

## Microlisimetría de succión en nochebuena (Flor de Pascua) en tres sustratos en condiciones de cultivo protegido

Pedro Pacheco Hernández

email: [ppacheco@tlaloc.imta.mx](mailto:ppacheco@tlaloc.imta.mx)

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos, México.

Manuel de Jesús Sainz Aispuro

email: [mjsainz63@yahoo.es](mailto:mjsainz63@yahoo.es)

Iran Alia Tejacal

email: [ijac96@yahoo.com.mx](mailto:ijac96@yahoo.com.mx)

Oscar Gabriel Villegas Torres

email: [voscar66@yahoo.com.mx](mailto:voscar66@yahoo.com.mx)

Víctor López Martínez

email: [vilomar.leo@gmail.com](mailto:vilomar.leo@gmail.com)

María Andrade Rodríguez

email: [andradem65@hotmail.com](mailto:andradem65@hotmail.com)

Francisco Perdomo Roldán

email: [fperdomor@yahoo.com.mx](mailto:fperdomor@yahoo.com.mx)

Fac. de Ciencias Agropecuarias, Univ. Autón. del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos.

Ramón Arteaga Ramírez

email: [arteagar@correo.chapingo.mx](mailto:arteagar@correo.chapingo.mx)

Mario Alberto Vázquez Peña

email: [mariovazquez@coahuila.com](mailto:mariovazquez@coahuila.com)

Departamento de Irrigación, Univ. Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.

### RESUMEN

La evapotranspiración real de la nochebuena, conocida como Flor de Pascua (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) en condiciones de cultivo protegido, se midió con microlisímetros de succión de cápsulas porosas en macetas de polietileno de 15 cm de diámetro con tres sustratos: Tierra de hoja/tezontle/fibra de coco, Tierra de hoja cernida/tezontle/agrolita/fibra de coco y Fibra de coco/ tierra de hoja/agrolita y con un microlisímetro de balance con sustrato Tierra de hoja/tezontle/fibra de coco. En 12 de las 22 variables comparadas, no hubo diferencia significativa (Color de bráctea, Clorofila, diámetro de flor, firmeza de tallo, peso fresco y seco de raíz, y peso seco de tallo y flor). No hubo diferencia en consumo de agua entre tratamientos. Se obtuvo una ecuación del consumo de agua en función de la semana transcurrida después del trasplante.

**Palabras clave:** agricultura protegida, cápsula porosa, demanda hídrica, riego por succión.

## Suction microlysimetry of Poinsettia (Flor de Pascua) in three substrates in greenhouse

### ABSTRACT

Greenhouse's real evapotranspiration of poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) or "Flor de Pascua" was measured using porous capsules suction microlysimeters, in 15-cm diameter polyethylene pots filled with three substrates consisting of: plant leaf-litter/tezontle/coconut fiber, plant leaf-litter/tezontle/agrolita/coconut fiber and coconut fiber/plant leaf-litter/agrolita and using balance microlysimeters filled with substrate plant leaf-litter/tezontle/coconut fiber. In 12 of 22 compared variables, there was no significant difference (Color of bracte, Chlorophyll, diameter of flower, firmness of stem, fresh and dry weight of root, and dry weight of stem and flower). There were no differences between treatments. An equation was obtained for the water consumption depending on the week passed after the transplant.

**Keywords:** greenhouse agriculture, porous capsule, water demand, suction irrigation.

## INTRODUCCIÓN

La flor de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch), es una planta ornamental originaria de México y es una de las plantas en maceta más comunes en el mundo debido a que es el símbolo de las fiestas decembrinas, por lo que también es conocida como Flor de Pascua, con colores variando del blanco al rojo, que es el más común. En México se ha incrementado el cultivo de plantas de nochebuena en algunos estados y en particular, el estado de Morelos del año 2000 al año 2008 la cantidad y superficie aumentó de 225 000 plantas en 5 ha a 4 743 500 plantas en 74,6 ha, respectivamente, representando una actividad productiva de importancia cultural, económica y social en las zonas donde se cultiva, pues proporciona empleo desde su enraizamiento hasta su venta.

Un elemento del manejo del cultivo y en consecuencia del diseño y la operación de los sistemas de riego, es el consumo de agua por las plantas, el cual se estima de manera gruesa debido a que es difícil y costosa su medición precisa. Los métodos más precisos y caros son los lisímetros de pesada o de balance, el método de la relación de Bowen o el método de la correlación turbulenta; un método intermedio y ampliamente aceptado es el de Penman Monteith, a partir de datos agrometeorológicos.

En los últimos años, la microlisimetría o minilimetría ha sido desarrollada para estudios de flujo de solutos, de evaporación del agua a suelo desnudo, sin embargo no han sido consistentes en la cuantificación del consumo del agua por las plantas en general y en nochebuena en particular.

