

## Cuantificación microlisimétrica del consumo de agua en la nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd.)\*

### Microlysimetric quantification of water consumption in poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd.)

Pedro Pacheco-Hernández<sup>1§</sup>, Manuel de Jesús Sainz-Aispuro<sup>2</sup>, Irán Alia-Tejaca<sup>2</sup>, Ramón Arteaga-Ramírez<sup>3</sup>, Oscar Gabriel Villegas-Torres<sup>2</sup> y Helene Emmi Karin Unland-Weiss<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532 Progreso, Jiutepec, Morelos. C. P. 62550. <sup>2</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad Núm. 1001, Cuernavaca, Morelos. 62209. <sup>3</sup>Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 35.6, Chapingo, Estado de México. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: ppacheco@tlaloc.imta.mx.

#### Resumen

Se acondicionó un invernadero experimental en Jiutepec, Morelos, México, para llevar a cabo la producción de un cultivo de nochebuena bajo condiciones de ambiente protegido de agosto a noviembre de 2012. Se dio un seguimiento preciso tanto a las condiciones climáticas como al desarrollo fenológico del cultivo. Los siguientes parámetros meteorológicos se registraron en intervalos de 15 min, al interior y al exterior del invernadero: velocidad y dirección del viento, radiación solar, temperatura y humedad relativa. Como referencia, se midió también la precipitación fuera del invernadero. El requerimiento de riego o evapotranspiración (ET) real (ET<sub>r</sub>) de la nochebuena se midió con ocho microlisímetros de balance en macetas de polietileno de 15 cm de diámetro con sustrato hoja/tezontle/fibra de coco en proporción 60:20:20, resultando en 40, 70, 150 y 122 mL día<sup>-1</sup> en las semanas 1, 4, 10 y 13 después del trasplante (DDT), respectivamente. Con base en los datos de los sensores meteorológicos se estimó la ET de referencia (ET<sub>o</sub>) usando el algoritmo de Penman Monteith (PM) dentro y fuera del invernadero. Se calculó el coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>), semanal y mensual de la nochebuena en invernadero, a partir de información climática dentro, resultando en K<sub>c</sub> de 0.22, 0.44, 0.54 y 0.43 en las semanas 1, 5, 11 y 13 DDT y de 0.21, 0.36, 0.39 y 0.3 en los meses 1, 2, 3 y 4 DDT, respectivamente.

#### Abstract

An experimental greenhouse was conditioned in Cuernavaca, Morelos, Mexico, to carry out the production of poinsettia crop under protected ambient conditions, from August to November 2012. Giving an accurately follow for both, the climatic conditions and the phenological development of the crop. The following meteorological parameters were recorded every 15 min, inside and outside the greenhouse: Wind speed and direction, solar radiation, temperature and relative humidity. For reference, the precipitation was also measured outside the greenhouse. The irrigation requirement or evapotranspiration (ET) Real (ET<sub>r</sub>) of the poinsettia was measured with eight weighing microlysimeters in polyethylene pots 15 cm in diameter with leaf/tezontle/coir substrate in proportion of 60:20:20, resulting at 40, 70, 150 and 122 mL day<sup>-1</sup> at the weeks 1, 4, 10 and 13 after transplanting (DAT), respectively. Based on data from weather sensors reference ET (ET<sub>o</sub>) is estimated using the algorithm of Penman Monteith (PM) in and out of the greenhouse. The poinsettia crop coefficient (K<sub>c</sub>) was weekly and monthly measured in the greenhouse based in the inside climate information, resulting in K<sub>c</sub> of 0.22, 0.44, 0.54 and 0.43 at the weeks 1, 5, 11 and 13 DDT and 0.21, 0.36, 0.39 and 0.3 at months 1, 2, 3 and 4 DDT, respectively.

\* Recibido: marzo de 2014  
Aceptado: septiembre de 2014

**Palabras clave:** agricultura protegida, coeficiente de cultivo, demanda hídrica.

**Keywords:** crop coefficient, protected agriculture, water demand.

## Introducción

El consumo de agua por las plantas siempre se ha tomado como un elemento del manejo del cultivo y en consecuencia del diseño y la operación de los sistemas de riego, el cual en general se estima de manera general; debido a que los métodos y equipos de medición son difíciles de manejar y de alto costo de adquisición y operación. Los métodos más precisos para medir el consumo de agua son los lisímetros, tanto de pesada como de balance o drenaje. También se pueden emplear métodos micrometeorológicos como el método del balance de energía o el método de la correlación turbulenta, ambos iguales o más caros que los lisímetros. Considerando lo anterior, un método intermedio y ampliamente aceptado es el de Penman Monteith, que se basa en datos agrometeorológicos.

La microlisimetría o minilicimetría ha sido ampliamente desarrollada para estudios de flujo de solutos y de evaporación del agua a suelo desnudo en los últimos años, sin embargo éstos no han sido consistentes en la cuantificación del consumo del agua por las plantas en general (Daamen *et al.*, 1993; Wythers *et al.*, 1995; Bremer, 2005) y en particular, en el cultivo de nochebuena bajo condiciones de agricultura protegida (Broembsen, 1994; Shuch *et al.*, 1995; Morvant *et al.*, 1998).

La ecuación general de balance hídrico en el sistema planta-suelo-atmósfera es:

$$P + Irr = ETr + ES + PP \pm \Delta\Theta \quad 1)$$

Donde: P= precipitación ocurrida durante el periodo de medición (mm); Irr= agua aplicada mediante el método definido (mm); ETr= evapotranspiración real del cultivo (mm); ES= Escurrimiento superficial (mm); PP= percolación profunda (mm); y  $\Delta\Theta$ = variación en el contenido de humedad en el suelo (mm).

La ETr se calcula con ecuación 2:

$$ETr = Kc ETo \quad 2)$$

## Introduction

Water consumption by plants has been always considered as an element of crop management and consequently the design and operation of irrigation systems, which frequently is broadly estimated; because the measurement methods and equipment are difficult to manage and costly for acquisition and operation as well. The most accurate methods for measuring water consumption are the lysimeters, both weighing and balance or drainage. We can also use micro-meteorological methods like energy balance method or the method of the turbulent correlation, either the same or more expensive than the lysimeters. Considering the above, an intermediate and widely accepted method is the Penman Monteith, based on agro-meteorological data.

The microlisimetry or minilicimetry has been extensively developed to study the flow of solutes and water evaporation bare in ground during the recent years; however, they have not been consistent in the quantification of water consumption by plants in general (Daamen *et al.*, 1993; Wythers *et al.*, 1995; Bremer, 2005) and in particular poinsettia cultivation under protected agriculture conditions (Broembsen, 1994; Shuch *et al.*, 1995; Morvant *et al.*, 1998).

The general equation of water balance in the soil-plant-atmosphere system is:

$$P + Irr = ETr + ES + PP \pm \Delta\Theta \quad 1)$$

Where: P= precipitation occurred during the measurement period (mm); Irr= water applied by the defined method (mm); ETr= actual crop evapotranspiration (mm); ES= Surface runoff (mm); PP= deep percolation (mm); and  $\Delta\Theta$ = change in moisture content in the ground (mm).

ETr is calculated with Equation 2:

$$ETr = Kc ETo \quad 2)$$

Where: Kc= crop coefficient, depending on their physiological and anatomical features; ETo= reference crop evapotranspiration (mm).

Donde:  $K_c$ = coeficiente del cultivo, en función de sus características fisiológicas y anatómicas;  $E_{To}$ = evapotranspiración del cultivo de referencia (mm).

