



UNIVERSIDAD NACIONAL ARTURO JAURETCHE

LIC. en CIENCIAS AGRARIAS

TALLER DE TRABAJO FINAL

Santiago Stancanelli

stancanelli.santiago@inta.gob.ar

Leg. 35992

Título del trabajo:

'Uso de riego capilar en el cultivo de plantas madre de *Calibrachoa hybrida*'

Tutores:

Dra. Paula Leva (IF, INTA)

Ing. Agr. Msc. Esteban Rubio (IF, INTA);

Biol. Mariel González (UNAJ)

Febrero 2023

Índice

1	Resumen	1
2	Introducción	3
3	Objetivos.....	7
4	Materiales y métodos.....	8
4.1	Mediciones	11
4.2	Diseño y análisis estadístico	13
5	Resultados y Discusión.....	13
5.1	Efectos sobre el crecimiento de las plantas	13
5.1.1	Tamaño final de las plantas	13
5.2	Rendimiento total de esquejes	16
5.2.1	Número total de esquejes cosechados por planta	16
5.2.2	Peso de esquejes cosechados por planta	17
5.2.3	Rendimiento de esquejes por cosecha	17
5.3	Calidad de los esquejes cosechados	19
5.3.1	Peso fresco y peso seco del esqueje	19
5.3.2	Índice de verdor	20
5.4	Consumo de agua	22
5.5	Eficiencia en el uso del agua.....	23
6	Conclusiones	24
7	Referencias bibliográficas.....	26

1 Resumen

Calibrachoa es un género ornamental con flores de diferentes colores para cultivo en macetas y jardines. Actualmente existen cultivares nacionales que se propagan agámicamente por enraizamiento de esquejes provenientes de plantas madre. Este género presenta susceptibilidad a enfermedades de raíz, generalmente relacionadas al exceso de riego. El objetivo de este trabajo fue evaluar el riego capilar con mechas como alternativa al riego convencional en el cultivo de plantas madre de *Calibrachoa híbrida* para la obtención de esquejes. Se evaluaron plantas del cultivar *Calibrachoa* INTA 06575, en contenedores que recibieron diferentes tipos de riego (aéreo convencional y capilar por mecha) durante 2,5 meses, en invernáculo. Durante este periodo se realizaron 3 cosechas de esquejes para determinar el rendimiento y su calidad y el consumo de agua utilizado por las plantas en ambos tratamientos. El uso de riego capilar produjo un aumento del tamaño final de las plantas en diámetro y peso fresco aéreo (28,9%) pero no cambió el peso seco. La cantidad de esquejes obtenidos fue significativamente mayor en plantas cultivadas con riego capilar que con riego convencional, 74 y 60 esquejes/planta, respectivamente, sin afectar el peso individual de cada esqueje. A través de las cosechas el peso de los esquejes se redujo con ambos sistemas de riego debido posiblemente a la disminución paulatina de la temperatura y la heliofanía durante el avance del ensayo y a un aporte de nutrientes deficiente. No hubo diferencias significativas en el peso seco ni en el volumen de las raíces. Con el riego capilar el consumo de agua fue 18,9% menor y la eficiencia en el uso del agua fue 1,5 veces mayor respecto al riego convencional, sin considerar las pérdidas de agua reales

que ocurren en los cultivos que usan este método convencional. Estos resultados son importantes en un escenario de cambio climático y escasez hídrica donde la aplicación de un manejo del agua más eficiente en la agricultura es indispensable. Es necesario seguir evaluando las ventajas de este sistema para otras especies, estaciones y probarlo a mayor escala, cuantificando el ahorro de costos de insumos y mano de obra que implicaría su adopción para los productores.

2 Introducción

Calibrachoa hybrida es una planta ornamental con flores de diferentes colores (Liu *et al.*, 2020) genéticamente relacionada con la petunia, la planta de jardín más popular en todo el mundo (Van der Krol e Immink 2016). Las especies de *Calibrachoa* y *Petunia* (Solanaceae) fueron consideradas partes del mismo género hasta el año 1985, cuando se clasificaron en dos grupos de acuerdo al número de sus cromosomas y algunas características morfológicas (Wijsman y Jong, 1985). *Calibrachoa* engloba 27 especies que se encuentran en América del Sur (Fregonezi *et al.*, 2013). Sin embargo, a pesar de la gran diversidad y potencial de la flora existente, el desarrollo local de cultivares ornamentales derivados de ella aún es escaso (Bugallo *et al.*, 2011). Por esta razón, el Instituto de Floricultura INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) realiza trabajos de mejoramiento genético para la obtención de híbridos a partir de germoplasma nativo de Argentina.

