

# EVAPOTRANSPIRACIÓN Y COEFICIENTES DE CULTIVO ( $K_c$ ) DE STEVIA [*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni] BAJO CONDICIONES PARCIALMENTE PROTEGIDAS

Gustavo Villafañe<sup>1</sup>, Carmen Basso<sup>1</sup> y Roberto Villafañe<sup>1</sup>

## RESUMEN

La evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) de una zona y el coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) representan parámetros necesarios para determinar los requerimientos hídricos de las plantas. El objetivo de este estudio fue determinar la tasa de evapotranspiración ( $ET_c$ ) y  $K_c$  del cultivo de stevia en diferentes etapas de su desarrollo, según la propuesta FAO, mediante el empleo de cuatro lisímetros de drenaje instalados dentro de un cobertizo parcialmente protegido. La  $ET_o$  fue obtenida de un atmómetro ET gage modelo A. Los lisímetros tenían 0,25 m de profundidad efectiva, 0,4 m de ancho y 1 m de largo. Cada lisímetro contó con cuatro plantas de stevia colocadas en hilera con 25 cm de separación. El balance de agua en los lisímetros se llevó a cabo tres veces por semana durante nueve semanas. Después de la cosecha se realizó un segundo experimento con igual manejo y duración. En ambos experimentos se midió la altura de las plantas, el diámetro de la copa, y los pesos secos de tallos y hojas, y se encontró que no hubo diferencias en el crecimiento entre las plantas ubicadas dentro y fuera de los lisímetros. La  $ET_c$  promedio fue 1,47 y 1,12 mm·día<sup>-1</sup> en los experimentos 1 y 2. Los valores promedios de  $K_c$  fueron 0,36, 0,59 y 0,55 para las etapas I, III y IV, respectivamente, mientras que en la etapa II el  $K_c$  incrementó desde 0,36 hasta 0,59. La duración de cada una de las cuatro etapas fue 38, 14, 4 y 4 días, respectivamente en ambos experimentos.

**Palabras clave adicionales:** Atmómetro, balance hídrico, lisímetros de drenaje, riego por goteo

## ABSTRACT

### Evapotranspiration and crop coefficients ( $K_c$ ) of stevia [*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni] under greenhouse conditions

The reference evapotranspiration ( $ET_o$ ) of a zone and the crop coefficient ( $K_c$ ) represent important data necessary to determine the water requirements of plants. The objective of this study was to determine the crop evapotranspiration ( $ET_c$ ) and  $K_c$  of plants of stevia at different stages of development, as proposed by FAO, by employing four free-drainage lysimeters installed inside a greenhouse. The  $ET_o$  was estimated using an atmometer ET gage model A. The lysimeters were 0.25 m effective depth, 0.4 m wide and 1 m long, and within each of them four plants of stevia were transplanted 25 cm apart in a row. The water balance in lysimeters was determined three times a week during nine weeks. After harvest, a similar second experiment was conducted. Plant height, canopy diameter, and stem and leaves dry weight were measured, and it was found no differences in growth between plants inside and outside lysimeters. The mean  $ET_c$  was 1.47 and 1.12 mm·día<sup>-1</sup> in the experiments 1 and 2. Mean values of  $K_c$  for stages I, III and IV were 0.35, 0.59 and 0.55, respectively, while the  $K_c$  for stage II increased from 0.35 to 0.59. Stages I, II, III and IV lasted 38, 14, 4, and 4 days, respectively, in both experiments.

**Additional key words:** Atmometer, drip irrigation, free-drainage lysimeters, hídric balance

## INTRODUCCIÓN

La stevia [*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni] es una planta que en los últimos años ha generado gran interés en Venezuela por su alto potencial edulcorante sin carga calórica (Madan et al., 2010), dado que su poder para proveer sabor dulce no proviene de carbohidratos sino de glucósidos con mayor poder endulzante que la sacarosa (Brücher, 1986).

Existen algunos estudios relacionados con los requerimientos hídricos de esta planta (González et. al., 2002; Fronza y Folegatti, 2003; Lavini et al., 2008) pero los reportes no se ajustan a las fases de crecimiento y desarrollo que propone FAO (Doorenbos y Pruitt, 1977; Allen et al., 2006). Por esta razón se realizó este estudio para generar información sobre la evapotranspiración y los coeficientes de cultivo de esta planta, desde el trasplante hasta el primer corte, bajo condiciones

Recibido: Julio 16, 2015

Aceptado: Marzo 4, 2016

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay. Apdo. 4579. e-mail: r.villafae@gmail.com

parcialmente protegidas siguiendo la metodología de la FAO.