El método aceptado como estándar por la FAO, Doorenbos y Pruitt (1990), para estimar la evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ) es el método de Penman Monteith. Este método se basa en la estimación de la evapotranspiración de un cultivo de referencia de cobertura completa, bien regado y con un albedo (reflectividad) de 0.23, similar al pasto corto (altura de 0.12 m). Para lo anterior se considera la energía radiante absorbida (la energía disponible para evaporación: radiación neta menos flujo de calor en el suelo), la velocidad del viento y el déficit de vapor atmosférico.

El algoritmo de Penman Monteith se presenta en la ecuación 3 (Allen *et al.*, 2006):

$$E_{To} = \frac{1}{\lambda} \left[ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} \right] [R_n - G] + \frac{M_w}{R\theta} \left[ \frac{\gamma^*}{\gamma^* + \Delta} \right] \frac{D}{r_v} \quad 3)$$

Donde:  $E_{To}$ = evapotranspiración de referencia [ $\text{mm s}^{-1}$ ]; se debe multiplicar por 3 600 para convertirlo a [ $\text{mm h}^{-1}$ ];  $R_n$ = radiación neta [ $\text{kW m}^{-2}$ ];  $G$ = densidad de flujo de calor del suelo [ $\text{kW m}^{-2}$ ];  $M_w$ = masa molecular del agua [ $0.018 \text{ kg mol}^{-1}$ ];  $R$ = constante universal de los gases [ $8.31 \text{ e}^{-3} \text{ kJ (mol K)}^{-1}$ ];  $\theta$ = temperatura estándar a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  [ $293\text{K}$ ];  $D$ = déficit de presión de vapor del aire [ $\text{kPa}$ ];  $\lambda$ = calor latente de vaporización del agua [ $2 450 \text{ kJ kg}^{-1}$ ];  $r_v$ = resistencia de la capa límite y superficie foliar al flujo de vapor [ $\text{s m}^{-1}$ ];  $\Delta$ = pendiente de la función de presión de vapor a saturación [ $\text{Pa }^\circ\text{C}^{-1}$ ];  $\gamma^*$ = constante psicométrica aparente [ $\text{Pa }^\circ\text{C}^{-1}$ ].

El cálculo de la  $E_{To}$  con la ecuación de Penman Monteith usa datos climatológicos horarios obtenidos de estaciones agrometeorológicas automatizadas. El uso algoritmo de Penman Monteith en invernaderos para estimar la evapotranspiración es ampliamente revisado por Willits (2003), para el cultivo de jitomate; asimismo, Baille *et al.* (1994) reporta buenos niveles de precisión en la determinación de la evapotranspiración de nueve ornamentales en contenedor.

Fox *et al.* (1992) propusieron un modelo tipo sinusoidal para estimar el coeficiente de cultivo, sin embargo, su modelo iniciaba de cero en la primera etapa fenológica, subestimando la evaporación del suelo. Los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) de la FAO, solo usados para calcular los requerimientos de riego de los cultivos, se publicaron por

The method accepted as standard by the FAO, Doorenbos and Pruitt (1990) to estimate reference evapotranspiration ( $E_{To}$ ) is the method of Penman Monteith. This method is based on estimation of evapotranspiration of a reference crop full coverage, well watered and with an albedo (reflectivity) of 0.23, similar to the short grass (height 0.12 m). For the foregoing is considered absorbed radiant energy (the energy available for evaporation: less net radiation heat flux in the soil), wind speed and atmospheric vapour deficit.

Penman Monteith algorithm is presented in equation 3 (Allen *et al.*, 2006):

$$E_{To} = \frac{1}{\lambda} \left[ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} \right] [R_n - G] + \frac{M_w}{R\theta} \left[ \frac{\gamma^*}{\gamma^* + \Delta} \right] \frac{D}{r_v} \quad 3)$$

Where:  $E_{To}$ = reference evapotranspiration [ $\text{mm s}^{-1}$ ]; multiply by 3 600 to convert it to [ $\text{mm h}^{-1}$ ];  $R_n$ = net radiation [ $\text{kW m}^{-2}$ ];  $G$ = density of soil heat flux [ $\text{kW m}^{-2}$ ];  $M_w$ = molecular mass of water [ $0.018 \text{ kg mol}^{-1}$ ];  $R$ = universal gas constant [ $8.31 \text{ e}^{-3} \text{ kJ (mol K)}^{-1}$ ];  $\theta$ = standard temperature at  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  [ $293\text{K}$ ];  $D$ = vapour pressure deficit of the air [ $\text{kPa}$ ];  $\lambda$ = latent heat of vaporization of water [ $2 450 \text{ kJ kg}^{-1}$ ];  $r_v$ = resistance of the boundary layer and the leaf surface vapour flux [ $\text{sm}^{-1}$ ],  $\Delta$ = slope of the function of saturation vapour pressure [ $\text{Pa }^\circ\text{C}^{-1}$ ],  $\gamma^*$ = apparent psychometric constant [ $\text{Pa }^\circ\text{C}^{-1}$ ].

The calculation of  $E_{To}$  with the Penman Monteith schedules uses timed climatological data obtained from automatic agrometeorological stations. The Penman Monteith algorithm used in greenhouses to estimate evapotranspiration is widely reviewed by Willits (2003), for the cultivation of tomatoes; also Baille *et al.* (1994) reported good levels of accuracy in determining evapotranspiration of nine ornamental in containers.

Fox *et al.* (1992) proposed a sinusoidal model type for estimating the crop coefficient; however, the model started from zero in the first phenological stage, underestimating soil evaporation. The crop coefficients ( $K_c$ ) of the FAO is only used to calculate irrigation requirements of crops, published by Doorenbos and Pruitt (1990). However, it is preferable and more accurate using  $K_c$  values calibrated for local varieties of crops, and local weather conditions. For crops and climatic conditions of Mexico in general there are not enough studies of crop coefficients, hence the importance of technological developments to quantify water consumption by plants through the lysimetry.

Doorenbos y Pruitt (1990). Sin embargo, es preferible y más preciso el uso de valores de Kc calibrados para las variedades locales de cultivos, y las condiciones locales de clima. Para los cultivos y las condiciones climáticas de la República Mexicana en general, no hay suficientes estudios de los coeficientes de cultivo, de ahí la importancia de desarrollos tecnológicos para cuantificar el consumo de agua por las plantas, mediante la lisimetría.

Un lisímetro mide en forma directa el consumo de agua por las plantas, y aun cuando no existe un modelo estándar, en general poseen un diámetro mayor a los 110 cm y una profundidad superior a los 130 cm; sin embargo, dificultades técnicas y económicas explican que muchos investigadores(as) hayan optado por el uso de lisímetros de menor tamaño los cuales se puedan denominar tanto “microlisímetros” como “minilisímetros.” Dichos micro- o minilisímetros son de distintos tamaños y formas, con diámetros menores a 100 cm y una profundidad que no excede los 70 cm (Rockstrom *et al.*, 1999; Wythers *et al.*, 1999; Bremer, 2003).

Dependiendo de la metodología definida para su medición, existen lisímetros de pesada (mecanismos hidráulicos y electrónicos), de control de humedad y de drenaje (balance de entradas y salidas volumétricas) Gómez y Arteaga (1988), Daamen *et al.*, 1993).

Los conocimientos actuales permiten el desarrollo tecnológico de un microlisímetro de balance para cuantificar el consumo de agua por las plantas.

