

Artículo publicado en el Repositorio Institucional del IMTA

<i>Título</i>	Cuantificación microlisimétrica del consumo de agua residual tratada en la nochebuena ( <i>Euphorbia pulcherrima</i> Willd. ex Klotzsch)
<i>Autor / Adscripción</i>	<p>Pedro Pacheco-Hernández Instituto Mexicano de Tecnología del Agua</p> <p>Víctor López-Martínez María Andrade-Rodríguez Iran Alia-Tejacal Manuel de Jesús Sainz-Aispuro Oscar Gabriel Villegas-Torres Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México</p> <p>Ramón Arteaga-Ramírez Mario Alberto Vázquez-Peña Universidad Autónoma Chapingo, México</p>
<i>Publicación</i>	Tecnología y Ciencias del Agua, 7(6): 179-186
<i>Fecha de publicación</i>	2016
<i>Área del conocimiento</i>	Ciencias agropecuarias y biotecnología
<i>Resumen</i>	<p>En un cultivo de nochebuena en un invernadero instrumentado en Jiutepec, Morelos, se midió el consumo de agua residual tratada (ART) con micro-lisímetros de succión de macetas de polietileno de 15 cm de diámetro con sustratos de granulometría similar N, V y A. El consumo de ART de la nochebuena puede ser afectado por tipo de planta y método de riego. En las semanas después del trasplante 2 (posterior al pinchado), 8, 9 y 10 (inicio de pigmentación) existen diferencias entre tratamiento y coincide con un periodo de disminución del consumo de ART. El microlisímetro de succión es una herramienta para cuantificar el consumo de ART en nochebuena.</p>
<i>Identificador</i>	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12013/1687">http://hdl.handle.net/20.500.12013/1687</a>

# Cuantificación microlisimétrica del consumo de agua residual tratada en la nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch)

• Pedro Pacheco-Hernández\* •  
*Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*

\*Autor para correspondencia

• Víctor López-Martínez • María Andrade-Rodríguez • Iran Alia-Tejacal •  
 • Manuel de Jesús Sainz-Aispuro • Oscar Gabriel Villegas-Torres •  
*Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México*

• Ramón Arteaga-Ramírez • Mario Alberto Vázquez-Peña •  
*Universidad Autónoma Chapingo, México*

## Resumen

Pacheco-Hernández, P., López-Martínez, V., Andrade-Rodríguez, M., Alia-Tejacal, I., Sainz-Aispuro, M., Villegas-Torres, O., Arteaga-Ramírez, R., & Vázquez-Peña, M. (noviembre-diciembre, 2016). Cuantificación microlisimétrica del consumo de agua residual tratada en la nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch). *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(6), 179-186.

En un cultivo de nochebuena en un invernadero instrumentado en Jiutepec, Morelos, se midió el consumo de agua residual tratada (ART) con microlisímetros de succión de macetas de polietileno de 15 cm de diámetro con sustratos de granulometría similar N, V y A, donde N = tierra de hoja/tezontle/fibra de coco en proporción 60:20:20; V = tierra de hoja/tezontle/agrolita/fibra de coco (86:7:3.5:3.5); A = fibra de coco/tierra de hoja/agrolita (40:40:20), y el consumo de agua mediante microlisímetros de balance con sustrato N (BN); 11 de 22 variables presentaron diferencia significativa; BN tiene los valores más altos y V los menores; N es igual a A, para todas las variables analizadas. Las brácteas tienen diferencias en área, peso fresco y peso seco, sin diferencias en color  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h$ ; las hojas no tienen diferencias en área ni en contenido de clorofila, y sí tienen en peso fresco y seco. Peso fresco y seco de raíz sin diferencias significativas. El sustrato A presentó mejores resultados agronómicos que N y V. El consumo de ART de la nochebuena puede ser afectado por tipo de planta y método de riego. En las semanas después del trasplante 2 (posterior al pinchado), 8, 9 y 10 (inicio de pigmentación) existen diferencias entre tratamiento y coincide con un periodo de disminución del consumo de ART. El microlisímetro de succión es una herramienta para cuantificar el consumo de ART en nochebuena.