La ecuación general de balance hídrico en un cultivo 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),  $ES$  = Ecurrimiento superficial (mm),  $PP$  = Percolación profunda (mm) y  $\Delta\theta$  = Variación en el contenido de humedad en el suelo (mm).

La evapotranspiración del cultivo  $ETc$  es igual a  $ETr$  si no se maneja con estrés hídrico, en mm y se calcula con la ecuación 2:

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

donde:  $Kc$  = Coeficiente del cultivo, en función de sus característica fisiológicas y anatómicas,  $ETo$  = Evapotranspiración de referencia (mm)

El método de Penman Monteith es el aceptado como estándar por la FAO para estimar la evapotranspiración de referencia ( $ETo$ ) o 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) o similar a la alfalfa (de altura de 0,50 m), considerando la energía radiante absorbida (la energía disponible para evaporación), la velocidad del viento y el déficit de vapor atmosférico, obtenidos en estaciones agrometeorológicas automatizadas y utilizando su algoritmo presentado en la ecuación 3.

$$ET_o = \frac{1}{\lambda} \left[ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} \right] [Rn - G] + \frac{Mw}{R\theta} \left[ \frac{\gamma^*}{\gamma^* + \Delta} \right] \frac{D}{r_v} \quad (3)$$

donde:  $ET_o$ = Evapotranspiración de referencia [ $\text{mm s}^{-1}$ ]; se debe multiplicar por 3600 para convertirlo a [ $\text{mm h}^{-1}$ ],  $Rn$ = Radiación neta [ $\text{kW m}^{-2}$ ],  $G$ = Densidad de flujo de calor del suelo [ $\text{kW m}^{-2}$ ],  $Mw$ = 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 [ $2450 \text{ kJ kg}^{-1}$ ],  $r_v$ = 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 [ $\text{Pa }^\circ\text{C}^{-1}$ ].

Los coeficientes de cultivo ( $Kc$ ) de la FAO, comúnmente usados para calcular los requerimientos de riego de los cultivos se encuentran publicados, sin embargo, es preferible obtener  $Kc$  calibrados para las variedades locales de cultivos y sus condiciones climáticas, no habiendo suficientes estudios  $Kc$ , de ahí la importancia cuantificar el consumo de agua por las plantas, mediante la lisimetría, donde sus resultados serán puntuales y válidos para sus condiciones de desarrollo.

La lisimetría mide directamente el consumo de agua por las plantas en un contenedor de un diámetro mayor a los 110 cm y una profundidad superior a los 130 cm; sin embargo, muchos investigadores han optado por el uso de lisímetros de menor tamaño llamados tanto microlisímetros como minilísimetros, de distintas formas y tamaños, con diámetros menores a 100 cm y una profundidad que no excede los 70 cm.

Los conocimientos actuales permiten el desarrollo tecnológico de un microlisímetro para cuantificar el consumo de agua por las plantas, donde sus orígenes son el funcionamiento de los tensiómetros y el auto-irrigador para mantener un potencial matricial constante en la zona radicular, y Vargas *et al.* (2010) hacen una amplia revisión del riego por succión, donde mencionan sus ventajas para mantener el cultivo en condiciones óptimas de humedad y la alta eficiencia en el riego.

Existen metodologías para construir tensiómetros de mercurio a partir de cápsulas con una geometría similar a los tensiómetros con manómetro construidos en Estados Unidos, con diferentes pastas cerámicas y comportamiento hidráulico, por ejemplo, Vargas *et al.* (2008) obtuvieron cápsulas porosas con costo y propiedades hidrodinámicas adecuadas para cultivos en agricultura protegida.

En relación con el consumo de agua esperado por la nochebuena, Baille *et al.* (1994), al estudiar un modelo para predecir la evapotranspiración en plantas ornamentales, calculó en la nochebuena una tasa equivalente a 2 mm día<sup>-1</sup> para un índice de área foliar (IAF) de 0,43 a 2,  $Rn=350\text{Wm}^{-2}$  y  $D=1,6 \text{ kPa}$ ; Schuch *et al.* (1995), en sus estudios de manejo de agua, el tratamiento de Buen Riego fue de 240 mL cada 2 días, Cabrera (2006) reporta que se aplican con bastón y cebolla (a una manguera se conecta un tubo (bastón) con una regadera (cebolla) para aplicar como lluvia y sin presión el agua sobre la planta y sustrato) cada tercer día aproximadamente de 240 a 250 mL de agua por maceta, Alia-Tejacal *et al.* (2011) en un experimento de nochebuena variedad “Freedom red” fertirrigaba las macetas de 15 cm de

diámetro aplicando de 100 a 300 mL cada tercer día, es decir, en promedio 5 mL hora<sup>-1</sup>. Es decir, existe una respuesta de la planta de nochebuena al consumo de agua y su manejo, de acuerdo con el método de riego utilizado (Broembsen *et al.* 1994 y Morvant *et al.* 1998).