En cuanto al consumo de agua esperado por la nochebuena, Baille *et al.* (1994), al estudiar un modelo para predecir la ET en ornamentales, con coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.69$  respecto a la medición, calculó en la nochebuena una tasa evapotranspirativa de  $0.11 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  en el día y  $0.06 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  en la noche (promedio de  $2 \text{ mm día}^{-1}$ ), y en comparación con las otras ocho ornamentales estudiadas, su consumo varió de 25 a 50%, para un índice de área foliar (IAF) de 0.43 a 2, una radiación neta de  $R_n = 350 \text{ W m}^{-2}$  y un déficit de presión de vapor del aire  $D = 1.6 \text{ kPa}$ . Asimismo, Shuch (1995) en sus estudios de manejo de agua, utilizó un tratamiento de buen riego de 240 mL aplicados cada 2 días. En forma similar, Cabrera (2006) reporta que se aplican con bastón y cebolla cada tercer día aproximadamente de 240 a 250 mL de agua por maceta; asimismo, Alia *et al.* (2011) en un experimento donde también utilizó nochebuena ‘Freedom red’, fertirrigaba las macetas de 15 cm de diámetro aplicando de 100 a 300 mL cada tercer día. Es de esperarse

A lysimeter measures directly water consumption by the plants, and even when there is no standard model generally have a diameter higher than 110 cm and a depth higher than 130 cm; however, this explain technical and economic difficulties that many researchers have opted for the use of smaller lysimeters which can be called both “microlysimeters” as “minilysimeters”. Such micro or minilysimeters are different in sizes and shapes, with diameters smaller than 100 cm and a depth not exceeding 70 cm (Rockstrom *et al.*, 1999; Wythers *et al.*, 1999; Bremer, 2003).

Depending on the methodology defined for measurement, there weighing lysimeters (hydraulic and electronic devices), moisture control and drainage (volumetric balance of inputs and outputs) Gómez and Arteaga (1988), Daamen *et al.* (1993).

Current, the knowledge allows the technological development of a balanced microlysimeter to quantify water consumption by plants.

In relation to water consumption expected by poinsettia, Baille *et al.* (1994), studying a model to predict ET in ornamental, with coefficient of determination of  $R^2 = 0.69$  with respect to the measurement calculated on poinsettia rate evapotranspiration of  $0.11 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  in the day and  $0.06 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  at night (average of  $2 \text{ mm day}^{-1}$ ) and compared with the other eight ornamental studied, the consumption ranged from 25 50% for a leaf area index (LAI) from 0.43 to 2, a net radiation  $R_n = 350 \text{ W m}^{-2}$  and a vapour pressure deficit of the air  $D = 1.6 \text{ kPa}$ . Also, Shuch (1995) in his studies of water management used a well-watered treatment of 240 mL applied every 2 days. Likewise, Cabrera (2006) reports that applying into cane and onion every other day approximately 240 to 250 mL of water per pot; also, Alia *et al.* (2011) in an experiment where poinsettia ‘Freedom red’ used fertirrigating pots 15 cm in diameter by applying 100 to 300 mL every other day. We can expect a response from the poinsettia plant on water consumption and management, according to the irrigation method used (Broembsen, 1994; Morvant *et al.*, 1998).

Poinsettia production in Morelos is one of the productive activities of economic importance, it has a significant contribution in family income and grown in pots using substrates with materials such as leaf mulch or pine (leaf litter or ocochal respectively) tezontle tepojal, perlite, peat moss, coir, compost, among others, mixed in different

una respuesta de la planta de nochebuena al consumo de agua y su manejo, de acuerdo con el método de riego utilizado (Broembsen, 1994; Morvant *et al.*, 1998).

La producción de nochebuena en Morelos representa una de las actividades productivas de importancia económica, tiene una destacada contribución en el ingreso familiar y se cultiva en maceta utilizando sustratos con materiales como la tierra de hoja o pino (hojarasca u ocochal, respectivamente), tezontle, tepojal, agrolita, peat moss, fibra de coco, composta, entre otros, mezclados en distintas proporciones, materiales fácilmente obtenidos en el mercado y que han sido utilizadas con éxito (Cabrera, 2006), la más común es la mezcla tierra de hoja/tezontle/fibra de coco en proporción 60:20:20.

El objetivo del presente trabajo fue obtener el consumo de agua mediante microlisímetros de balance con el sustrato más común, para obtener los coeficientes de cultivo de la nochebuena en contenedor, con fines de calcular sus requerimientos de riego bajo condiciones de invernadero usando datos de estaciones climáticas automatizadas, en Jiutepec, Morelos.

## Materiales y métodos

Ubicación del sitio experimental. El experimento se realizó en el invernadero del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), ubicado en Jiutepec, Morelos, localizado a 18° 52.73' de latitud norte y 99° 9.6' de longitud oeste, 1 352 msnm. de elevación. El clima local es cálido húmedo con lluvias en verano, de humedad moderada A(Wo).

Paquete tecnológico. Se realizó el manejo del cultivo de acuerdo con el paquete tecnológico local de la nochebuena reportado por Martínez (1995); Ecke *et al.* (2004) y Cabrera (2006), con adecuaciones de acuerdo con la fitosanidad presentada para un buen desarrollo de la variedad Freedom red, en maceta de polietileno de 15 cm de diámetro con sustrato hoja/tezontle/fibra de coco en proporción 60:20:20, del cual se obtuvo la distribución de partículas por diámetros, mediante la curva granulométrica antes de iniciar el experimento con promedio de tres muestras, y después del experimento con muestra compuesta. El esqueje de nochebuena se obtuvo de un proveedor local de Cuernavaca, Morelos.

proportions, materials easily obtained in the market and have been used successfully (Cabrera, 2006), the most common is the mix of leaf /tezontle/coir in proportion 60:20:20.

The aim of this study was to obtain water consumption by balance microlysimeters with the most common substrate for crop coefficients of poinsettia container in order to calculate their irrigation requirements under greenhouse conditions using data from automatic weather stations, in Cuernavaca, Morelos.

## Materials and methods

Location of the experimental site. The experiment was conducted in the greenhouse of the Mexican Institute of Water Technology (IMTA), located in Cuernavaca, Morelos, located at 18° 52.73' north latitude and 99° 9.6' west longitude, 1 352 m of elevation. The local climate is hot and sub-humid with summer rains, moderate humidity A (Wo).

Technology package. Crop management was performed according to the local poinsettia technological package reported by Martínez (1995); Ecke *et al.* (2004) and Cabrera (2006), with adjustments according to plant health presented for proper development of the variety *Freedom red*, in polyethylene pot with 15 cm in diameter with substrate leaf/tezontle/coir in proportion 60:20:20, of which the particle diameter distribution was obtained, using the particle size distribution curve before starting the experiment with an average of three samples, and after the experiment by using a composited mixture. The poinsettia cuttings were obtained from a local supplier in Cuernavaca, Morelos.

Fertigation was done with Steiner solution (12: 1: 7: 7: 9: 4 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>: SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>:K<sup>+</sup>:Ca<sup>2+</sup>: Mg<sup>2+</sup> in meq L<sup>-1</sup>) at concentrations of 80%, 120% and 80% in the steps of establishing, vegetative growth and flowering, respectively. Monitoring the volume of water consumed by balance microlysimetry by destroying four plants by the end of the experiment; that is, the time to reach the trading post or sale of the plant, the variables height and plant diameter, stem diameter, leaf area index, dry matter, number of shoots, diameter and number of ciatos were also measured, colour (lightness, chroma and hue) of the bract,

El fertirriego se realizó con la solución de Steiner (12:1:7:7:9:4 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>:H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>:SO<sub>4</sub><sup>2+</sup>:K<sup>+</sup>:Ca<sup>2+</sup>:Mg<sup>2+</sup> en meq L<sup>-1</sup>) en concentración de 80%, 120% y 80% en las etapas de establecimiento, desarrollo vegetativo y floración, respectivamente. Se realizó un seguimiento al volumen de agua consumido con microlisimetría de balance; por destrucción de cuatro plantas, al final del experimento; es decir, al momento de llegar al punto comercial o de venta de la planta, también se midieron las variables altura y diámetro de la planta, diámetro del tallo, índice de área foliar, materia seca, el número de brotes, diámetro y número de ciatios, color (luminosidad, cromaticidad y matiz) de bráctea, concentración de clorofila (unidades SPAD) usando un medidor Minolta SPAD 502, la firmeza del tallo mediante perforación a 3 mm con puntal cónico de texturómetro Chatillon®, y peso fresco y seco de órganos en balanza de 0.001 g de sensibilidad.