## MATERIALES Y MÉTODOS

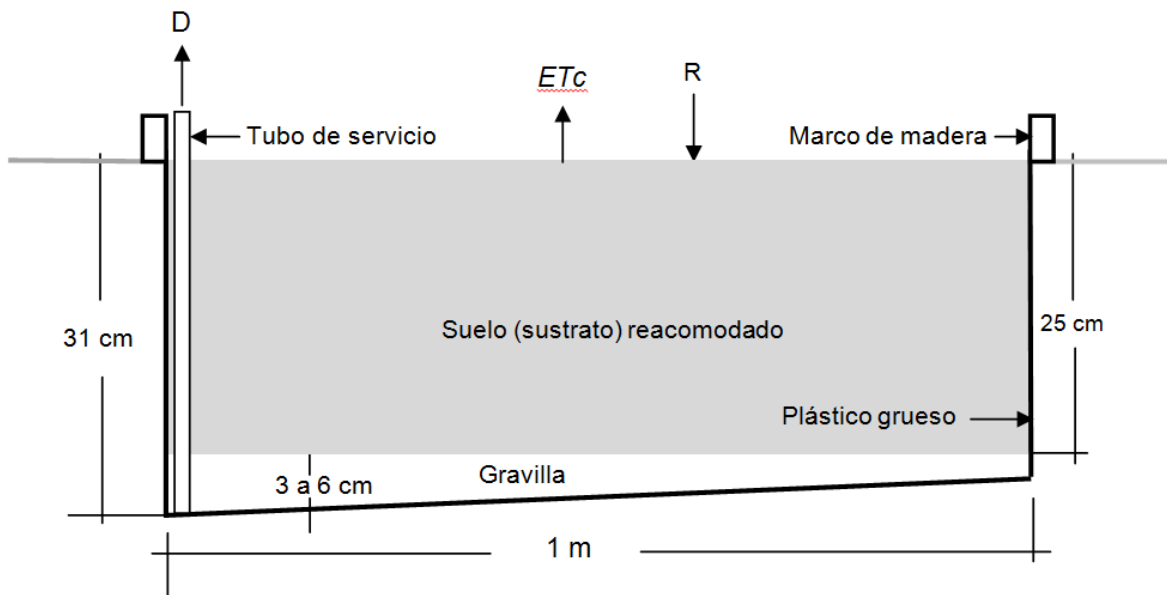
El estudio se realizó dentro de un cobertizo tipo multi-capilla, de techo curvo, con 8 m de ancho y 22 m de largo. Las paredes eran de malla plástica de 2 mm de abertura, lo que permitía adecuado intercambio del aire con el exterior. Es decir, existieron condiciones parcialmente protegidas.

La estructura contenía en toda su longitud 14 canteros de 0,4 m de ancho y calles de 0,7 m. El ensayo contempló el uso de 12 m lineales de cantero cultivados con plantas de stevia, las cuales recibían el agua mediante cintas de riego. Dado que la distancia entre ejes de canteros era de 1,1 m, la fracción máxima de área mojada fue 0,36.

Se instalaron cuatro lisímetros, cada uno utilizando un metro lineal de cantero, en la parte central del área experimental. Para ello, se extrajo en forma cuidadosa el suelo del cantero hasta una

profundidad de 28 cm en un extremo y 31 cm en el otro, de forma de que el fondo tuviera un desnivel de 3 cm para permitir que el agua de percolación se concentrara en la parte más profunda y se facilitara su extracción mediante succión (Figura 1).

Se cubrió el fondo y las paredes de la excavación con un plástico negro resistente y se colocó una capa de gravilla de 3 cm de espesor en el lado menos profundo y 6 cm en el lado más profundo, con lo cual se obtuvo una profundidad neta del lisímetro de 25 cm. Sobre la capa de gravilla se colocó una malla plástica tipo mosquitero y sobre ella una cubierta de tela para evitar el paso del suelo al material gravoso. Luego se repuso el suelo extraído, se compactó para lograr la densidad aparente original y se descartó el material sobrante. Se instaló un tubo de servicio de forma vertical en la parte más profunda dejando el extremo superior 5 cm sobre la superficie. Se protegieron los bordes del lisímetro para evitar entradas o salidas de agua de escorrentía.