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

## Abstract

Pacheco-Hernández, P., López-Martínez, V., Andrade-Rodríguez, M., Alia-Tejacal, I., Sainz-Aispuro, M., Villegas-Torres, O., Arteaga-Ramírez, R., & Vázquez-Peña, M. (November-December, 2016). *Treated Waste Water Consumption Microlysimetric Quantification in Poinsettia (Euphorbia pulcherrima Willd. ex Klotzsch)*. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 7(6), 179-186.

In an instrumented greenhouse a poinsettia culture was implemented in Jiutepec, Morelos, consumption of treated wastewater (ART) were measured with suction microlysimeters polyethylene pots 15 cm in diameter with similar granulometry substrates N, V and A, where N = plant leaf-litter/tezontle/coconut fiber in proportion 60:20:20, V = plant leaf-litter/tezontle/agrolita/coconut fiber (86:7:3.5:3.5) A = coconut fiber/plant leaf-litter/agrolita (40:40:20) and water consumption through microlysimeters balance with substrate N (BN) were measured, too; 11 of 22 variables had significant differences. BN has the highest values and V the lowest ones. N is equal to A, for all variables. The bracts have differences in area, fresh weight and dry weight, without differences in  $L^*$ ,  $C^*$  and  $h$ . The leaves have no differences in area neither chlorophyll content, and they have differences in fresh and dry weight. Fresh and dry root weight without significant differences. The A substrate showed better agronomic results than N and V substrates. ART consumption of poinsettia can be affected by plant type and irrigation method. In the week after transplantation 2 (after punch), 8, 9 and 10 (start of pigmentation) there are differences between treatments and coincides with an ART decreased consumption period. The suction microlysimetric is a tool to quantify the consumption of ART on poinsettia.

**Keywords:** Suction irrigation, porous capsule, water demand, protected agriculture.

Recibido: 11/02/2016  
 Aceptado: 06/07/2016

## Introducción

Los métodos más precisos y caros para cuantificar el consumo de agua por las plantas o evapotranspiración real (*E<sub>Tr</sub>*) 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. La microlisimetría o minilimetría ha sido desarrollada para estudios de flujo de solutos, de evaporación del agua a suelo desnudo.

Un lisímetro es un contenedor de un diámetro mayor a los 110 cm y una profundidad superior a los 130 cm (Dos Santos, 2006); un microlisímetro o minilisímetro tiene diámetros menores a 100 cm y una profundidad que no excede los 70 cm (Bremer, 2003).

Vargas, Peña, García, Roble De La y Álvarez (2010) hacen una extensa revisión del riego por succión con cápsulas porosas, y Espinosa (1992) desarrolla una metodología para construir tensiómetros de mercurio a partir de cápsulas con una geometría similar a los tensiómetros con manómetro construidos en Estados Unidos. Por otro lado, Neuzo, De Madeiras, Levien y De Oliviera (2006), en una evaluación de cápsulas cerámicas e instrumentos de medida de tensión usados en tensiómetros, concluyen que la procedencia de las cápsulas no afecta los valores de tensión en los tensiómetros. Con base en esta revisión, Pacheco-Hernández *et al.* (2014) elaboraron microlisímetros de succión con cápsulas porosas para cuantificar el consumo de agua de pozo en nochebuena, resultando en un promedio de 150 ml día<sup>-1</sup>.

En relación con el consumo de agua esperado por la nochebuena, Cabrera (2006) reporta que se aplican con bastón y cebolla cada tercer día aproximadamente de 240 a 250 ml de agua por maceta. Alia-Tejacal *et al.* (2011), en un experimento de nochebuena "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>. Esto es, existe una respuesta de la planta de nochebuena al

consumo de agua y su manejo de acuerdo con el método de riego utilizado (Dole, Cole, & Broembsen, 1994; Morvant, Dole, & Cole, 1998); siendo el agua un recurso cada vez más escaso, es necesario su uso óptimo.

Sólo el área metropolitana de la Ciudad de México genera hasta 56 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> de aguas residuales. Aunque es indispensable su tratamiento antes de su reúso para el riego (Ontiveros-Capurata, Diakite-Diakite, Alvarez-Sanchez, & Coras-Merino, 2013), una alternativa al riego con agua limpia es con agua residual tratada (ART), lo cual se viene realizando cada vez más en algunos campos de golf, de gramíneas y hasta de hortalizas, con mínimos efectos en la calidad y sanidad de los productos; sin embargo, el consumidor tiene una reacción psicológica de rechazo al producto, aun sabiendo que es inocuo, al saber que se produjo con ART; por lo que su uso más natural es en plantas ornamentales. Incluso Gori, Lubello, Ferrini y Nicese (2004) reportan que las plantas regadas con ART mostraron mejores desarrollos que aquellas regadas con agua potable.