Microlisímetro de balance. En un contenedor sobre un elevador, se colocaron las macetas a la misma altura y tres veces por semana se suministró un volumen fijo de agua (Irr), midiendo el agua drenada (PP) y por balance se obtuvo el consumo (mL) en el periodo, lo que equivale a la evapotranspiración real (ETr) dentro del invernadero. Suponiendo que la percolación profunda neta en el intervalo es despreciable y considerando que la precipitación dentro del invernadero es nula, la ecuación (1) se puede simplificar como sigue:

$$ETr = ETc = Irr - PP \quad 4)$$

Para obtener la ETr en mm diarios se consideró un diámetro de sombreado promedio de 0.46 m para la planta de nochebuena en la etapa adulta, para obtener el área del cultivo que divide al volumen medido.

Análisis estadístico. Dentro del invernadero se distribuyeron completamente al azar microlisímetros de balance con nochebuena, con ocho repeticiones, siendo la unidad experimental o microlisímetro una maceta de nochebuena. Se obtuvieron los promedios semanales sumando las tres lecturas y dividiendo entre siete. Se obtuvieron promedio diarios cada cuatro semanas. Se determinaron sus desviaciones estándar, coeficientes de variación y coeficiente R<sup>2</sup>.

Evapotranspiración de referencia. Dentro y fuera del invernadero se instalaron estaciones agroclimatológicas automatizadas para medir los parámetros de clima esenciales para calcular la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>)

chlorophyll concentration (SPAD units) using a Minolta SPAD 502 meter, the firmness of the stem by drilling a 3 mm with tapered strut texturometer Chatillon® and fresh and dry organs weight obtained by using a balance of 0.001 g sensitivity.

Balance microlisímetro. In a container on a lift, the pots were placed at the same height and three times per week were irrigated with a fixed volume of water (Irr) measuring the drain water (PP) and by balance the consumption (ml) involved in the period was obtained, equivalent to the actual evapotranspiration (ETr) inside the greenhouse. Assuming that the net deep percolation in the gap is negligible and considering that precipitation inside the greenhouse is zero, equation (1) can be simplified as follows:

$$ETr = ETc = Irr - PP \quad 4)$$

In order to obtain ETr in mm day<sup>-1</sup> an average diameter of 0.46 m for shading the poinsettia plant in adulthood was considered to get the growing area that dividing the measured volume.

Statistical analysis. Inside the greenhouse were randomly distributed balanced microlisimeters with poinsettia, with eight repetitions, being the experimental unit a potted poinsettia with a microlisímetro. Weekly averages were obtained by summing the three readings and dividing by seven. Daily average obtained every four weeks. The standard deviations, coefficients of variation and R<sup>2</sup> coefficient were determined.

Reference of evapotranspiration. Within and outside the greenhouse, agro-automated weather stations to measure weather parameters essential for calculating reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) by using the Penman Monteith method were installed (Allen *et al.*, 2006), from Equation (3) during the production cycle (from 20 August to 18 November 2012).

Crop coefficient. Based on ET<sub>o</sub> inside and outside the greenhouse and ETr measured by microlisimetry weekly and monthly the crop coefficient for the poinsettia was calculated by the following expression obtained from equation 2:

$$K_c = \frac{ETr}{ET_o} \quad 5)$$

usando el método de Penman Monteith (Allen *et al.*, 2006), a partir de la ecuación (3) durante el ciclo de producción (del 20 de agosto a 18 de noviembre de 2012).

Coefficiente de cultivo. Con base en la ETo dentro y fuera del invernadero y la ETr medida con microlisimetría, se calculó el coeficiente de cultivo semanal y mensual para la nochebuena mediante la siguiente expresión obtenida de la ecuación 2:

$$K_c = \frac{E_{Tr}}{E_{To}} \quad 5)$$

## Resultados y discusión

La granulometría prácticamente no cambió en el sustrato durante el experimento, como lo muestra la Figura 1, cuyas ecuaciones al inicio y fin del experimento son polinómicas de tercer orden:

$$y = 1.3715x^3 - 14.142x^2 + 53.834x + 5.6934 \text{ con } R^2 = 0.9931 \text{ (inicio)}$$

$$y = 0.6425x^3 - 8.8357x^2 + 46.085x + 2.0331 \text{ con } R^2 = 0.9967 \text{ (fin)}$$

Donde: x= es el diámetro de las partículas (en mm); e y= el porcentaje acumulado de partículas de tamaño menor que el indicado (fracción acumulada en %).

Se aprecia un proceso de agregación de partículas a diámetros menores de 2 mm. En relación con sus valores promedios, se incrementó 10% el porcentaje de agregación, posiblemente debido al empaquetamiento de poros. El fraccionamiento de gránulos de diámetros mayores a 2 mm, dado que 80% del sustrato tiene origen orgánico (tierra de hoja y fibra de coco) muestra que el aumento en el tamaño de partículas (1-2 mm) tanto en materiales orgánicos como inorgánicos, aumenta su capacidad de retención de agua (Anicua *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2011).

El comportamiento agronómico del cultivo se muestra en el Cuadro 1, donde los resultados indican un buen desarrollo de la planta en relación con otras investigaciones similares, por ejemplo Osuna *et al.* (2012) reportaron para la misma variedad 'Freedom Red' una altura de planta media de 36.69 cm y color L\*, C\* y h de 32.36, 54.93, y 24.89, respectivamente; Alia *et al.* (2011) reportaron un diámetro

## Results and discussion

The granulometry virtually did not change in the substrate during the experiment, as shown in Figure 1, whose equations at the start and end of the experiment are polynomial of third order:

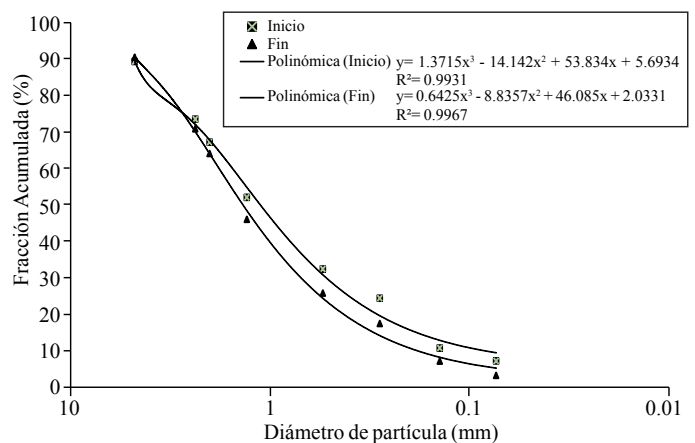
$$y = 1.3715x^3 - 14.142x^2 + 53.834x + 5.6934 \text{ con } R^2 = 0.9931 \text{ (initiate)}$$

and:

$$y = 0.6425x^3 - 8.8357x^2 + 46.085x + 2.0331 \text{ con } R^2 = 0.9967 \text{ (end)}$$

Where: x= is the particles diameter (in mm); y= cumulative percentage of particles smaller than indicated (cumulative fraction in %) size.

