el presente estudio, confirman esta aseveración ya que en el tratamiento en el que se aplicó más

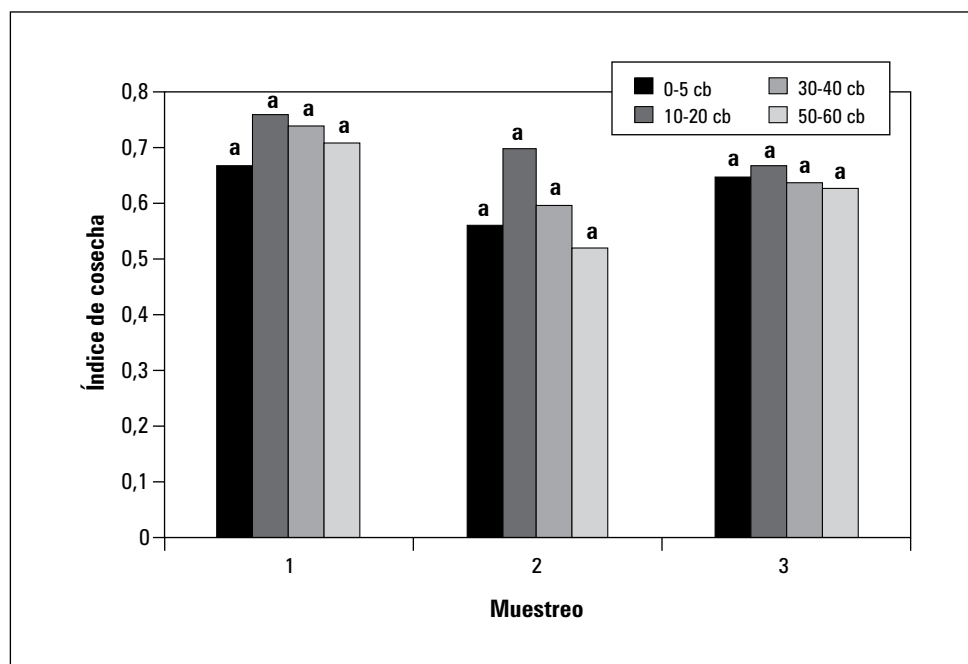


Figura 6. Índice de cosecha obtenido a potenciales mátricos del suelo de 0-5 cb, 10-20 cb, 30-40 cb y 50-60 cb en los muestreos 1 (38 d), 2 (72 d) y 3 (98 d posteriores al trasplante). Promedios con letras distintas en el mismo muestreo indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

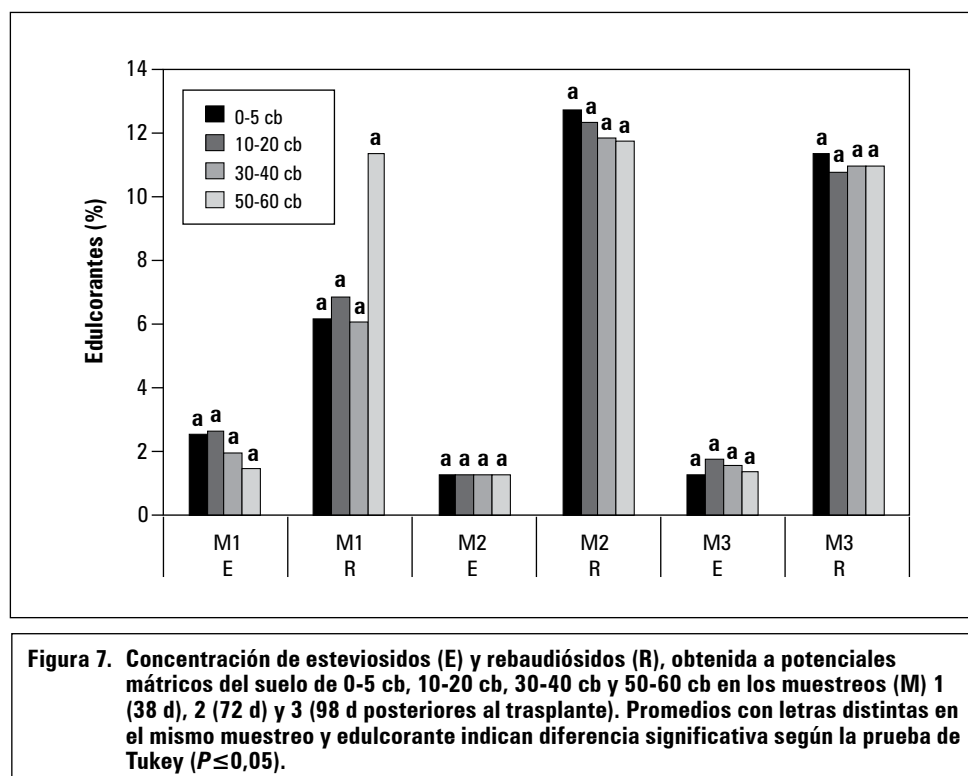
riego (0-5 cb) tendió al menor IC en el primer muestreo, y en el que se aplicó menos riego (50-60 cb), no tuvo valores estadísticamente diferentes a los demás tratamientos (figura 6).