**Figura 1.** Esquema de los lisímetros utilizados. D: drenaje; R: riego; *ETc*: evapotranspiración del cultivo

El suelo en el lisímetro era de textura areno-francosa (78 % arena y 6 % arcilla) con una densidad aparente de  $1,62 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$  y un contenido gravimétrico de humedad de 8,63; 7,12 y 4,72 % a los potenciales mátricos de -33, -100 y -300 kPa, respectivamente. Cada lisímetro albergó una

hilera de cuatro plantas separadas a 25 cm.

El cálculo del balance de agua en los lisímetros se realizó desde el momento del trasplante hasta el primer corte de la stevia en dos experimentos consecutivos: uno del 3 de mayo al 2 de julio (60 días) y otro del 20 de agosto al 17 de octubre (58

días), ambos en el año 2014. En los dos casos se utilizaron plantas de dos meses de edad. A los 15 días después del trasplante (ddt) en el experimento 1 se realizó la poda de los ápices de las ramas para promover la ramificación, mientras que en el experimento 2 las plantas fueron podadas un día antes del trasplante.

**Obtención de la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) y del cultivo ( $ET_c$ ).** El riego de los lisímetros, al igual que el área de bordura, se realizó cada 2 ó 3 días (tres riegos por semana) y en cada riego se determinó el balance de agua durante nueve semanas. Se llevó un registro de las cantidades de agua aplicadas con la ayuda de un contador volumétrico instalado en el cabezal de riego, y de manera frecuente se aforaron los goteros que surtían a los lisímetros para corroborar el volumen aplicado.

A las 24 horas después del riego se extraía el agua de percolación mediante la introducción de una manguera a través del tubo de servicio y se aplicaba vacío utilizando una bomba de succión manual.

Tomando en cuenta las sugerencias de Aboukhaled et al. (1986), en cada riego se aseguraba que el suelo llegara a máxima capacidad de almacenamiento y el agua sobrante percolara. De esta forma, en los riegos sucesivos la diferencia entre el agua aplicada y el agua percolada correspondía al agua evapotranspirada ( $ET_c$ ). Para el cálculo, en cada evento se restó el volumen de agua aportado menos el volumen percolado y se dividió entre el área del lisímetro. Este resultado se multiplicaba por la fracción de área mojada para obtener la lámina de  $ET_c$ .

Los valores de  $ET_o$  fueron obtenidos en un atmómetro marca ETgage modelo A, un dispositivo cuya efectividad ha sido comprobada por Magliulo et al. (2003) y Gavilán y Castillo (2009). Este instrumento fue instalado dentro del cobertizo y su medición se realizó antes de cada riego. La  $ET_o$  se obtenía por diferencia con la lectura realizada antes del riego anterior.

**Obtención de los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ).** Los valores de  $K_c$  se calcularon a partir de la relación entre los valores de  $ET_c$  obtenidos en los balances hídricos y los de  $ET_o$  obtenidos con el atmómetro.

El valor de  $K_c$  obtenido era multiplicado por el valor de  $ET_o$  para calcular la lámina de riego (R) a aplicar mediante la expresión  $R = 1,2 \cdot ET_o \cdot K_c$ , es

decir, se incrementaba la lámina con el factor 1,2 para garantizar un 20 % de percolación.

Los valores de  $K_c$  de cada 2 y 3 días se convirtieron a valores semanales para realizar la gráfica de esta variable en función del tiempo.

La construcción de la curva de  $K_c$  se hizo considerando la división del ciclo agronómico de los cultivos propuesta por Doorenbos y Pruitt (1977) y Allen et al. (2006). Para ello se dividió el ciclo del cultivo en las etapas que definen su fenología o desarrollo, considerando que la planta es perenne y los cortes se suelen realizar cada 54 a 104 días dependiendo del cultivar (Madan et al., 2010). Las etapas fueron las siguientes:

- Etapa inicial (I): comprendida entre la fecha de siembra o trasplante hasta que el cultivo alcanza el 10 % de la cobertura del suelo e inicia su crecimiento acelerado.
- Etapa de desarrollo del cultivo (II): va desde el final de la etapa inicial hasta que el cultivo cubre completamente el suelo o las plantas alcanzan su máximo desarrollo foliar.
- Etapa de floración (III).
- Cese del riego para el corte (IV).