An aggregation process particle diameter less than 2 mm is appreciated. In relation to their mean values, 10% increased the percentage of aggregation, possibly due to packing pores. Fractionation of granules larger diameter to 2 mm, since 80% of the substrate has organic origin (leaf dirt and coir) shows that the increase in the particle size (1-2 mm) in both organic and inorganic materials increases its water holding capacity (Anicua *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2011.).



**Figura 1. Curva granulométrica del sustrato al inicio y fin del experimento.**

**Figure 1. Granulometric curve of the substrate at the beginning and end of the experiment.**

The agronomic performance of the crop is shown in the Table 1 where the results indicated a good plant development in relation to other similar investigations, such as Osuna *et al.* (2012) reported for the same variety 'Freedom Red' a plant of height average of 36.69 cm and colour L\*, C\* and h of 32.36,

de flor medio de 22.7 cm, diámetro y altura de planta de 33.6 cm y 24.8 cm, respectivamente, SPAD de 58.9 y color L\*, C\* y h de 29.3, 48.8 y 24.5, respectivamente. Considerando el diámetro de planta de 0.46 cm y el área foliar, resulta un índice de área foliar de 1.06 cm<sup>2</sup>cm<sup>-2</sup>. En consecuencia, los resultados en el manejo del agua son consistentes con la literatura y pueden ser replicados en nochebuena 'Freedom red' con un manejo agronómico óptimo similar.

54.93, and 24.89, respectively; Alia *et al.* (2011) reported an average flower diameter of 22.7 cm, the diameter and plant height of 33.6 cm and 24.8 cm, respectively, SPAD of 58.9 and colour L\*, C\* and h of 29.3, 48.8 and 24.5, respectively. Considering the diameter of 0.46 cm and plant leaf area is an index of leaf area of 1.06 cm<sup>2</sup>cm<sup>-2</sup>. Consequently, the results in water management are consistent with the literature and can be replicated in poinsettia 'Freedom red' with a similar optimal agronomic management.

#### Cuadro 1. Variables agronómicas de la nochebuena al término del experimento.

Table 1. Poinsettia agronomic variables at the end of the experiment.

Variable	Altura planta	Altura brote	Color brácteas			Clorofila	Diámetro flor	Diámetro tallo	Firmeza tallo	Área foliar	Área bráctea
	cm	cm	L*	C*	h	SPAD	cm	cm	N	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>
Media	41.05	30.73	32.43	55.3	40.37	53.38	24.16	8.67	7.53	1746	4579.5
DesvEst	2.17	2.7	1.35	0.87	34.19	4.46	1.44	0.48	1.17	302.58	975.34
CV (%)	5.28	8.78	4.17	1.58	84.71	8.35	5.95	5.48	15.54	17.33	21.3
Variable	Peso materia fresca (g)					Peso materia seca (g)					Diámetro planta cm
	Tallo	Hoja	Bráctea	Raíz	Flor	Tallo	Hoja	Bráctea	Raíz	Flor	
Media	47.95	47.4	88.33	46.83	25.5	5.78	5.9	9.33	5.43	1.43	46.13
DesvEst	5.47	6.37	15.53	9.2	2.8	0.95	1.04	1.91	1.83	0.33	3.52
CV (%)	11.41	13.43	17.58	19.65	10.98	16.51	17.67	20.43	33.7	23.19	7.64

L\*= luminosidad; 0= negro; 100= blanco; C\*= cromaticidad; pureza del color 0= gris; h= ángulo matiz; 0°= rojo; 90°= amarillo; 180°= verde; 270°= azul; 360°= rojo; DesvEst= desviación estándar; CV= coeficiente de variación.

La evapotranspiración real o requerimiento de riego en mL día<sup>-1</sup> obtenidos a nivel semanal se muestra en el Cuadro 2, resultando en 41 mL día<sup>-1</sup> en la semana 1 con aumento gradual hasta 150 mL día<sup>-1</sup> en la semana 10, a partir de la cual empieza a decrecer. Estos datos coinciden con Shuch (1995) y Cabrera (2006), donde se reporta una ETr de 120 a 125 mL día<sup>-1</sup> en promedio durante el desarrollo de la nochebuena, y Alia *et al.* (2011) con resultados prácticamente iguales al suministrar de 50 a 150 mL día<sup>-1</sup> y de manera proporcional a lo reportado por Ku and Hershey (1997a y 1997b).

The actual evapotranspiration or irrigation requirement mL day<sup>-1</sup> obtained on a weekly basis is shown in the Table 2, resulting in 41 mL day<sup>-1</sup> in week 1 with gradual increase to 150 mL day<sup>-1</sup> at week 10, decreasing from here. Data coincided with Shuch (1995) and Cabrera (2006), where an average of 120 ETr 125 mL day<sup>-1</sup> is reported during the poinsettia grow period, and Alia *et al.* (2011) with virtually identical results providing 50 to 150 mL day<sup>-1</sup> and proportionally to that reported by Ku and Hershey (1997a and 1997b).

#### Cuadro 2. Evapotranspiración real diaria de la nochebuena Freedom red en maceta de 15 cm de diámetro bajo condiciones de invernadero en Morelos, para semanas 1 a 13 desde trasplante.

Table 2. Daily actual evapotranspiration of poinsettia Freedom red in pots with 15 cm-diameter under greenhouse conditions in Morelos, for 1-13 weeks from transplant.

mL día <sup>-1</sup>	Semana después del trasplante												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Media	40.71	48.75	66.07	61.07	69.64	94.11	103.93	129.11	143.84	149.64	106.79	128.21	122.66
DesvEst	2.29	0.92	5.8	5.11	2.62	3.12	4.69	5.87	7.31	7.72	7.77	5.52	9.44
CV (%)	5.63	1.88	8.78	8.36	3.76	3.31	4.51	4.55	5.08	5.16	7.27	4.31	7.69

DesvEst= desviación estándar; CV= coeficiente de variación.

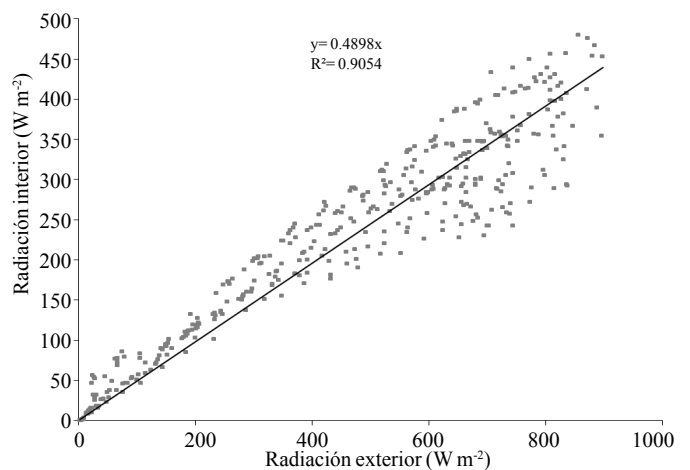


Previo al cálculo de la evapotranspiración de referencia se calculó la transmisividad del plástico del invernadero, mostrando que la radiación solar diaria recibida dentro del invernadero fue en promedio 51% más baja, que la medida afuera del invernadero para el periodo evaluado. La regresión lineal entre radiación solar medida al interior y al exterior del invernadero para todos los días despejados en el periodo de estudio (menos de 10% del total), con base en los datos de cada 15 min, se muestra en la Figura 2, indicando una transmisividad promedio del material de polietileno del invernadero de 49% aproximadamente, originada por el deterioro y el tipo de plástico utilizado, y el ángulo de incidencia de los rayos solares (Soriano *et al.*, 2002). Cabe mencionar, que no se consideraron los datos tomados durante las noches.