Concentración de edulcorantes

Las concentraciones de rebaudiósidos en hoja fueron mayores a las concentraciones de estevósidos obtenidas para los tres muestreos, presentándose las más altas concentraciones de rebaudiósidos en el muestreo 2 (figura 7). Entre tratamientos aunque no se evidenciaron diferencias estadísticas, las mayores concentraciones de rebaudiósidos se observaron en las plantas a 0-5 cb y 10-20 cb, con 12,7 % y las menores concentraciones en las mantenidas a 50-60 cb con 1,3%. En cuanto a la concentración de estevósidos las mayores concentraciones se evidenciaron en el muestreo 1 y con un PMS de 30-40 cb, con 2,6% y las menores en el muestreo 2 con 1,3%; presentándose diferencias estadísticas significativas entre muestreos mas no entre tratamientos.

Concentraciones diferentes de edulcorantes en hoja reportan Fronza y Folegatti (2003), quienes obtuvieron un máximo de 6,49% de estevósidos para un cultivo de estevia de 8 meses de trasplantado, momento en el que el 10% del cultivo se encontraba en floración y la concentración del edulcorante eran las más altas. Así mismo, reportan similitud entre la concentración de estevósidos en estevia Sakaguchi y Kan (1982) quienes determinaron entre un 5% y 15%.

En el mismo sentido, Lavini *et al.* (2008) afirman que existe una proporción y concentración de edulcorante dependiente del crecimiento y desarrollo del cultivo y por ende no es estable, e independiente de los volúmenes de agua aplicados. Ellos mencionan que la estevia presentó un contenido alto de glucósidos en las hojas jóvenes y uno bajo en las hojas maduras, un 5,76% más de estevósidos y un 6,98% menos de rebaudiósidos con relación a los obtenidos en el presente estudio, evidenciándose interacciones no significativas entre las láminas de riego apli-



cadasy la concentración de edulcorantes, pero significativas entre esta y las condiciones genéticas del cultivo.

Eficiencia en el uso del agua (WUE)

Tanto entre muestreos como entre tratamientos la WUE presentó diferencias significativas, duplicándose en el tercer muestreo respecto al primero con valores superiores a los 2 kg de MS/m³ de agua aplicada. Entre tratamientos la mayor WUE se obtuvo con 50-60 cb con valores de 1,32; 1,34 y 3,05 kg de MS/m³ de agua aplicada en los muestreos 1, 2 y 3, respectivamente. Por el contrario, el menor valor se obtuvo con un PMS de 0-5 cb con 0,82; 1,08 y 2,33 kg de MS/m³ de agua aplicada en los muestreos 1, 2 y 3, respectivamente (figura 8).

Wang *et al.* (2007) señalan una mayor eficiencia en el uso del agua en plantas de tomate sometidas a 50 cb durante 2 años, en el que la WUE fue un 40% mayor (2,53 kg de MS/m³

de agua aplicada) respecto a las plantas que se mantuvieron a 10 cb, en las que la WUE era 2,17 kg m⁻³; presentando el PMS y la WUE una relación lineal. El estudio actual así lo confirma, al conseguirse un mayor valor para esta variable (1,33 veces superior) en las plantas de estevia, sometidas a una rango de PMS entre 50 a 60 cb y reducirse la WUE en la medida en que el PMS tendió a cero.