Siguiendo estas consideraciones, se colocaron los valores promedios diarios por semana de  $K_c$  obtenidos en los cuatro lisímetros y en ambos experimentos, es decir, cuatro valores por semana y por experimento. Sobre los puntos graficados se construyó el modelo que definió la duración de las etapas y los valores de  $K_c$ . Se incluyó la dispersión en cada valor promedio.

**Manejo del cultivo.** La fertilización del cultivo se realizó conjuntamente con el riego mediante un equipo dosificador proporcional hidráulico. Las dosis aplicadas por riego fueron 37,3 mg por planta de la fórmula 46-0-0; 8,7 mg por planta de la fórmula 12-61-0 y 64,0 mg por planta de la fórmula 13-3-46. Adicionalmente se hicieron aplicaciones foliares de calcio y microelementos. Se aplicó control fitosanitario cuando se requirió y el control de las malezas se llevó a cabo en forma manual tres veces por semana. La cosecha se realizó cuando se observaron las primeras flores, para lo cual las plantas fueron cortadas a 15 cm sobre el nivel del suelo.

En las 16 plantas de los lisímetros y en igual número fuera de ellos, se evaluaron la altura y el diámetro promedio de la copa de la planta cuatro días antes de la cosecha. Luego, al momento de la cosecha se determinó el peso de tallos y hojas

luego de secados en estufa a 50 °C durante 24 horas.

Los resultados de estas variables de la planta se agruparon por ubicación (plantas fuera y plantas dentro de los lisímetros) para comparar sus medias y apreciar si habían tenido un comportamiento diferente. Para esto se utilizó la prueba de Wilcoxon para suma de rangos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1 muestra los valores promedio para las diferentes variables de crecimiento de las plantas. Se destaca que no hubo diferencias significativas en las respuestas dentro o fuera de

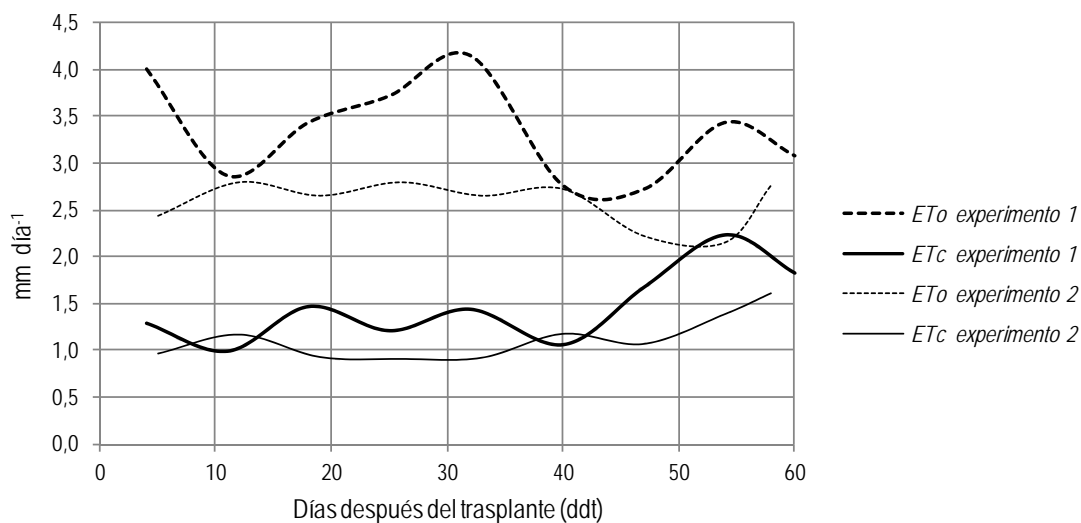
los lisímetros en ambos experimentos, lo que permite señalar que estos instrumentos no ejercieron alteración alguna en el comportamiento de las plantas.