La producción de nochebuena en Morelos, utiliza sustratos con materiales como la tierra de hoja o pino (hojarasca u ocochal, respectivamente), tezontle, tepojal, agrolita, peat moss, fibra de coco, composta, etc., mezclados en distintas proporciones, por su fácil obtención y que han sido utilizadas con éxito (Cabrera 2006), y la más común es la mezcla tierra de hoja/tezontle/fibra de coco en proporción 60:20:20. Al evaluar diferentes sustratos en el cultivo de nochebuena variedad “Supjibi red” el tezontle al 100 % ha registrado la mayor altura, diámetro, número de hojas y ciatios, área foliar mayor y de brácteas, en comparación con mezclas de sustratos que se componían de tierra de hoja, tezontle, turba y agrolita, ya que algunos autores manifiestan que las propiedades físicas y químicas de los sustratos está relacionada por el tamaño de las partículas (Rodríguez *et al.* 2013), por lo que en general granulometrías homogéneas implican propiedades similares; aunque en algunos casos se complica esa correlación debido a la porosidad interna u ocluida.

Fue entonces necesario revisar, diseñar, construir y evaluar, microlisímetros de succión, es decir, microlisímetros operando con los principios del riego por succión, el cual resulte sencillo, económico y preciso, en consecuencia, fácilmente transferible al usuario final y de esa forma contribuir a la gestión integral y sustentable del agua, en general y aplicado a la nochebuena en contenedor en los tres sustratos más comunes para obtener sus requerimientos de riego bajo condiciones de invernadero en comparación con un microlisímetro de balance, en Jiutepec, Morelos, México. Las cápsulas porosas tienen la geometría de las cápsulas porosas de los tensiómetros comerciales, es decir, longitud 60 mm, diámetro exterior 19 mm, diámetro interior 9.8 mm; se pega el extremo abierto de la cápsula a una manguera transparente y el otro extremo de última se introduce a un recipiente graduado con agua y nutrientes, que son succionados por las fuerzas matriciales del sustrato que cubre a la cápsula, alimentando así a las raíces de las plantas que colonizan la zona humedecida del sustrato.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El experimento se realizó en un invernadero del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, ubicado en Jiutepec, Morelos, localizado a 18°52.73' de latitud norte y 99°9.6' de longitud oeste, 1352 m.s.n.m. de elevación y se tiene un clima cálido húmedo con lluvias en verano, de menor humedad. El invernadero cuenta con una estructura de metal y ventilación forzada con ventiladores eléctricos, con una superficie de 126 m<sup>2</sup>, conformado por una sola nave, cubierta por plástico de polietileno, la cual tiene una transmisibilidad promedio del material de 46,8% aproximadamente; se tienen 12 bancales de bloc y cemento con dimensiones de 1 m x 5 m cada uno, utilizando los dos centrales para el experimento, donde 32 plantas se tomaron como unidades experimentales y resto del invernadero se cultivó también nochebuena, para evitar “efecto de orilla”.

Se realizó el manejo del cultivo de acuerdo con el paquete tecnológico local de la nochebuena y reportado por 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. El esqueje de nochebuena se obtuvo de un proveedor local de Cuernavaca, Morelos.

Se realizó un seguimiento al volumen de agua consumido del 20 de agosto a 18 de noviembre de 2012 y por destrucción de 4 plantas, al final del experimento, al momento de llegar al punto comercial o de venta de la planta, se midieron las variables altura y diámetro de la planta, diámetro del tallo, índice de área foliar, materia fresca y seca, diámetro de ciatios, color (luminosidad ( $L^*$ , con 0= Negro, 100= Blanco), cromaticidad ( $C^*$ , con pureza del color 0= gris) y matiz ( $h$ , con  $0^\circ$  = rojo,  $90^\circ$  = amarillo;  $180^\circ$  = verde,  $270^\circ$ = azul;  $360^\circ$  = rojo)) de bráctea, concentración de clorofila (unidades SPAD) con medidor Minolta SPAD 502, firmeza del tallo mediante perforación a 3 mm con puntal cónico de texturómetro Chatillon®, peso fresco y seco de órganos en balanza de 0.001 g de sensibilidad. El fertirriego se realizó con la formulación de Steiner universal (12:1:7:7:9:4) en concentración de 80%, 120% y 80% en las etapas de establecimiento, desarrollo vegetativo y floración, respectivamente, aplicándose con vasos de volumen conocido en los microlisímetros de balance o mediante riego por succión al suministrarse al depósito de los microlisímetros de succión.