Uno de los principales objetivos de la floricultura es la producción de cultivares con nuevas características, como el color de la flor y la arquitectura de la planta (Azadi *et al.*, 2016). El género *Calibrachoa* está incluido en esos programas de mejoramiento, por lo que se registraron los cultivares Pampa Salmón - INTA, Overá Fucsia - INTA y INTA 06575 (Hawigara *et al.*, 2017). Estos son subarbustos de hoja perenne con flores de colores brillantes, generalmente llamados calibrachos, mini petunias o 'millionbells' (Borrelli *et al.*, 2020.a). Este género ornamental tiene una importancia creciente debido a la existencia de muchas variedades exitosas para cultivar en contenedores y plantar en los jardines.

Calibrachoa sobresale por su profusa floración y sus colores intensos (Facciuto *et al.*, 2009).

Actualmente todos los cultivares de Calibrachoa obtenidos por INTA son de propagación agámica, a través del enraizamiento de esquejes provenientes de plantas madre (Hagiwara y Pannunzio, 2015). Cabe señalar que los sistemas de producción de plantas madre para cultivos herbáceos perennes necesitan producir suficiente material vegetativo para justificar el costo del espacio que ocupan en el invernadero (Markovic y Klett, 2020). En este sentido, el cultivo de *Calibrachoa* debe realizarse en sustratos con alta capacidad de aireación y retención de agua, y con muy buen drenaje. Las formulaciones a base de turba y compost de corteza de pino son ideales ya que además de proveer adecuadas propiedades físicas, aportan acidez, que constituye un requerimiento de la especie con pH entre 5,5 y 6. Con pH alcalino las plantas manifiestan síntomas de clorosis en hojas jóvenes y del mismo modo se manifiestan cuando el sustrato es de pobre drenaje, pesado, y ocurre anegamiento debido al exceso de riego.

A su vez, este género presenta susceptibilidad a enfermedades de raíz por lo que se recomienda usar sustratos desinfectados y evitar el riego excesivo (Hawigara y Pannunzio, 2015). Por ejemplo, Borrelli *et al.* (2018) han identificado a *Rizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum* como patógenos que afectan su sistema radical causando pudrición, descortezamiento y canchales, con la consecuente marchitez en la parte aérea. Del mismo modo, se identificó a *Sclerotinia sclerotiorum* como agente causal de podredumbre basal en la variedad *Calibrachoa* INTA 06575 (Borrelli *et al.*, 2020.b). Por lo tanto, el manejo del agua cuando se cultivan especies

susceptibles a enfermedades de raíz en contenedores con sustrato es clave ya que, un déficit o un exceso de agua puede generar una disminución de la productividad de las plantas e incluso cuando es extremo, puede causar daños a las plantas (Kamal *et al.*, 2019).

El agua es el factor ambiental más dinámico y limitante que afecta la productividad de las plantas. La escasez de agua y la agricultura están intrínsecamente vinculadas, ya que la agricultura consume el 72% del agua dulce disponible en comparación con el 16% para uso doméstico y el 12% en las industrias. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), aproximadamente el 60% del agua dulce utilizada en el sector agrícola se desperdicia debido a aplicaciones ineficientes (Roonjho *et al.*, 2022). En este sentido, el cambio climático, la escasez de agua y el crecimiento de la población han incrementado los esfuerzos para encontrar nuevas técnicas para ahorrar agua en el riego de los cultivos, que son los mayores consumidores de agua del mundo (Nabayi *et al.*, 2022).