Para el primer año de un cultivo de estevia, Lavini *et al.* (2008) reportan el uso de 1 m³ de agua para la acumulación de 1 kg de biomasa en el tratamiento a capacidad de campo (10-20 cb), y de aproximadamente 1,6 kg en el tratamiento al que se le aplicó el 33% del agua requerida para llegar a dicha capacidad de campo, evidenciándose, por lo tanto, una reducción en la WUE a medida en que aumentaron los volúmenes de riego. Nishihara *et al.* (2001) observaron un comportamiento igual en espinaca, donde se obtuvieron mayores valores de WUE (hasta 1,59 veces superior) en plantas sometidas a PMS bajos, respecto

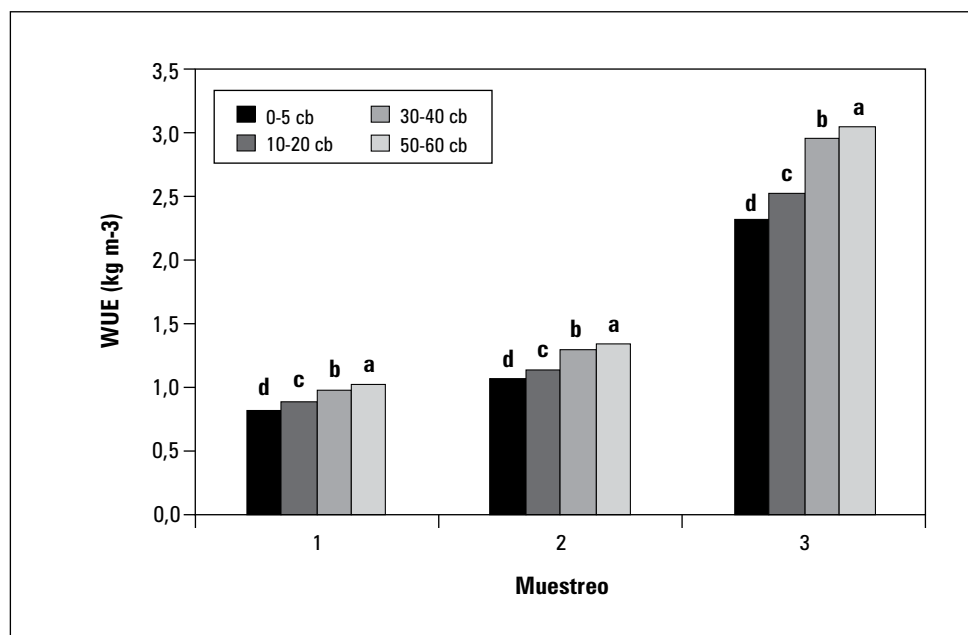


Figura 8. Eficiencia en el uso del agua (WUE), obtenida a potenciales mátricos del suelo de 0-5 cb, 10-20 cb y 30-40 cb y 50-60 cb en los muestreos 1 (38 d, 2 (72 d) y 3 (98 d posteriores al trasplante). Promedios con letras distintas en el mismo muestreo indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

a las cultivadas a PMS intermedios, resaltando el valor comercial de aquellas como menor.

CONCLUSIONES

Los resultados sugieren que un potencial mátrico del suelo entre 10 y 20 cb favorece los mayores valores para las variables longitud de tallos y ramas, MS foliar, índice de área foliar, concen-

tración de edulcorantes e índice de cosecha en el cultivo de estevia var. Morita II, esta última con hasta 40 cb de tensión. Un potencial mátrico del suelo entre 50 cb y 60 cb puede ser un buen indicador de la eficiencia del riego por goteo para emisores colocados a 20 cm del cuello de raíz de la planta. Dada la WUE obtenida bajo el sistema de riego por goteo, se recomienda su evaluación bajo otros sistemas y en etapas superiores a la abordada en este estudio.