### Sustratos

Se utilizaron los sustratos que mejores resultados han dado en el estado de Morelos, para la nochebuena en maceta de 15 cm, siendo llamados  $N$ ,  $V$  y  $A$ , donde  $N$ = tierra de hoja/tezontle/fibra de coco en proporción 60:20:20,  $V$ = Tierra de hoja cernida/tezontle/agrolita/fibra de coco (86:7:3.5:3.5)  $A$ = Fibra de coco/ tierra de hoja/agrolita (40:40:20). Para revisar su comportamiento físico se obtuvo la curva granulométrica con un agitador mecánico de tamices W.S. TYLER® modelo RX-86, con tres muestras de 100 g por sustrato secado a  $105^\circ\text{C}$  durante 48 horas.

### Microlisímetro de succión

Se fabricaron cápsulas cerámicas, mezclando homogéneamente 1 kg de pasta cerámica comercial de caolinita, 6,5 mL de silicato de sodio, 1,0 g de carbonato de sodio y 500 mL de agua, llenando los moldes y por vaciado, se forman las cápsula que, previo secado en estufa a  $70^\circ\text{C}$  durante 24 horas, se hornearon a  $800^\circ\text{C}$  por 12 horas; se revisó su funcionamiento y se seleccionaron aquellas con una conductividad hidráulica con gastos de 4 a  $12\text{ mL h}^{-1}$ , bajo una carga hidráulica de 40 cm, para asegurar el mínimo de  $5\text{ mL h}^{-1}$ ; se unió con pegamento amarillo la cápsula porosa a la manguera, se llenó de agua revisando que no exista aire atrapado y se sumergió el otro extremo de la manguera en el recipiente graduado lleno con agua de riego, donde se registró el consumo diario de agua. La cápsula se introduce completamente en la zona radicular del sustrato  $N$ ,  $V$  y  $A$  de la maceta del microlisímetro, adicionando poliacrilato de potasio hidratado, para favorecer la continuidad del poro en la matriz de sustrato circundante.

### Microlisímetro de balance

En un contenedor sobre un elevador, se colocaron las macetas a la misma altura que el microlisímetro de succión 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, ecuación (1) se puede simplificar como sigue:

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

Se puede obtener la  $ETr$  en mm diarios si se considera el diámetro de sombreado de la planta de nochebuena en la etapa adulta (promedio de 0,46 m), para obtener el área del cultivo que divide al volumen medido.

### Diseño Experimental

El diseño experimental fue completamente al azar en ocho repeticiones con los tratamientos: SA, microlisímetro de succión con sustrato  $A$ , SV, microlisímetro de succión con sustrato  $V$ , SN, microlisímetro de succión con sustrato  $N$ , y BN, microlisímetro de balance con sustrato  $N$ . En BN se obtuvieron los promedios diarios semanales sumando las tres lecturas y dividiendo entre siete y en SN, SV y SA se tomaron lecturas diarias, promediándose semanalmente. Se realizó una comparación de medias con Tukey haciendo uso del software Statistical Annalysis System, tanto para las variables agronómicas como las de consumo de agua (Alia-Tejacal et al. 2011). La unidad experimental o microlisímetro es una maceta de nochebuena, resultando 24 microlisímetros de succión y 8 microlisímetros de balance.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La granulometría, expresada como FA (fracción acumulada en % que pasa el diámetro de partícula  $D$  (mm) correspondiente) de los tres sustratos utilizados en el experimento se muestra en la figura 1 y es prácticamente la misma, por lo que las propiedades físicas y químicas asociadas a ella serán similares (Rodríguez *et al.* 2013).