La Figura 3 muestra la variación temporal de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) promedio diaria calculada con el método de Penman-Monteith, correspondiente al periodo de 21 agosto al 15 de noviembre de 2012 (semanas (S) 1 a 13 DDT), para condiciones dentro (ET<sub>o</sub> PM dentro) y fuera (ET<sub>o</sub> PM fuera) del invernadero, así como la evapotranspiración real medida con microlisímetro de balance (ET<sub>r</sub> balance) dentro del invernadero. Para todo el periodo del estudio, la ET<sub>r</sub> balance fue más baja que la ET<sub>o</sub> PM dentro del invernadero y ésta diferencia disminuyó casi continuamente. Se aprecia que numéricamente, en el experimento, los valores de ET<sub>o</sub> PM dentro y ET<sub>r</sub> balance se mantuvieron inferiores a los reportados por Baille *et al.* (1994) de 2 mm día<sup>-1</sup> para un IAF menor o igual a 2, producto del IAF de 1.06 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> reportado al fin de la prueba (Cuadro 1). Los menores valores de ET<sub>o</sub> PM Dentro con respecto a ET<sub>o</sub> PM Fuera del invernadero, corresponde con los autores revisados para diferentes ambientes por Fernandes *et al.* (2003) y su misma investigación, a nivel semanal y durante 13 semanas.

Aunque existe una alta correlación entre la radiación solar fuera y dentro del invernadero (Figura 2) y un comportamiento similar en las curvas de ET en el tiempo (Figura 3), al analizar las correlaciones de ET<sub>o</sub> PM con datos diarios resulta un R<sup>2</sup>= 0.0179 general, y separando los días con lluvia y sin lluvia en un R<sup>2</sup>= 0.0472 y R<sup>2</sup>= 0.0274, respectivamente. Estas bajas correlaciones llevan a la conclusión de que no se puede calcular la ET<sub>o</sub> con Penman-Monteith, dentro del invernadero solo contando con datos climáticos medidos fuera del invernadero, lo cual es reforzado al obtener un modelo de regresión de ET<sub>o</sub> PM Fuera= -0.7018 ET<sub>r</sub> balance + 3.5681 con un R<sup>2</sup>= 0.0474, en cambio, las correlaciones de la ET<sub>o</sub> PM dentro con la

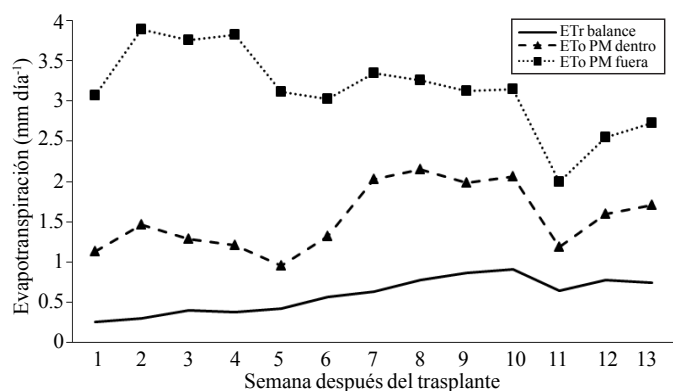
Prior to the calculation of the reference evapotranspiration, the greenhouse plastic transmissivity of plastic was calculated, showing that the daily solar radiation inside the greenhouse was 51 lower on average that the measure outside the greenhouse for the period evaluated. The linear regression between solar radiation measured inside and outside the greenhouse for all clear days in the study period (less than 10% of the total), based on data every 15 min, is shown in Figure 2, indicating an average transmissivity of greenhouse polyethylene material of about 49%, caused by the deterioration and the type of plastic used, and also by the angle of incidence of sunlight (Soriano *et al.*, 2002). It is noteworthy that the data taken during the nights were not considered.



**Figura 2. Regresión lineal entre radiación solar medida al interior y al exterior del invernadero, para días despejados entre agosto y noviembre de 2012.**  
**Figure 2. Linear regression between solar radiation measured inside and outside the greenhouse, for clear days between August and November 2012.**

The Figure 3 shows the temporal variation of the average reference of evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) calculated daily, using the Penman-Monteith method, for the period 21 August to 15 November 2012 (weeks (S) 1-13 DAT) to conditions within (PM ET<sub>o</sub> inside) and outside (outside PM ET<sub>o</sub>) greenhouse and the actual evapotranspiration measured with a balance microlisimeter (balance ET<sub>r</sub>) inside the greenhouse. For the entire study period, ET<sub>r</sub> balance was lower than the MP, ET<sub>o</sub> inside the greenhouse and this difference decreased almost continuously. It is seen that numerically, in the experiment, the values of ET<sub>o</sub> PM ET<sub>r</sub> balance inside remained lower than those reported by Baille *et al.* (1994) of 2 mm day<sup>-1</sup> for lower or equal to 2 FAI, FAI product of 1.06 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> reported at the end of the test (Table 1). The lower values of ET<sub>o</sub>, MP inside in contrast with the ET<sub>o</sub>, MP outside the

ETr balance a nivel diario, semanal y mensual, presentan coeficientes de determinación  $R^2$  de 0.4155, 0.5855 y 0.7447, respectivamente, resultados muy similares al  $R^2=0.69$  reportado por Baille *et al.* (1994), como muestra la gráfica de ET mensual (Figura 4). Este comportamiento numérico y temporal de la ET permite concluir que los Kc pueden obtenerse a nivel semanal y mensual, para información climática dentro del invernadero, tal como fue reafirmado por Fernandes *et al.* (2003) en la discusión de sus resultados de promedio diario semanales de la estimación de la evapotranspiración dentro de invernaderos.



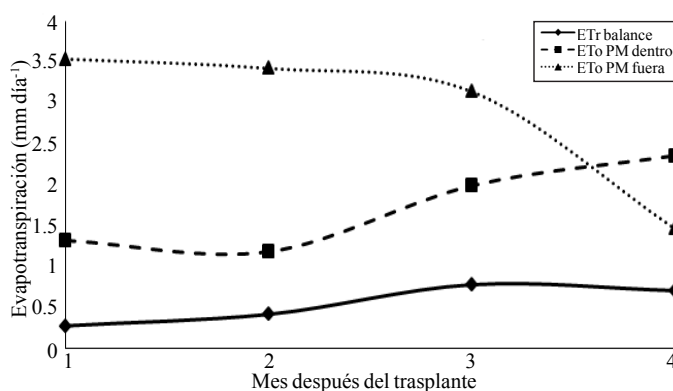
**Figura 3.** Evapotranspiración de referencia diaria, al interior (ETo PM dentro) y al exterior (ETo PM fuera) del invernadero, estimada con el método de Penman-Monteith, y evapotranspiración real de nochebuena medida con microlisímetro de balance (ETr balance).

**Figure 3.** Daily reference of evapotranspiration, inside (ETo MP inside) and outside (ETo MP outside) greenhouse, estimated with the Penman-Monteith method and actual poinsettia evapotranspiration measured with a balanced microlysimeter (ETr balance).