AGRADECIMIENTOS

A la División de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (DIB) y a su programa "Proyectos de investigación, desarrollo, innovación y creación artística de la DIB" a través del cual se financió el proyecto "Determinación de las frecuencias y necesidades de riego para el cultivo de la estevia (*Stevia rebaudiana* Bert.) por el método tensiométrico"; y a la Fundación Colombiana para el Fomento Social FUNCFOS por el apoyo logístico y su acompañamiento en el mencionado proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado G., A.E. y L.E. Ochoa F. 2008. Manejo agronómico de la estevia (*Stevia rebaudiana* Bert.) en el piedemonte llanero. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja, Colombia.
- Andolfi, L., M. Macchia y L.Ceccarini. 2006. Agronomic-productive characteristics of two genotypes of *Stevia rebaudiana* in Central Italy. Ital. J. Agron. 1, 257-263
- Brady, N.C. y R.R. Weil. 2002. The nature and properties of soils. 13th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.
- Cuervo, J.L. 2012. Manual de los cultivos de albahaca, menta y estevia. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Fronza, D. y M. Folegatti, 2003. Water consumption of the estevia (*Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni) crop estimated through microlysimeter. Sci. Agric. 60(3), 595-599.
- Fuentes, J.L. y G. García. 1999. Técnicas de riego. Ed. Mundi-Prensa, México, D.F.
- Gurovich, L.A. 2009. El agua en el suelo, pp. 61-72. En: Gurovich, L.A. (ed.). Riego superficial tecnificado. 2a ed. Editorial Universidad Católica de Chile, Santiago.
- Incoder-Corpoica. 2005. Zonificación Agroecológica, Evaluación Económica y Organización Socio empresarial de Sistemas de Producción Prioritarios en el Área de Desarrollo Rural sur Oriente del Tolima. En: http://www.incoder.gov.co/documentos/estrategia%20de%20Desarrollo%20Rural/Pertiles%20Territoriales/ADR_SURDELTOLIMA/Documentos%20de%20apoyo/Zonificacion%20agroecologica%20Tolima.pdf2005; consulta: marzo de 2013.

- Lavini, A., M. Riccardi, C. Pulvento, S. de Luca, M. Scamosci y R. d'Andria. 2008. Yield, quality and water consumption of *Stevia rebaudiana* Bertoni grown under different irrigation regimes in Southern Italy. *Ital. J. Agron.* 2, 135-143.
- López, L. y L. Peña. 2004. Plan estratégico para la creación de una empresa dedicada a la producción y comercialización de edulcorante a base de stevia. Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Industrial, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Martínez-Bernal, L. 2009. Determinación del requerimiento hídrico de la albahaca (*Ocimum basilicum*) y comparación de dos sistemas de microirrigación (microaspersión y goteo) en condiciones de clima frío, bajo invernadero. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Nishihara, E., M. Inoue, K. Kondo, K. Takahasui, N. Nakata. 2001. Spinach yield and nutritional quality affected by controlled soil water matric head. *Agric. Water Manage.* 51, 217-229.
- Palacios, E. 2002. ¿Por qué, cuándo, cuánto y cómo regar? para lograr mejores cosechas. 2a. ed. Editorial Trillas, México D.F.
- Patiño, M. y C. Urrea. 2003. Estudio de las necesidades de riego del cultivo de la menta bajo invernadero en la Sabana de Bogotá. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Prada-Albornoz, C. 2005. Evaluación del potencial hídrico óptimo del clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) (variedad Nelson). Trabajo de grado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Sakaguchi, M. y T. Kan. 1982. Japanese researches on *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni and stevioside. *Ci. Cult.* 34, 235-248.
- Sánchez-Díaz, M. y J. Aguirreolea. 2000. Capítulo 4: Transporte de agua y balance hídrico en la planta. pp. 53-57. En: Azcon-Bieto, J. y M. Talón (ed.). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw Hill/Interamericana de España, Barcelona.
- Torrente, T.A. 2009. Potencial de agua en el suelo y su relación hídrica en los cultivos de passifloras, granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) y maracuyá (*Passiflora edulis*) en el Huila. Grupo de Investigación GHIDA, Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia.
- Wang D., K. Yaohu y W. Shuqin. 2007. Effect of soil matric potential on tomato yield and water use under drip irrigation condition. *Agr. Water Manage.* 87, 180-186.
- Xing-Wang, F., Y. Kang, S. Liu-Ping y X. Yan-Hou. 2007. Effects of soil matric potential on potato growth under drip irrigation in the North China Plain. *Agr. Water Manage.* 88, 34-42.