El uso de ART en ornamentales se ha documentado en tiempos recientes; Fox, Grose, Appleton y Donohue (2005), y Gori, Lubello, Ferrini, Nicese y Coppini (2008) reportan crecimiento satisfactorio de ornamentales en sustratos, sin dejar de mencionar los riesgos de los altos contenido de iones tóxicos, como cloro y sodio. En el caso de nochebuena, no se encuentran reportes de uso de ART, por lo que es necesario generar conocimiento sobre sus requerimientos de riego con ART.

El productor de nochebuena en Morelos utiliza sustratos con materiales como tierra de hoja o pino (hojarasca u ocochal, respectivamente), tezontle, tepojal, agrolita, *peat moss*, fibra de coco, composta, etcétera, mezclados en distintas proporciones, por su fácil obtención y éxito en el uso (Cabrera, 2006). La más común es la mezcla de tierra de hoja / tezontle / fibra de coco, en proporción 60:20:20. Pineda *et al.* (2008), al evaluar diferentes sustratos en el cultivo de nochebuena "Supjibi red", el tezontle, al 100%, registró 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.

El objetivo fue utilizar microlisímetros, operando con los principios del riego por succión, aplicado a la nochebuena en contenedor en los tres sustratos más comunes, para obtener sus requerimientos de ART bajo condiciones de invernadero, en comparación con un microlisímetro de balance con agua de pozo, en Jiutepec, Morelos, México.

## Materiales y métodos

El experimento se efectuó en un invernadero del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), ubicado en Jiutepec, Morelos, México, localizado a 18° 52.73' de latitud norte y 99° 9.6' de longitud oeste, y a 1 352 msnm de elevación, con clima cálido húmedo con lluvias en verano de menor humedad  $A(W_0)$ . El invernadero tiene 126 m<sup>2</sup> y cuenta con una estructura de metal y ventilación forzada en una sola nave, y cubierta plástica de polietileno de transmisibilidad de 46.8%.

Se realizó el manejo del cultivo de acuerdo con el paquete tecnológico local de la nochebuena y reportado por Cabrera (2006), en la variedad "Freedom red", en maceta de polietileno de 15 cm de diámetro.

Se hizo un seguimiento al volumen de agua consumido del 20 de agosto al 18 de noviembre de 2012 y por destrucción de cuatro 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, cromaticidad y matiz) 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.

## 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).

## Microlisímetro de succión

Se fabricaron cápsulas cerámicas. De acuerdo con Espinoza (1992), se revisó su funcionamiento y se seleccionaron aquellas con una conductividad hidráulica con gastos de 4 a 12 ml h<sup>-1</sup>, bajo una carga hidráulica de 40 cm, para asegurar el mínimo de 5 ml h<sup>-1</sup>; se unió con pegamento amarillo la cápsula porosa a la manguera; se llenó de ART, revisando que no existiera aire atrapado, y se sumergió el otro extremo de la manguera en el recipiente graduado lleno con ART, donde se registró el consumo diario de agua ( $ETr$ ). La cápsula se introdujo completamente en la zona radicular del sustrato de la maceta del microlisímetro, adicionando poliacrilato de potasio hidratado, para favorecer la continuidad del poro en la matriz de sustrato circundante (Pacheco et al., 2014).

## 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 de agua de pozo ( $Irr$ ), midiendo el agua drenada ( $PP$ ). 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,  $ETr$  es:

$$ETr = ETc = Irr - PP \quad (1)$$

Se puede obtener la  $ET_r$  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 siguientes tratamientos: *A*, microlisímetro de succión de ART con sustrato *A*; *V*, microlisímetro de succión de ART con sustrato *V*; *N*, microlisímetro de succión de ART con sustrato *N*; y *BN*, microlisímetro de balance con agua de pozo con sustrato *N*. La unidad experimental o microlisímetro es una maceta de nochebuena. Se realizó una comparación de medias con Tukey, haciendo uso del *software SAS* tanto para las variables agronómicas como para las de consumo de agua.