Existen distintos tipos de riego para la producción de plantas en contenedor que presentan diferentes ventajas y desventajas. Por un lado, el riego por aspersión tradicional se caracteriza por la aplicación de agua en exceso para garantizar una cobertura completa de todo el cultivo hasta el punto de saturación total del medio radicular. Bajo ciertas condiciones, hasta el 75% del agua y el fertilizante aplicados mediante riego por aspersión pueden desperdiciarse o lixiviarse (Gent *et al.*, 2011). Los sistemas de riego que aplican agua directamente en los contenedores emplean menos agua que los sistemas de riego de aplicación aérea, por lo que contribuyen

a la conservación del recurso (Mburu *et al.*, 2017). Entre ellos, el sistema de riego por goteo busca hacer un uso del agua lo más eficientemente posible. Sin embargo, muchos pequeños agricultores carecen de capital para instalar un sistema de riego por goteo y, por lo tanto, aplican agua manualmente usando mangueras, un método más laborioso y poco eficiente en la utilización del agua (Wesonga *et al.*, 2014). Otra alternativa es la subirrigación, un sistema de riego de invernadero que se basa en la acción capilar para proporcionar agua y nutrientes a las plantas desde debajo de sus contenedores (Ferrarezi *et al.*, 2015). Este sistema incluye tres métodos: sistema de flujo y reflujos (Ebb and flow), sistema de manta capilar y sistema de mecha capilar (CWS, Capillary Wick System) (Son *et al.*, 2006).

El riego capilar por mecha suministra agua y nutrientes desde un reservorio de solución de fertilizante al sustrato a través de una mecha absorbente, proporcionando humedad constante sin escurrimiento (Ferrarezi *et al.*, 2015). Es un sistema más eficiente y respetuoso con el medio ambiente con una pérdida mínima de agua y nutrientes respecto a otros sistemas de riego. Desde el punto de vista económico también resulta más eficiente al reducir los costos de agua, fertilizantes y mano de obra en comparación con los sistemas de riego convencionales (In *et al.*, 2003). Además, al ser fácil y económico, la instalación y operación del método son accesibles (Mburu *et al.*, 2017). Este sistema logra aumentar la absorción por parte de las plantas con una producción resultante mayor y de buena calidad (Kamal *et al.*, 2019). Se han reportado incrementos del 54,6% en el rendimiento y un ahorro de agua del 82,4% en tomate (*Solanum lycopersicum*) utilizando riego por mecha en comparación con el método de riego manual (Roonjho *et al.*, 2022). También,

resultó eficiente para el cultivo de plantas ornamentales en contenedores como *Epiprenum aureus*, *Spathiphyllum clevelandii*, *Chlorophytum comosum*, entre otras, para obtener productos uniformes y de alta calidad (Mburu *et al.*, 2017). Del mismo modo, se reportó como método eficiente para la producción de azaleas, que son sensibles a la salinidad del fertilizante y al contenido excesivo de agua (Million *et al.*, 2007).

Los antecedentes demuestran que el uso del riego capilar para la producción de plantas hortícolas y ornamentales como producto final resulta eficiente. Sin embargo, no se cuenta con información sobre el uso del sistema para el cultivo de plantas madre. Actualmente la industria de la producción de plantas a partir de esquejes es un segmento importante en la floricultura (Faust *et al.*, 2016), y en este sentido todos los conocimientos que se generen en relación al cultivo de plantas madre pueden ser un gran aporte para la floricultura local. A su vez, el género *Calibrachoa*, por los requerimientos exigentes de cultivo expuestos anteriormente, es el indicado para poner a prueba los beneficios potenciales de este método de riego.

3 Objetivos

El objetivo general del presente trabajo fue evaluar el cultivo de plantas madre de *Calibrachoa* INTA 06575 comparando el sistema de subirrigación con mecha capilar con el método de riego convencional aéreo y manual.

Los objetivos específicos fueron:

1- Comparar el crecimiento y el rendimiento de las plantas madre (i.e. número y peso de esquejes producidos por planta) cultivadas con riego manual y capilar.

2-Evaluar el consumo y la eficiencia del uso del agua bajo ambos métodos de riego.

4 Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto de Floricultura (34°61 latitud sur; 58°67 longitud oeste) perteneciente al INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), ubicado en el partido de Hurlingham, Buenos Aires. El ensayo se realizó a partir de mayo de 2022 en un invernáculo parabólico de 6 m x 22 m, con orientación SE-NO, acondicionado con control de temperatura mínima (12 °C-14 °C) mediante generador de aire caliente, ventilación natural por ventanas laterales, ventilación frontal forzada mediante extractor (27°C-28 °C), aberturas cubiertas con malla antiáfidos, piso de cemento y doble puerta de acceso. La temperatura media diurna fue de 18,7 °C y 15,6 °C la media nocturna. La radiación PAR medida al inicio de experimento fue de $\approx 400 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

Para la obtención del material vegetal se partió de esquejes apicales enraizados de '*Calibrachoa INTA 06575*' extraídos de plantas madre logradas por el cultivo *in-vitro* de meristemas y cultivadas bajo invernáculo acondicionado especialmente para el cultivo de plantas madre. Siete días antes del trasplante a contenedor todas las plantas recibieron un pinzamiento apical para estimular la brotación lateral.