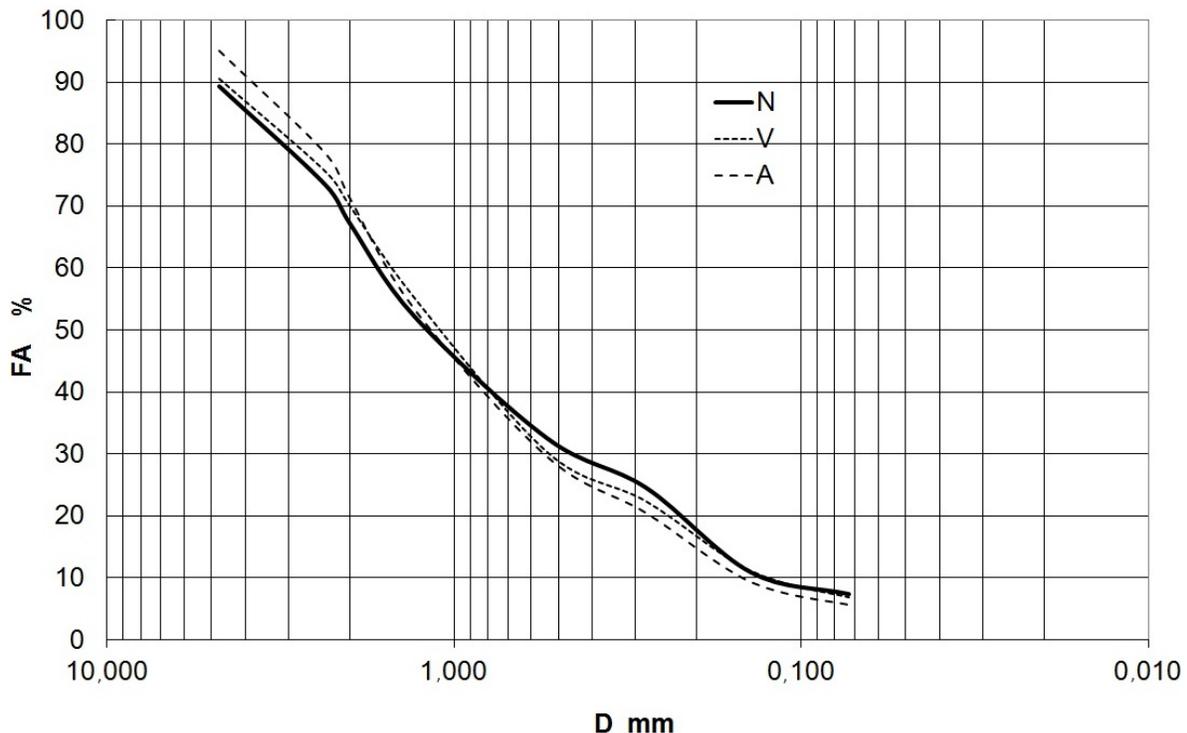


Figura 1. Curvas granulométricas de los sustratos  $N$ ,  $V$  y  $A$

Previo al cálculo del consumo de agua se calculó la transmisividad del plástico del invernadero, donde resultó 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, indicando una transmisividad promedio del material de polietileno del invernadero de 49%, para

todos los días despejados en el periodo de estudio (menos del 10% del total), en base de los datos de cada 15 minutos.

Los microlisímetros de succión elaborados mostraron un comportamiento adecuado durante el desarrollo del experimento, suministrando el agua en cantidad similar al microlisímetro de balance, lo que coincide con lo esperado en la revisión de literatura en relación con la construcción de cápsulas porosas y el riego por succión Vargas *et al.* (2008) y Vargas *et al.* (2010). Se reponía el agua en el contenedor cada vez que se consumía un 75% del volumen y se eliminaban las burbujas de agua que se forman en el tubo conductor a la cápsula de cerámica y se cubría permanentemente con una película de aluminio para disminuir la formación de algas.

La respuesta agronómica de la nochebuena se muestra en la tabla 1, indicando un buen desarrollo de la planta en relación con investigaciones similares.

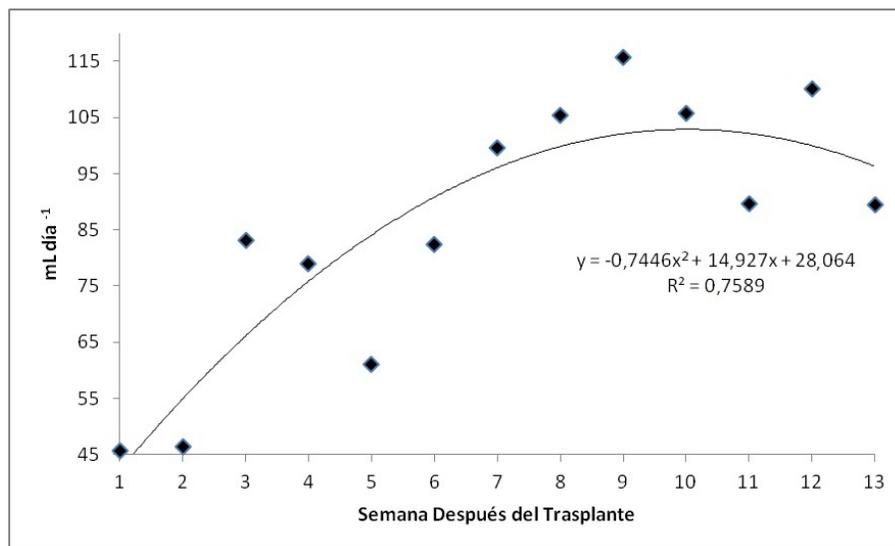
**Tabla 1. Medias de las variables agronómicas de la nochebuena al término del experimento**