### Resultados y discusión

La nochebuena mostró un buen desarrollo de la planta (cuadro 1), en relación con investigaciones similares para la misma variedad "Freedom Red" y variables. Por ejemplo, Osuna-Canizalez, Moreno-López, García-Pérez, Ramírez-Rojas y Canul-Ku (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 y 24.8 cm, respectivamente, SPAD de 58.9 y color  $L$ ,  $C$  y  $h$  de 29.3, 48.8 y 24.5, respectivamente, lo que sustenta el aspecto agronómico. El cuadro 1 muestra que de 22 variables comparadas, en 11 variables hubo diferencia significativa, resaltando que el tratamiento *BN* tiene los valores más altos y el tratamiento *V* tiene los menores valores, producto del método de riego por succión en el tratamiento *V*, que en la máxima demanda instantánea; la cápsula en la matriz de sustrato con alta proporción de tierra de hoja no pudo suministrar el agua requerida por la planta, en comparación con el agua almacenada

en el contenedor con el sustrato *N* y riego en exceso para balance (*BN*).

En las brácteas y hojas, 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  $h$ , sin diferencias en el contenido de clorofila SPAD, altura de planta, diámetro de flor ni en diámetro, firmeza y peso seco del tallo; es decir, estas variables agronómicas no son afectadas por el uso de ART, en comparación con agua limpia (*BN*), ni el empleo de los sustrato del tipo *N*, *V* o *A* en el ART con riego por succión, lo cual coincide con lo reportado en otras ornamentales por Fox *et al.* (2005), y Gori *et al.* (2008).

La flor presenta diferencias en su peso fresco y su peso seco. El peso fresco y seco de la raíz muestra diferencias significativas. Cuando se analiza por separado la influencia del sustrato con el uso del agua residual tratada, resulta que *A* (no tiene tezontle) tiene significativamente mayores valores que *N* y *V* en las variables área, peso fresco y seco de las hojas (foliar), y de las brácteas, mostrando un efecto benéfico de la alta proporción de la fibra de coco o una baja proporción de tierra de hoja en la mezcla del sustrato cuando se usa ART, contra lo reportado por Pineda *et al.* (2008), quienes al evaluar diferentes sustratos en el cultivo de nochebuena "Supjibi red" regada con agua limpia, el tezontle al 100% presentó mejores resultados. El resultado de *A* mejor o igual que *N* y *V* muestra que la alta proporción de fibra de coco es una alternativa de sustrato al uso de la tierra de hoja, cuya explotación está causando cada vez mayores problemas ambientales en las zonas boscosas.

El consumo de ART o evapotranspiración real en  $\text{ml día}^{-1}$  obtenidos a nivel semanal se muestra en el cuadro 2, donde se puede apreciar que de las 13 semanas después del trasplante (DDT) del ciclo de producción de la nochebuena, sólo en las semanas 2, 8, 9 y 10 DDT existen diferencias entre tratamientos y coincide con un periodo de disminución del consumo de ART, resaltando que en la semana 2, el mayor consumo se presenta en el tratamiento *A*, que tiene un alto contenido de fibra de coco, posiblemente

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

Variable	Altura planta (cm)	Altura brote (cm)	Color brácteas			Clorofila (SPAD)	Diámetro flor (cm)	Diámetro tallo (cm)	Firmeza tallo (N)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Área bráctea (cm <sup>2</sup> )
			L*	C*	h						
N	35.38 a	21.08 b	34.43 a	58.33 a	23.31 a	50.40 a	25.77 a	9.14 a	6.59 a	948.75 b	2 855.75 b
V	32.65 a	23.91 b	34.09 a	55.96 a	23.41 a	49.53 a	24.57 a	9.45 a	6.95 a	843.75 b	2 406.50 b
A	35.40 a	25.30 b	34.17 a	56.63 a	23.34 a	47.93 a	24.86 a	9.12 a	7.36 a	1 299.50 ab	3 642.25 ab
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	7.53 a	1 746.00 a	4 579.50 a
DMS	10.31	5.19	2.46	6.56	35.93	12.13	3.69	1.29	2.00	467.20	1 436.70
CV	13.59	9.78	3.46	5.53	61.99	11.49	7.08	6.78	13.39	18.40	20.30
Variable	Peso, materia fresca (g)					Peso, materia seca (g)					Diámetro planta (cm)
	Tallo	Hoja	Bráctea	Raíz	Flor	Tallo	Hoja	Bráctea	Raíz	Flor	
N	34.80 b	33.75 b	64.98 b	35.18 a	21.90 ab	4.43 a	4.03 b	6.23 b	3.23 ab	1.10 ab	38.36 a
V	37.40 ab	30.05 b	53.28 b	41.58 a	20.78 b	4.65 a	3.40 b	5.38 b	3.98 ab	0.75 b	38.02 a
A	41.43 ab	38.68 ab	71.58 ab	35.70 a	23.03 ab	4.95 a	4.75 ab	7.38 ab	2.70 b	1.13 ab	46.81 a
BN	47.95 a	47.40 a	88.33 a	46.83 a	25.50 a	5.78 a	5.90 a	9.33 a	5.43 a	1.43 a	46.13 a
DMS	10.71	10.84	23.08	17.37	4.20	1.90	1.85	2.47	2.60	0.49	9.46
CV	12.62	13.78	15.81	20.78	8.78	18.29	19.46	16.62	32.32	21.08	10.65