**Comportamiento de *ETo* y *ETc*.** En la Figura 2 se muestran las variaciones de la *ETo* y la *ETc* con el tiempo, y se observa que la *ETo* promedio diaria en el experimento 1 fue de 3,35 mm·día<sup>-1</sup> y en el experimento 2 de 2,57 mm·día<sup>-1</sup>. En cuanto a la *ETc*, los valores fueron 1,47 y 1,12 mm·día<sup>-1</sup> en ambos experimentos, respectivamente. Se destaca que la separación entre las curvas de *ETo* y *ETc* en cada experimento se redujo al aproximarse a los 40 ddt, lo cual es un reflejo del aumento de los valores de *Kc* con el tiempo.

**Cuadro 1.** Valores promedio diferentes variables de crecimiento vegetativo de plantas de stevia ubicadas dentro y fuera de los lisímetros durante la realización de dos experimentos sucesivos

Experimento	Ubicación de las plantas	Altura de planta (cm)	Diámetro de la copa (cm)	Peso seco del tallo (g)	Peso seco de hojas (g)
1	Fuera del lisímetro	31,13 a	29,38 a	2,43 a	7,53 a
	Dentro del lisímetro	35,06 a	28,97 a	2,99 a	7,76 a
2	Fuera del lisímetro	32,72 a	30,82 a	1,96 a	4,60 a
	Dentro del lisímetro	30,30 a	27,37 a	2,28 a	4,02 a

Medias con letras iguales dentro de columnas por experimento indican igualdad de medias. Prueba de Wilcoxon ( $P \leq 0,05$ )



**Figura 2.** Evapotranspiración de referencia promedio (*ETo*) y evapotranspiración del cultivo (*ETc*) en plantas de stevia durante dos experimentos sucesivos

**Coefficientes de cultivo (*Kc*).** En la Figura 3 se muestran los valores promedio diarios por semana de *Kc* obtenidos, así como la curva general para ambos experimentos (línea quebrada). Se puede

observar que en los primeros 38 ddt los valores oscilaron ligeramente alrededor de un promedio de 0,35 y luego mostraron un crecimiento sostenido, lo que indicó el cambio de la etapa I a

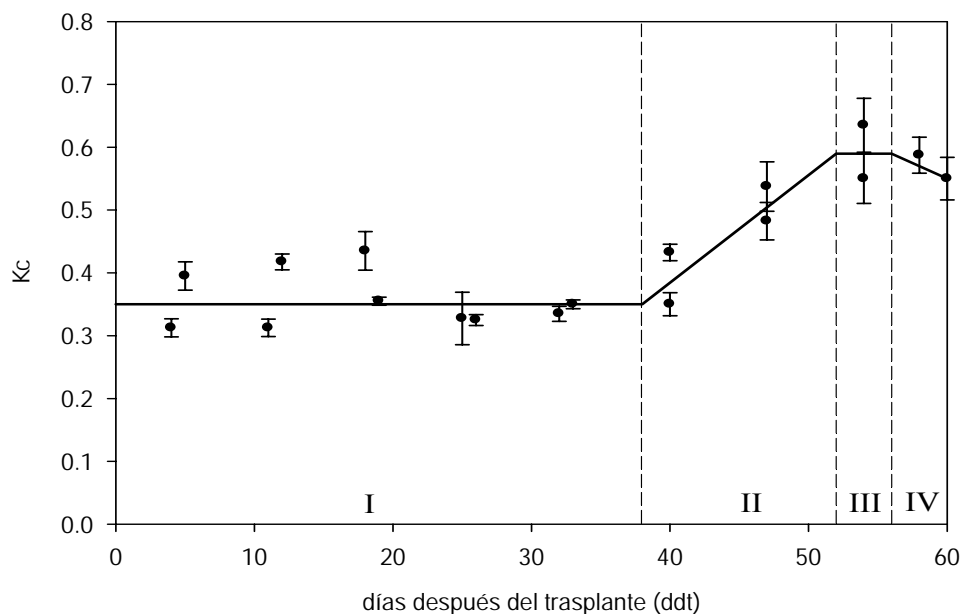
la etapa II. Se observa que después que se alcanzaron los valores máximos (etapa III) ocurrió un descenso sostenido, lo que indicó el cambio de la etapa III a la etapa IV. El promedio más alto observado en la etapa I, entre los 17 y 21 ddt, se atribuye a que en ese lapso de tiempo se estuvo aplicando riego diariamente en el experimento 1. Tal como señalan Doorenbos y Pruitt (1977) y Allen et al. (2006), al aumentar la frecuencia del riego en la etapa I de un cultivo (plantas aún pequeñas, con poca área foliar) la evaporación directa del agua del suelo superficial húmedo aumenta y esto conduce a un aumento del valor de  $K_c$ .