El cálculo del Kc semanal usando la ecuación (5), resulta en valores de Kc de 0.22, 0.44, 0.44 y 0.54 en las semanas 1, 5, 10 y 11 DDT, respectivamente, debido a valores de 0.24, 0.42, 0.9 y 0.64 mm día<sup>-1</sup> de ETr y de 1.13, 0.95, 2.06 y 1.19 mm día<sup>-1</sup> de ETo PM dentro, apreciándose que de la semana 2 a la 10, la ET PM dentro corresponde a los 2 mm día<sup>-1</sup> reportados por Baille *et al.* (1994). La semana 7 presenta resultados contradictorios al comportamiento normal del cultivo debido a que se presentaron temperaturas mayores a 35 °C, y factores asociados como el déficit de presión de vapor, lo cual fue simulado por el Modelo de Penman-Monteith y en respuesta de la planta (ETr balance), pues se salió del rango de condiciones agroclimáticas óptimas para nochebuena, de acuerdo con Ecke *et al.* (2004) y Cabrera (2006). El comportamiento del Kc a nivel semanal de la Figura 5 muestra valores máximos para las semanas 5 y 11 DDT.

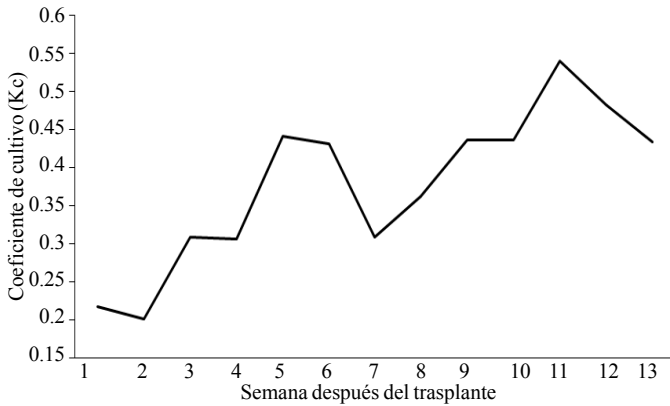
greenhouse, corresponds with the revised authors for different environments by Fernandes *et al.* (2003) and his own research, weekly basis during 13 weeks.

Although, there is a high correlation between solar radiation outside and inside the greenhouse (Figure 2) and a similar behaviour in the ET curves over time (Figure 3), when the analyse correlations of MP with daily ETo data is an R-Squared= 0.0179 general and separating days with or without rain in a R-Squared= 0.0472 and R-Squared= 0.0274, respectively. These low correlations lead to the conclusion that it can not be calculated with the Penman-Monteith ETo, inside the greenhouse having only data measured outside the greenhouse, which is reinforced by obtaining a regression model  $ETo MP Out = -0.7018 ETr balance + 3.5681 = 0.0474$  with an R-Squared; however, the correlations of ETo ETr PM Balance inside with the ETr balance daily, weekly and monthly, have coefficients of determination  $R^2$  of 0.4155, 0.5855 and 0.7447, respectively; results very similar to  $R^2=0.69$  reported by Baille *et al.* (1994), as shown in the ET monthly graph (Figure 4). This numerical and temporal behaviour of the ET permit to conclude that the Kc can be obtained at weekly and monthly level for climate information inside the greenhouse, as was reaffirmed by Fernandes *et al.* (2003) in discussing his results of weekly and daily average evapotranspiration estimation in greenhouses.



**Figura 4.** Evapotranspiración de referencia promedio diaria al interior (ETo PM dentro) y al exterior (ETo PM fuera) del invernadero estimada con el método de Penman-Monteith, y evapotranspiración real de nochebuena medida con microlisímetro de balance (ETr balance).

**Figure 4.** Average daily reference evapotranspiration into (ETo MP inside) and outside (ETo MP outside) estimated with the Penman-Monteith method greenhouse and actual poinsettia evapotranspiration measured with a balance microlysimetere (ETr balance).



**Figura 5. Coeficiente de cultivo (Kc) semanal para condiciones climáticas dentro del invernadero (Kc PM dentro), calculado a partir de la ETo PM Dentro y ETr balance para nochebuena en contenedores de 15 cm de diámetro.**

**Figure 5. Crop coefficient (Kc) weekly for climatic conditions in the greenhouse (Kc PM inside), calculated from the ETo PM Inside and ETr balance for poinsettia in containers 15 cm in diameter.**

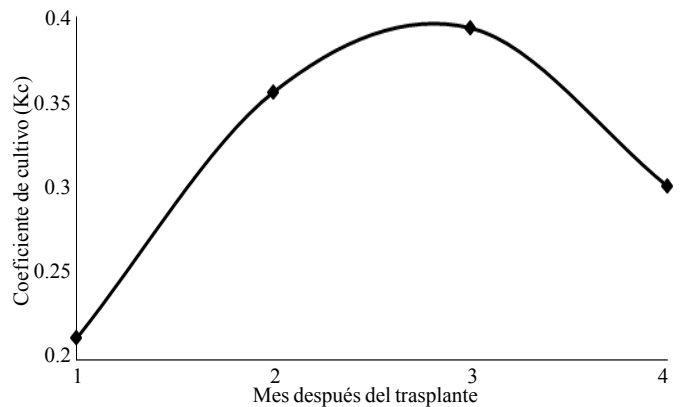
El análisis a nivel mensual de la ET diaria ilustrada en la Figura 6, permite obtener una curva suavizada del Kc a nivel mensual, resultando en valores de Kc de 0.21, 0.36, 0.39 y 0.30, para los meses 1, 2, 3 y 4 DDT y ETr de 0.28, 0.42, 0.79 y 0.71 mm día<sup>-1</sup>, respectivamente. El comportamiento en el tiempo del Kc mensual es similar a los reportados por Allen *et al.* (2006), para la mayoría de los cultivos, pero con valores numéricos similares a los cultivos del tipo de manejo semanal de riego en ambientes de alta demanda evaporativa, en la etapa inicial y en la etapa media o final parecido a los Kc de la piña, la alfalfa para semilla o la uva, en condiciones de cielo abierto.

## Conclusiones

La evapotranspiración real o requerimiento de riego dentro del invernadero para nochebuena ‘Freedom Red’ en macetas de diámetro 15 cm, a nivel semanal es de 40 mL día<sup>-1</sup> (equivalente a 0.24 mm día<sup>-1</sup>) en la semana 1 DDT con aumento gradual hasta alcanzar 150 mL día<sup>-1</sup> (equivalentes a 0.9 mm día<sup>-1</sup>) en la semana 10 DDT. La evapotranspiración real para nochebuena dentro del invernadero no se puede obtener usando el método de Penman-Monteith, a partir de datos climáticos fuera del invernadero.

Calculating weekly Kc using equation (5) results in Kc values of 0.22, 0.44, 0.44 and 0.54 at weeks 1, 5, 10 and 11 DAT, respectively, due to values of 0.24, 0.42, 0.9 and 0.64 ETr mm day<sup>-1</sup> and 1.13, 0.95, 2.06 and 1.19 mm day<sup>-1</sup> EToMP inside seen that from week 2 to 10, the corresponding ET PM inside seen 2 mm day<sup>-1</sup> reported by Baillie *et al.* (1994). Week 7 presents conflicting results of normal crop performance due to temperatures above 35 °C, and associated factors such as deficit vapour pressure, which was simulated by the model Penman-Monteith and response plant (ETr balance), as it was out of range of optimal growing conditions for Poinsettia, according to Ecke *et al.* (2004) and Cabrera (2006). The behaviour of a weekly Kc Figure 5 shows maximum values for 5 to 11 weeks DDT.