| Variable Tratamiento | Altura Planta         | Altura Brote    | Color Brácteas  |                         |          | Clorofila       | Diámetro Flor | Diámetro tallo |
|----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|----------|-----------------|---------------|----------------|
|                      | cm                    | Cm              | <i>L*</i>       | <i>C*</i>               | <i>h</i> | SPAD            | cm            | cm             |
| SN                   | 36,62 ab              | 24,93 ab        | 32,25 a         | 54,55 a                 | 23,88 a  | 52,28 a         | 26,52 a       | 9,33 a         |
| SV                   | 33,82 b               | 22,86 b         | 33,06 a         | 54,28 a                 | 23,64 a  | 44,40 a         | 21,89 a       | 8,12 a         |
| SA                   | 36,60 ab              | 25,29 ab        | 30,86 a         | 52,49 a                 | 23,51 a  | 46,75 a         | 26,37 a       | 8,65 a         |
| BN                   | 41,05 a               | 30,73 a         | 32,43 a         | 55,30 a                 | 40,37 a  | 53,38 a         | 24,16 a       | 8,67 a         |
| DMS                  | 6,61                  | 5,86            | 4,25            | 4,66                    | 35,91    | 11,61           | 4,72          | 1,62           |
| CV                   | 8,51                  | 10,76           | 6,29            | 4,10                    | 61,42    | 11,24           | 9,10          | 8,90           |
| Variable Tratamiento | Firmeza Tallo         | Área Foliar     | Área Bráctea    | Peso materia fresca (g) |          |                 |               |                |
|                      | N                     | cm <sup>2</sup> | cm <sup>2</sup> | Tallo                   | Hoja     | Bráctea         | Raíz          | Flor           |
| SN                   | 7,66 a                | 1865,98 a       | 3052,36 ab      | 44,23 ab                | 40,50 ab | 68,30 ab        | 39,75 a       | 22,20 ab       |
| SV                   | 6,30 a                | 981,18 a        | 2718,61 b       | 33,35 b                 | 30,45 b  | 53,43 b         | 39,75 a       | 19,28 b        |
| SA                   | 6,60 a                | 1308,58 a       | 2909,13 ab      | 41,10 ab                | 34,28 ab | 71,13 ab        | 45,05 a       | 20,85 ab       |
| BN                   | 7,53 a                | 1746,00 a       | 4579,50 a       | 47,95 a                 | 47,40 a  | 88,33 a         | 46,83 a       | 25,50 a        |
| DMS                  | 1,93                  | 1054,80         | 1763,00         | 13,88                   | 13,14    | 23,73           | 15,38         | 4,67           |
| CV                   | 13,08                 | 34,06           | 25,33           | 15,87                   | 16,40    | 16,08           | 17,10         | 10,12          |
| Variable Tratamiento | Peso materia seca (g) |                 |                 |                         |          | Diámetro Planta |               |                |
|                      | Tallo                 | Hoja            | Bráctea         | Raíz                    | Flor     | cm              |               |                |
| SN                   | 5,83 a                | 5,23 ab         | 7,20 ab         | 3,53 a                  | 1,13 a   | 43,16 ab        |               |                |
| SV                   | 3,70 a                | 3,38 b          | 5,28 b          | 3,80 a                  | 0,78 a   | 36,63 b         |               |                |
| SA                   | 5,20 a                | 4,13 ab         | 7,95 ab         | 4,33 a                  | 1,00 a   | 41,40 ab        |               |                |
| BN                   | 5,78 a                | 5,90 a          | 9,33 a          | 5,43 a                  | 1,43 a   | 46,13 a         |               |                |
| DMS                  | 2,48                  | 2,27            | 3,18            | 2,31                    | 0,66     | 8,18            |               |                |
| CV                   | 23,02                 | 23,27           | 20,39           | 25,77                   | 29,28    | 9,31            |               |                |

DMS=Diferencia mínima significativa, CV= Coeficiente de variación, Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $P \leq 0,05$

Por ejemplo, Osuna-Canizales *et al.* (2012) reportaron 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-Tejacal *et al.* (2011) reportaron un diámetro 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. Como se aprecia en la tabla 1, de 22 variables comparadas, solamente en 10 variables hubo diferencia significativa, resaltando que el tratamiento BN tiene los valores más altos y el tratamiento SV tiene los menores valores. Asimismo se resalta que el tratamiento SN es igual al tratamiento SA, para todas las variables analizadas. En las brácteas, las diferencias en el área se mantienen en su peso fresco y su peso seco, resaltando que no existen diferencias en color  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h$ ; y en el caso de las hojas, aunque no hay diferencias en el área ni en contenido de clorofila SPAD, las diferencias se manifiestan en su peso fresco y su peso seco. El peso fresco y seco de la raíz no muestra diferencias significativas, por estar creciendo en un volumen de sustrato confinado por el contenedor y con suficiencia de agua y nutrientes.