Para el cultivo se emplearon macetas plásticas cilíndricas de 1,5 l de capacidad utilizando como medio de cultivo el sustrato Z Floricultura®, compuesto a base de turba, perlita y compost de corteza de pino. Al sustrato se le adicionó fertilizante de liberación controlada Basacote 3m® a razón de 4 g por planta en el momento del enmacetado (Papone y Barbaro, 2017).

Cuando se comenzaron a aplicar los tratamientos las plantas tenían 4 semanas de cultivo en contenedor, y un promedio de 10,2 cm de altura, 17,5 cm de diámetro y 9 ramificaciones cada una. Se aplicaron dos tratamientos de riego: capilar mediante mecha y convencional manual. Cada repetición consistió en una maceta con una planta, colocada en forma equidistante una de otra sobre mesadas de cultivo de 0,7 m de altura, instaladas en la parte central del invernadero, alejadas de las ventanas laterales. A su vez, cada planta en su maceta fue sostenida sobre un recipiente que la mantuvo separada de la superficie de la mesada (Fig.1). Para el tratamiento de riego capilar, este recipiente funcionó como reservorio de agua (700 cm³). En el caso del tratamiento de riego convencional este recipiente permitió recolectar el agua de drenaje. Para evitar la proliferación de algas se seleccionaron contenedores de agua opacos a la luz y de sección circular con un diámetro similar al del contenedor de cultivo de modo que no quede superficie libre que posibilite el ingreso de luz por la parte superior ni la evaporación del agua del reservorio.

Para el ascenso capilar del agua se utilizaron mechas de fieltro sintético de 2 mm de espesor, 2,5 cm de ancho y 13 cm de largo. La mitad de la longitud de la mecha (6,5 cm) fue introducida en el sustrato de cultivo a través del orificio de drenaje del contenedor y los 6,5 cm restantes por fuera del mismo. La mecha estaba

siempre en contacto con el reservorio de agua en su tercio inferior quedando un espacio libre entre la base de la maceta y la superficie de agua del reservorio. El agua del reservorio ascendía por la mecha transmitiendo la humedad al sustrato.



Fig. 1.a) Sistema de cultivo de Calibrachoa en contenedor con mecha inserta en la base y reservorio de agua por debajo. b) Vista general del ensayo.

Semanalmente se midió la variación del volumen de agua del reservorio, reponiendo con la cantidad de agua nueva necesaria para completar el nivel inicial (700 cm^3) (Fig. 2). El tratamiento de riego convencional se regó manualmente a demanda utilizando un recipiente plástico, entregando el mismo volumen de agua para todas las repeticiones del tratamiento y se descontó el agua drenada, obteniendo la cantidad neta de agua utilizada. Para ambos tratamientos de riego se utilizó agua subsuperficial obtenida de perforación ($\text{pH}=7,3$; $\text{CE}= 0,81 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$).

Entre la segunda y tercera cosecha se decidió realizar una fertilización a todas las plantas ya que se observó un aletargamiento en el crecimiento aéreo, aplicando 200 ppm de N de un fertilizante hidrosoluble Hakaphos® rojo (18-18-18),

entregando 200 ml de solución a cada planta. El ensayo se dio por finalizado a los 2,5 meses desde el trasplante.



Fig.2. Medición del consumo de agua y reposición de los reservorios en plantas con sistema de riego capilar por mecha.

4.1 Mediciones

Se realizaron tres cosechas de esquejes en total a los 13, 34 y 73 días desde el inicio de los tratamientos. Antes de cada cosecha se registró el diámetro promedio de la planta. Se tomó el diámetro mayor y su diámetro transversal, y luego se promediaron ambos valores (Fig.3). Al tratarse de una herbácea rastrera, no se evaluó la altura ya que el crecimiento es en forma extendida y la altura entre plantas es invariable (12-15 cm).