De acuerdo con la información de la Figura 3, los valores promedio de  $K_c$  obtenidos para las etapas I, III y IV de ambos experimentos fueron

0,35; 0,59 y 0,55 respectivamente. El  $K_c$  en la etapa II aumentó de 0,35 a 0,59. La duración correspondiente, en días, fue de 38 para la etapa I, 14 para la etapa II, 4 para la etapa III y 4 para la etapa IV. La relación entre la  $ET_c$  y la  $ET_o$  en los experimentos arrojó un  $K_c$  global cuyo valor resultó 0,44.

Un aspecto a destacar de la Figura 3 es la dispersión observada en algunos valores de  $K_c$  lo cual se atribuye al desarrollo diferencial de las plantas dentro de los lisímetros.

Los valores de  $K_c$  obtenidos en este estudio representan un aporte para el conocimiento y determinación de los requerimientos hídricos, según la etapa de desarrollo fenológico de la stevia, cultivada en condiciones parcialmente protegidas y con el marco de plantación indicado.



**Figura 3.** Valores del coeficiente  $K_c$  obtenidos en dos experimentos sucesivos con plantas de stevia en función de la etapa fenológica de desarrollo

## CONCLUSIONES

La evapotranspiración de referencia promedio diaria ( $ET_o$ ) fue 3,35 mm·día<sup>-1</sup> en el experimento 1 y 2,57 mm día<sup>-1</sup> en el experimento 2.

La evapotranspiración del cultivo promedio diaria ( $ET_c$ ) fue 1,47 mm día<sup>-1</sup> en el experimento 1 y 1,12 mm·día<sup>-1</sup> en el experimento 2.

Los valores promedios de  $K_c$  obtenidos en ambos experimentos fueron 0,35 para la etapa I, 0,59 para etapa III y 0,55 para la etapa IV, y la

duración de las etapas fue de 38, 14, 4 y 4 días para las etapas de la I a la IV.

## AGRADECIMIENTO

Al Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT), ente financiador de esta investigación mediante subvención al Proyecto N° 2013001817 con recursos provenientes de los aportes establecidos en la Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación (LOCTI).

## LITERATURA CITADA

1. Aboukhaled, A., A. Alfaro y M. Smith. 1986. Los lisímetros. Estudio FAO Riego y Drenaje 39. FAO. Roma. 60 p.
2. Allen, R., L. Pereira, D. Raes y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Roma. 298 p.
3. Brücher, H. 1986. Useful plants of Neotropical Origin and their Wild Relatives. Springer-Verlag. New York. 296 p.
4. Doorenbos, J. y W. Pruitt. 1977. Crop water requirements. Irrigation and drainage paper 24. FAO. Rome. 144 p.
5. Fronza, D. y M. Folegatti. 2003. Water consumption of the stevia [*Stevia rebaudiana* (Bert.) Bernoti] crop estimated through microlysimeter. *Scientia Agricola* 60: 595-599.
6. Gavilán, P. y F. Castillo. 2009. Estimating reference evapotranspiration with atmometers in a semiarid environment. *Agricultural Water Management* 96: 465-472.
7. González, R., J. Paniagua y E. Mayeregger. 2002. Necesidad de agua para el cultivo de stevia (*Stevia rebaudiana*, Bert.), calculada sobre la base de lecturas de microlisímetros. *Investigación Agraria* 4: 19-24.
8. 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. *Riv. Agron.* 2: 135-143.
9. Madan, S., S. Ahmad, G. Singh, K. Kohli, Y. Kumar, R. Singh y M. Garg. 2010. *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni - A Review. *Indian Journal of Natural Products and Resources* 1: 267-286.
10. Magliulo, V., R. d'Andria y G. Rana. 2003. Use the modified atmometer to estimate reference evapotranspiration in Mediterranean environments. *Agricultural Water Management* 63: 1-14.