La evapotranspiración real o requerimiento de riego en  $\text{mL dia}^{-1}$  obtenidos a nivel semanal después del trasplante (SDDT) se muestra en la Tabla 2, donde se puede apreciar que de las 13 semanas DDT del ciclo de producción de la nochebuena, solo las semanas 5 y 10 DDT existe diferencias entre tratamientos, resaltando que en la semana 5 el mayor consumo se presenta en el tratamiento A, que tiene un alto contenido de fibra de coco, posiblemente por un aumento de las fuerzas de capilares que proporcionan una mayor retención de agua en la matriz del microlisímetro de succión, pero en la semana 10 el mayor consumo lo reporta el microlisímetro de balance MB, por lo que, bajo el supuesto de que se compensan estas diferencias, el microlisímetro de succión es una herramienta confiable para cuantificar el consumo de agua en la nochebuena y el modelo matemático que representa el consumo de agua en función de la semana transcurrida DDT, obtenido a partir del promedio semanal de todos los tratamientos es (figura 2):



**Figura 2. Curva de consumo de agua por la nochebuena**

$$y = -0,7446 x^2 + 14,927x + 28,064 \quad \text{con } R^2=0,7589 \quad (5)$$

donde:  $y = \text{mL dia}^{-1}$  y  $x = \text{SDDT}$ , resaltando en  $x=1$  el consumo  $42 \text{ mL dia}^{-1}$  en la semana 1 con aumento gradual hasta un máximo  $103 \text{ mL dia}^{-1}$  en la semana 10, a partir de la cual empieza

a decrecer. Por el proceso de riego por succión de la microlisimetría que implica una alta eficiencia en el riego, y el riego cada tercer día del BN, se asume una eficiencia de riego teórica del 100%. Una aplicación de esta ecuación para riego por goteo, con una eficiencia teórica de 95%, resulta que el consumo se programaría con 45 mL día<sup>-1</sup> en la semana 1 con aumento gradual hasta un máximo 108 mL día<sup>-1</sup> en la semana 10. Asimismo, en riego con bastón con una eficiencia esperada 70%, los consumos serían de 60 mL día<sup>-1</sup> y 147 mL día<sup>-1</sup>, respectivamente, coincidiendo con Schuch (1995) y Cabrera (2006) que reportan de 120 a 125 mL día<sup>-1</sup> en promedio durante el desarrollo de la nochebuena y Alia-Tejacal *et al* (2011) quienes suministraron de 50 a 150 mL día<sup>-1</sup>, es decir que regaron con alta eficiencia de riego durante su experimento.

**Tabla 2. Evapotranspiración real diaria semanal de la nochebuena “Freedom red” en maceta de 15 cm de diámetro bajo invernadero**

| mL día <sup>-1</sup> | Semana después del trasplante |          |          |          |          |          |          |
|----------------------|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                      | 1                             | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        |
| BN                   | 40,71 a                       | 48,75 a  | 66,07 a  | 61,07 a  | 69,64 ab | 94,11 a  | 103,93 a |
| SA                   | 53,66 a                       | 50,36 a  | 92,32 a  | 100,00 a | 41,61 b  | 80,54 a  | 99,46 a  |
| SN                   | 49,11 a                       | 38,21 a  | 99,29 a  | 83,21 a  | 57,59 ab | 77,50 a  | 108,21 a |
| SV                   | 39,11 a                       | 48,04 a  | 75,00 a  | 71,88 a  | 75,45 a  | 77,86 a  | 86,79 a  |
| DMS                  | 29,81                         | 30,96    | 48,14    | 63,15    | 32,91    | 35,49    | 37,30    |
| CV                   | 47,83                         | 48,94    | 42,40    | 58,53    | 39,47    | 31,51    | 27,43    |
| mL día <sup>-1</sup> | 8                             | 9        | 10       | 11       | 12       | 13       |          |
| BN                   | 129,11 a                      | 143,84 a | 149,64 a | 106,79 a | 128,21 a | 122,66 a |          |
| SA                   | 87,86 a                       | 106,79 a | 104,29 b | 97,14 a  | 125,36 a | 61,88 a  |          |
| SN                   | 101,43 a                      | 109,25 a | 78,39 b  | 88,75 a  | 87,86 a  | 100,94 a |          |
| SV                   | 103,39 a                      | 102,68 a | 90,89 b  | 65,71 a  | 98,57 a  | 72,50 a  |          |
| DMS                  | 48,74                         | 50,23    | 40,96    | 41,59    | 50,90    | 63,70    |          |
| CV                   | 33,86                         | 31,82    | 28,36    | 34,00    | 33,89    | 52,14    |          |

Tomando en cuenta lo obtenido por Baille et al. (1994) en cultivo protegido en Francia, de una ET de 2 mm día<sup>-1</sup>, si se analiza para un diámetro de planta de 0,46 m, resulta en 332 mL día<sup>-1</sup>, correspondiente a mas de doble de los resultados de esta investigación y lo manejado por Alia-Tejacal et al. (2011) en la máxima demanda, en cultivo protegido en México.

Para el consumo de agua en función de la quincena transcurrida DDT, obtenido a partir del promedio quincenal de todos los tratamientos la ecuación es:

$$y = -3,3355 x^2 + 34,07x + 16,345 \quad \text{con } R^2=0,8452 \quad (6)$$

donde: y = mL día<sup>-1</sup> y x=quincena DDT, resaltando en x=1 el consumo 47 mL día<sup>-1</sup> en la quincena 1 con aumento gradual hasta un máximo 91 mL día<sup>-1</sup> en la quincena 7, a partir de la cual empieza a decrecer.