Tratamientos de succión en los sustratos: 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); BN = balance con sustrato; NL\* = 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; 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 un aumento de las fuerzas de capilares, que proporcionan una mayor retención de agua en la matriz del microlisímetro de succión (Burés, 1997); en el resto de las semanas, numéricamente A presenta mayor consumo que N y V, posiblemente a su significativa mayor área y peso de hojas y brácteas, y en general toda la fenología (tipo) de la planta (cuadro 1); pero el microlisímetro de balance BN en las semanas 8 a 10 reporta el mayor consumo y en la semana 2 el menor, por lo que, bajo el supuesto de que se compensan estas diferencias en el ciclo de cultivo, el microlisímetro de succión es una herramienta confiable para cuantificar el consumo de ART en la nochebuena.

Por el proceso de riego por succión de la microlisimetría, que implica una alta eficiencia en el riego (Albanil, 1991), y el riego cada tercer día del BN, se asume una eficiencia de riego teórica de 100%. Una aplicación de estos resultados para riego por goteo, con una eficiencia

teórica de 95%, resultaría que el consumo se programaría con 76 ml día<sup>-1</sup> en la semana 1 y 112 ml día<sup>-1</sup> en la semana 9, y en riego con bastón, con una eficiencia esperada de 70%, los consumos serían de 103 ml día<sup>-1</sup> en la semana 1 y 152 ml día<sup>-1</sup> en la semana 9, coincidiendo con Alia-Tejacal *et al.* (2011), quienes suministraron de 50 a 150 ml día<sup>-1</sup>, y Cabrera (2006), que reporta de 120 a 125 ml día<sup>-1</sup> en promedio durante el desarrollo de la nochebuena. Los altos valores numéricos en general y estadísticos en las semanas DDT 8, 9 y 10 del BN se deben a que los microlisímetros de succión minimizan la evaporación sobre la superficie del sustrato, por estar el emisor poroso en el centro de la matriz de sustrato de la maceta, lo que aumenta su eficiencia de riego (Albanil, 1991); así, la aplicación inmediata de este método microlisimétrico de succión para el consumo de agua en nochebuena es en sistemas de riego, como el goteo con aplicación puntual.

Cuadro 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 (DDT)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
BN	40.71 a	48.75 b	66.07 a	61.07 a	69.65 a	94.11 a	103.93 a	129.11 a	143.84 a	149.64 a	106.79 a	128.21 a	122.66 a
A	85.89 a	97.86 a	109.46 a	71.25 a	62.86 a	105.18 a	108.39 a	104.29 ab	97.14 b	110.71 ab	78.04 a	89.11 a	121.56 a
N	81.61 a	79.11 ab	83.75 a	58.39 a	61.43 a	98.93 a	85.54 a	86.96 b	75.89 b	78.75 b	68.04 a	106.61 a	115.63 a
V	80.89 a	65.00 ab	70.71 a	72.14 a	65.89 a	98.21 a	84.29 a	87.86 b	108.21 ab	74.46 b	92.68 a	84.82 a	134.38 a
Prom.	72.68	82.50	65.71	64.96	99.11	95.54	102.06	106.27	103.39	86.39	102.19	123.56	72.68
DMS	49.63	38.28	54.63	48.92	45.62	76.80	65.03	31.17	43.80	40.67	40.19	53.01	135.27
CV	50.30	38.58	48.51	54.53	51.44	56.76	48.86	22.37	30.19	28.82	34.08	38.00	80.20
Pr	0.06	0.01	0.15	0.82	0.96	0.98	0.66	0.00	0.00	0.00	0.07	0.13	0.98

Tratamiento de succión en los sustratos: 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); BN = balance con sustrato N; Prom. = promedio; 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  $P \leq 0.05$ .