The monthly analysis of daily ET illustrated in Figure 6, allows a smooth curve of Kc monthly, resulting in Kc values of 0.21, 0.36, 0.39 and 0.30, for months 1, 2, 3 and 4 ETr DAT and 0.28, 0.42, 0.79 and 0.71 mm day<sup>-1</sup>, respectively. The behaviour in time of the monthly Kc is similar to those reported by Allen *et al.* (2006), for most crops, but similar to the type of weekly crop irrigation management in environments of high evaporative demand, at the initial stage and the final stage medium or similar numerical values of the Kc pineapple, alfalfa seed or grape under open sky.



**Figura 6. Coeficiente de cultivo Kc mensual para condiciones climáticas dentro del invernadero (Kc PM dentro), calculado a partir de la ETo PM dentro y ETr balance para nochebuena en contenedores de 15 cm de diámetro.**

**Figure 6. Monthly crop coefficient Kc for climatic conditions in the greenhouse (Kc PM inside), calculated from the ETo PM inside and ETr balance for poinsettia in containers 15 cm in diameter.**

Se obtuvieron valores semanales del coeficiente de cultivo, variando de  $K_c=0.2$  en las primeras semanas DDT a  $K_c=0.54$  en la semana 11 DDT y  $K_c=0.43$  en la semana 13 DDT. Dichos  $K_c$  se calcularon a partir de la evapotranspiración de referencia de Penman-Monteith estimada con datos climáticos medidos dentro del invernadero y de la evapotranspiración real medida con microlisímetro de balance.

Usando el mismo método, se obtuvieron valores mensuales del  $K_c$  de 0.21, 0.36, 0.39 y 0.3 para los meses 1, 2, 3 y 4 DDT, respectivamente.

## Literatura citada

- Alia, T. I.; Valdez, A. L. A.; Campos, B. E.; Sainz, A. M. J.; Pérez, A. G. A.; Colinas, L. M. T.; Andrade, R. M.; López, M. V. y Alvear, G. A. 2011. Efecto de la aspersión de ácido giberélico en el crecimiento de cinco cultivares de nochebuena. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3:577-589.
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D. and Smith, M. 2006. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper.* 56 p.
- Anicua, S. R.; Gutiérrez, C. M. C.; Sánchez, G. P.; Ortiz, S. C.; Volke, H. V. H. y Rubiños, P. J. E. 2009. Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. *Agric. Téc. Méx.* 35(2):147-156.
- Baille, M.; Baille, A. and Laury, J. C. 1994. A simplified model for predicting evapotranspiration rate of nine ornamental species vs. climate factors and leaf area. *Sci. Hortic.* 59:217-232.
- Bremer, D. J. 2003. Evaluation of microlisimeters used in turfgrass evapotranspiration studies using Dual-probe heat-pulse technique. *Agron. J.* 95:1625-1632.
- Broembsen. 1994. Growth of poinsettias, nutrient, leaching, and water-use efficiency respond to irrigation methods. *HortSci.* 29:858-864.
- Cabrera, R. J. 2006. Producción de Nochebuena *Euphorbia pulcherrima* Willd. Ex Klotzsch. En Morelos. Folleto técnico Núm. 23 Zacatepec, Morelos, México. 20 p.
- Daamen, C. C.; Simmonds, L. P.; Wallace, J. S.; Larrea, K. B. and Sivakumar, M. V. K. 1993. Use of microlisimeters to measure evaporation from a sandy soil. *Agric. For. Meteorol.* 65:159-173.
- Doorenbos, J. y Pruitt, W.O. 1990. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 24. FAO. Roma. 144 p.
- Ecke, Paul III.; James, E.; Faust, D.; Williams, J. and Higgins, A. 2004. The Ecke poinsettia manual. Blanchette, R. (Ed.). Ball Publishing, Baravia, Illinois. 287 p.
- Fernandes, C.; Corá J. E. y Campos, de A. J. A. 2003. Reference evapotranspiration estimation inside greenhouses. *Scientia Agricola.* 60(3):591-594.
- Fox, F. A. Jr.; Scherer, T.; Slack, D. C. and Clark, L. J. 1992. Azsched. Arizona Irrigation Scheduling. User's manual. Version 1.01. University of Arizona Cooperative Extension. Agricultural and Biosystem Engineering. Tucson, Arizona. 227 p.
- Gómez, M. B. y Arteaga, R. R. 1988. Elementos básicos para el manejo de instrumental meteorológico. Compañía Editorial Continental S. A. de C. V. México. 152 p.
- Gutiérrez-Castorena, M. C.; Hernández-Escobar, J.; Ortiz-Solorio, C. A.; Anicua-Sánchez, R. y Hernández-Lara, M. E. 2011. Relación porosidad-retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga. *Rev. Chapingo. Serie Horticultura.* 17(3):183-196.
- Ku, C. S. M. and Hershey, D. R. 1997a. Growth response, nutrient leaching and mass balance for potted poinsettia. I. Nitrogen. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122:452-458.
- Ku, C. S. M. and Hershey, D. R. 1997b. Growth response, nutrient leaching and mass balance for potted poinsettia. II. Phosphorus. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122:459-464.
- Martínez, M. 1995. Manual práctico de producción de Nochebuena. Consultoría OASIS, Morelos, México. 87 p.
- Morvant, J. K.; Dole, J. M. and Cole, J. C. 1998. Irrigation frequency and system affect poinsettia growth, water use, and runoff. *Hortscience.* 33(1):42-46.
- Osuna, C. F. J.; Moreno, L. M. F.; García, P. F.; Ramírez, R. S. y Canul, K. J. 2012. Biocontrol de la pudrición de raíz de Nochebuena de interior con *Trichoderma* spp. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(3):553-564.
- Rockstrom, J.; Barron, J.; Brouwer, S.; Galle, S. and Rouw, A. 1999. On farm spatial and temporal variability of soil and water in pearl millet cultivation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1308-1319.

## Conclusions

The actual evapotranspiration or irrigation requirement in the greenhouse for poinsettia 'Freedom Red' in pots 15 cm in diameter, on a weekly basis is 40 mL day<sup>-1</sup> (equivalent to 0.24 mm day<sup>-1</sup>) at week 1 DAT with gradual increase up to 150 mL day<sup>-1</sup> (equivalent to 0.9 mm day<sup>-1</sup>) at week 10 DAT. The actual evapotranspiration for poinsettia inside the greenhouse cannot be obtained using the Penman-Monteith method, based on climate data outside the greenhouse.

Weekly crop coefficient values were obtained, ranging from  $K_c=0.2$  in the first weeks DAT  $K_c=0.54$  at week 11 DAT and  $K_c=0.43$  at week 13 DAT. These  $K_c$  are calculated from the reference evapotranspiration of Penman-Monteith estimated with climate data measured inside the greenhouse and measured actual evapotranspiration balance microlisimeter.

Using the same method, monthly  $K_c$  values of 0.21, 0.36, 0.39 and 0.3 for months 1, 2, 3 and 4 DAT, respectively, were obtained.

*End of the English version*



- Soriano, T. J.; Hernández, J.; Morales, M. I.; Escobar, I. y Castilla, N. 2002. Radiation transmission differences in east-west oriented plastic greenhouses. International Horticultural Congress: Protected Cultivation. ISHS Acta Hort. 26:633.
- Schuch, U.; Redak, R. A. and Bethke, J. 1995. Whole-plant response of six poinsettia cultivars to three fertilizer and two irrigation regimes. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 121:69-76.
- Willits, D. H. 2003. The Penman-Monteith equation as a predictor of transpiration in a greenhouse tomato crop. ASAE Annual International Meeting. Paper 034095. Las Vegas, NV, USA. 14 p.
- Wythers, K. R.; Lauenroth, W. K. and Paruelo, M. J. 1999. Bare soil evaporation under semiarid field conditions. Soil Sci. Soc. Am. J. 63:1341-1349.