A partir de los resultados obtenidos y su comparación con otras trabajos, se puede concluir que el consumo de agua planta de nochebuena puede ser afectada por el tipo de planta y el método de riego utilizado de acuerdo con Broembsen *et al.* (1994) y Morvant *et al.* (1998), por lo

que es recomendable instalar microlisímetros en cada sistema de producción de nochebuena, para obtener su consumo de agua particular y en tiempo real, y los resultados en esta investigación solo son válidos bajo sus condiciones de desarrollo, y fueron base para evaluar la pertinencia de la microlisimetría por succión con cápsulas porosas.

Los resultados obtenidos permiten concluir que el tipo de sustrato utilizado *N*, *V* y *A*, así como el método de riego empleado (Balance o succión) no afecta significativamente el consumo de agua en la planta en la microlisimetría evaluada.

## CONCLUSIONES

Los microlisímetros de succión elaborados en este experimento suministran el agua en cantidad similar al microlisímetro de balance para el cultivo protegido de nochebuena en maceta de 15 cm.

De 22 variables comparadas, en 10 variables hubo diferencia significativa, resaltando que el tratamiento BN tiene los valores más altos y el tratamiento SV tiene los menores valores. Asimismo se resalta que el tratamiento SN es igual al tratamiento SA, para todas las variables analizadas. En las brácteas, las diferencias en el área se mantienen en su peso fresco y su peso seco. No existen diferencias en color  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h$ ; y en el caso de las hojas, aunque no hay diferencias en el área ni en contenido de clorofila SPAD, las diferencias se manifiestan en su peso fresco y su peso seco. El peso fresco y seco de la raíz no muestra diferencias significativas.

Se obtiene un modelo del consumo de agua en función de la semana transcurrida con consumos de 45 mL día<sup>-1</sup> en la semana 1 con aumento gradual hasta un máximo 108 mL día<sup>-1</sup> en la semana 10. El consumo de agua planta de nochebuena puede ser afectada por el tipo de planta y el método de riego utilizado. Es pertinente utilizar microlisímetros de succión en un sistema de producción de nochebuena, para obtener su consumo de agua particular y en tiempo real.

## REFERENCIAS

- Alia-Tejacal I.; Valdez, L. A.; Campos, B. E.; Sainz, A. M. J.; Pérez, A. G.; Colinas, L. M.; 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”, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Especial* (3): 577-589, México.
- 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”, *Scientia Horticulturae*, 59 (1994):217-232, France.
- Broembsen, S. L.; Dole, J. M. and Cole, J. C.** (1994). “Growth of poinsettias, nutrient, leaching, and water-use efficiency respond to irrigation methods”, *HortScience* 29(8):858-864. Stillwater, OK., USA.
- Cabrera, R. J.** (2006). “Producción de Nochebuena *Euphorbia pulcherrima* Willd. Ex klotzsch. En Morelos”, INIFAP, Folleto técnico Núm. 23, Zacatepec, Morelos, México.

**Morvant, J.K.; J.M. Dole and J.C. Cole.** (1998). "Irrigation frequency and system affect poinsettia growth, water use, and runoff", *Hortscience* 33(1):42-46. Stillwater, OK., USA.

**Osuna-Canizalez, F.J.; Moreno-López, M.F.; García-Pérez, F.; Ramírez-Rojas, S. y Canul-Ku, J.** (2012). "Biocontrol de la pudrición de raíz de nochebuena de interior con *Trichoderma* spp.", *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(3): 553-564, Zacatepece, Morelos, México.

**Rodríguez, D. E.; Salcedo, P. E.; Rodríguez, M. R.; González, E. D. R. y Mena M. S.** (2013). "Reúso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill)", *Terra Latinoamericana* 31(4): 275-284. Zapopan, Jalisco, México.

**Schuch, U.; Redak, R. A. and Bethke, J.** (1995). "Whole-plant response of six poinsettia cultivars to three fertilizer and two irrigation regimes", *Journal of the American Society for Horticultural Science* 121(1): 69-76. Riverside, CA., USA.

**Vargas R. P.; Peña, M.; Gonzales J. y Hernández G.** (2008). "Obtención de cápsulas porosas para el beneficio de cultivos protegidos". *Revista de Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 17(3): 14-17. Universidad Agraria de la Habana Fructuoso Rodríguez Pérez, Cuba.

**Vargas, R.P.; Peña, C.M.; García, V.K.; Roble de la, R.D. y Álvarez, A.R.** (2010). "Sistemas de riego con emisores porosos para la producción de tomate con ahorro de agua y energía: propuesta de diseño", *Ingeniería Hidráulica y Ambiental* 31(1):34-42. Cuba.