Los microlisímetros de succión de ART elaborados suministraron el agua en cantidad similar al microlisímetro de balance, coincidiendo con lo esperado en la revisión de literatura en relación con la construcción de cápsulas porosas y el riego por succión Vargas *et al.* (2010).

A partir de los resultados obtenidos y su comparación con otros trabajos, se puede concluir que el consumo de ART de la nochebuena puede ser afectada por el tipo de planta y el método de riego utilizado (Dole *et al.*, 1994; Morvant *et al.*, 1998), por lo que es recomendable instalar microlisímetros en cada sistema de producción de nochebuena para obtener su consumo de ART particular y en tiempo real. Los resultados en esta investigación sólo son válidos bajos sus condiciones de desarrollo, según Sánchez (2001), y fueron base para evaluar la pertinencia de la microlisimetría por succión con cápsulas porosas y con ART en particular.

La disminución real o relativa del consumo en la semana 2 y en las semanas 8, 9 y 10 DDT coincide, respectivamente, con el periodo posterior al "pinchado" o despunte de la nochebuena y el inicio de la pigmentación de brácteas en todos los tratamientos (cuadro 1), lo cual se puede deber al estrés causado por la eliminación

parcial de follaje y tallo del pinchado, y algún cambio en la fisiología del cultivo, al disminuir su contenido de clorofila y aumentar el de las xantocianinas.

## Conclusiones

Se presentó diferencia significativa en 11 de 22 variables agronómicas comparadas, resaltando que el tratamiento BN tiene los valores más altos y el tratamiento V presenta los menores valores. El tratamiento N es igual al tratamiento A para todas las variables analizadas. En las brácteas y hojas, las diferencias en el área se mantienen en su peso fresco y su peso seco. No existen diferencias en color  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h$ ; el contenido de clorofila SPAD, altura de planta, diámetro de flor, en diámetro, firmeza y peso seco del talle; es decir, las variables agronómicas no son afectadas por el uso de ART, en comparación con agua limpia (BN), ni el empleo de los sustratos del tipo N, V o A en el ART con riego por succión.

El sustrato A (no tiene tezontle) presenta significativamente mayores valores que los sustratos N y V en las variables área, peso fresco y seco de las hojas (foliar), y de las brácteas, mostrando un efecto benéfico de la alta proporción de la fibra de coco o una baja proporción de tierra

de hoja en la mezcla del sustrato cuando se usa ART.

En las semanas 2 (posterior al pinchado), 8, 9 y 10 (inicio de pigmentación) después del trasplante existen diferencias entre tratamientos y coincide con un periodo de disminución del consumo de ART.

El consumo de agua planta de nochebuena puede ser afectada por el tipo de planta y el método de riego utilizado.

Los microlisímetros de succión elaborados suministran el ART en cantidad similar al microlisímetro de balance.

En el ciclo de cultivo de la nochebuena, el microlisímetro de succión es una herramienta confiable para cuantificar el consumo de ART.

## Referencias

- Alia-Tejocal, I., Valdez-Aguilar, L. A., Campos-Bravo, E., Sainz-Aispuro, M. J., Pérez-Arias, G. A., Colinas-León, M. T., Andrade-Rodríguez, M., López-Martínez, V., & Alvear-García, A. (2011). Efecto de la aspersión de ácido giberélico en el crecimiento de cícnos cultivares de nochebuena. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2011), 577-589.
- Albanil, E. A. (1991). *Determinación de la evaporación y eficiencia en el cultivo de fresa mediante riego por succión* (pp. 72-73). Tesis de maestría. Texcoco: Colegio de Postgraduados, Agrometeorología.
- Bremer, D. J. (2003). Evaluation of Microlisimeters Used in Turfgrass Evapotranspiration Studies Using Dual-Probe Heat-Pulse Technique. *Agronomy Journal*, 95, 1625-1632.
- Burés, S. (1997). Sustratos (51 pp.). En: *Características de los sustratos*. Madrid: Ediciones Agrotécnicas, S. L.
- Cabrera, R. J. (2006). Producción de nochebuena *Euphorbia pulcherrima* Willd. Ex klotzsch. en Morelos. Zacatepec, Morelos, México, *Folleto técnico*, 23, Ed. INIFAP, 20 p.
- Dole, J. M., Cole, J. C., & Broembsen, S. L. (1994). Growth of Poinsettias, Nutrient, Leaching, and Water-Use Efficiency Respond to Irrigation Methods. *HortScience*, 29, 858-864.
- Dos Santos, R. A. (2006). *Desarrollo de un microlisímetro móvil de pesada y análisis de la demanda hídrica y de nutrientes en la producción de porta-injerto de cítricos*. Tesis de maestría. Sao Paulo: Universidad de Sao Paulo.
- Espinosa, M. R. (1992). *Diseño y construcción de un tensiómetro de mercurio*. Tesis profesional. Texcoco: Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Irrigación.
- Fox, L. J., Grose, N., Appleton, B. L., & Donohue, S. J. (2005). Evaluation of Treated Effluent as an Irrigation Source for Landscape Plants. *Journal of Environmental Horticulture*, 23(4), 174-178.
- Gori, R., Lubello, C., Ferrini, F., & Nicese, F. (2004). Reclaimed Municipal Wastewater as Source of Water and Nutrients for Plants Nurseries. Italy. *Water Science and Technology*, 2(50), 69-75.
- Gori, R., Lubello, C., Ferrini, F., Nicese, F. P., & Coppini, E. (2008). Reuse of Industrial Wastewater for the Irrigation of Ornamental Plants. Italy. *Water Science & Technology*, 6(57), 883-889.
- Morvant, J. K., Dole, J. M., & Cole, J. C. (1998). Irrigation Frequency and System Affect Poinsettia Growth, Water Use, and Runoff. *HortScience*, 33(1), 42-46.
- Neuzo, B. de M., De Madeiras, J. F., Levien, S. L. A., & De Oliveira, A. M. (2006). Avaliação de cápsulas de cerâmica e instrumentos de medida de tensão usados em tensiómetros. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(1), 58-63.
- Ontiveros-Capurata, R. E., Diakite-Diakite, L., Alvarez-Sanchez, E., & Coras-Merino, P. M. (septiembre-octubre, 2013). Evaluación de aguas residuales de la ciudad de México utilizadas para riego. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(4), 127-140.
- Osuna-Canizalez, F. J., Moreno-López, M. F., García-Pérez, F., Ramírez-Rojas, S., & 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.
- Pacheco-Hernández, P., Sainz-Aispuro, M. J., Alia-Tejocal, I., Arteaga-Ramírez, R., Villegas-Torres, O. G., & Unland-Weiss, H. E. K. (2014). Cuantificación microlisimétrica del consumo de agua en la nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(8), 1481-1493.
- Pineda, P. J., Castillo, G. A. M., Morales, C. J. A., Colinas, L. M. T., Valdez, A. L. A., & Avitia, G. E. (2008). Efluentes y sustratos en el desarrollo de nochebuena. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14(2), 131-137.
- Vargas, R. P., Peña, C. M., García, V. K., Roble De La, R. D., & 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.

## Dirección institucional de los autores

Dr. Pedro Pacheco Hernández

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
Paseo Cuauhnáhuac 8532, colonia Progreso, 62550  
Jiutepec, Morelos, México  
Teléfono: +52 (777) 329 3600  
ppacheco@tlaloc.imta.mx



*Dr. Víctor López Martínez*  
*Dra. María Andrade Rodríguez*  
*Dr. Iran Alia Tejacal*  
*Dr. Manuel de Jesús Sainz Aispuro*  
*Dr. Oscar Gabriel Villegas Torres*

Universidad Autónoma del Estado de Morelos  
Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Av. Universidad núm. 1001  
62209 Cuernavaca, Morelos, MÉXICO

*Dr. Ramón Arteaga Ramírez*  
*Dr. Mario Alberto Vázquez Peña*

Universidad Autónoma Chapingo  
Departamento de Irrigación  
Carretera México-Texcoco km 35.6  
56230 Chapingo, Estado de México, MÉXICO



**Haga clic aquí para escribir al autor**