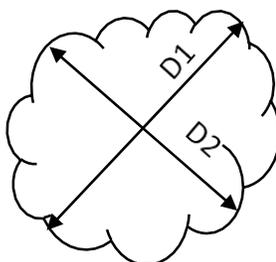


Fig.3. Esquema de medición del diámetro promedio de cada planta. D1: diámetro mayor; D2: diámetro transversal a D1.

También se midió el índice de verdor en hojas al momento de cada cosecha, se tomó el valor promedio de 3 hojas sub apicales de cada planta con un medidor de clorofila SPAD-502, marca Minolta.

En cada cosecha de esquejes, se extrajeron con tijera todos los tallos apicales por planta con una longitud de 7 cm, considerando este tallo como un esqueje. Estos se colocaron en bolsas de polietileno para evitar su deshidratación y se llevaron a laboratorio para su evaluación.

Se registró el número y peso fresco de esquejes cosechados por planta en cada tratamiento. Inmediatamente después de la cosecha, se los llevó a estufa a 65 °C hasta peso constante para determinar el peso seco de los mismos.

Al finalizar el ensayo, se cosecharon las raíces separándolas de la parte aérea cortando el cuello de la raíz; se lavaron con agua para retirar el sustrato y determinar el volumen y el peso de las mismas. Para calcular el volumen radical se aplicó la técnica de desplazamiento de líquido colocando el sistema radicular de cada planta en una probeta con un volumen de agua conocido y registrando el nuevo volumen de agua con la raíz adentro según el protocolo de Harrington *et al.*

(1994). Las raíces se colocaron luego en estufa a 65 °C hasta peso constante, para estimar peso seco.

Con el registro del agua empleada para cada evento de riego se determinó el consumo total de agua de cada sistema. Se estimó, además la eficiencia en el uso del agua (EUA) mediante la ecuación empleada por Heidari *et al.* (2022):

$$EUA = \frac{\text{biomasa seca producida (g)}}{\text{consumo de agua (l)}}$$

4.2 Diseño y análisis estadístico

Se empleó un diseño completamente aleatorizado, con un factor (riego) y dos niveles (riego capilar por mecha y riego convencional). Se realizaron 12 repeticiones por tratamiento, es decir había 24 macetas en total, que se rotaron aleatoriamente tres veces por mes. Las variables de respuesta se analizaron mediante la prueba T de Student. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa *Infostat* (Di Rienzo, J.A. *et al.*, 2008).

5 Resultados y Discusión

5.1 Efectos sobre el crecimiento de las plantas

5.1.1 Tamaño final de las plantas

Al finalizar el ensayo las plantas que crecieron bajo riego capilar tuvieron mayor tamaño final. El diámetro promedio de las plantas creciendo con este sistema fue de 41,7 cm, significativamente mayor que con el tratamiento convencional, donde las plantas en promedio tuvieron un diámetro menor de 38,3 cm (Fig. 4.a).

Chaturvedi *et al.* (2021), encontraron resultados similares en plantas de tomate y pimiento que incrementaban su tamaño en altura y área foliar cuando eran cultivadas bajo subirrigación por mechas con respecto a plantas cultivadas con riego convencional. Ellos atribuyeron ese resultado a un mayor crecimiento sostenido debido a un nivel de humedad constante y un patrón de humectación uniforme obtenido por el uso del sistema de riego capilar por mecha.

Por otro lado, el peso seco aéreo obtenido en plantas cultivadas con riego capilar fue un 28,9 % significativamente mayor que en plantas regadas convencionalmente por el método de aplicación aéreo (Fig.4.b). Resultados similares se encontraron en el cultivo de mijo y arveja mediante riego capilar por mechas donde se obtuvo hasta un 50 % más de peso seco aéreo que en plantas cultivadas bajo riego aéreo convencional (Heidari *et al.*, 2022). En cuanto al volumen de las raíces no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de riego, sin embargo, se observó un volumen radical 37 % menor en plantas con riego capilar respecto a plantas con riego convencional (resultados no mostrados). Tampoco se observaron diferencias significativas en el peso seco obtenido por el crecimiento de las raíces con riego convencional o riego capilar, obteniendo en promedio 2,91 g y 2,74 g, respectivamente (Fig. 4.b).

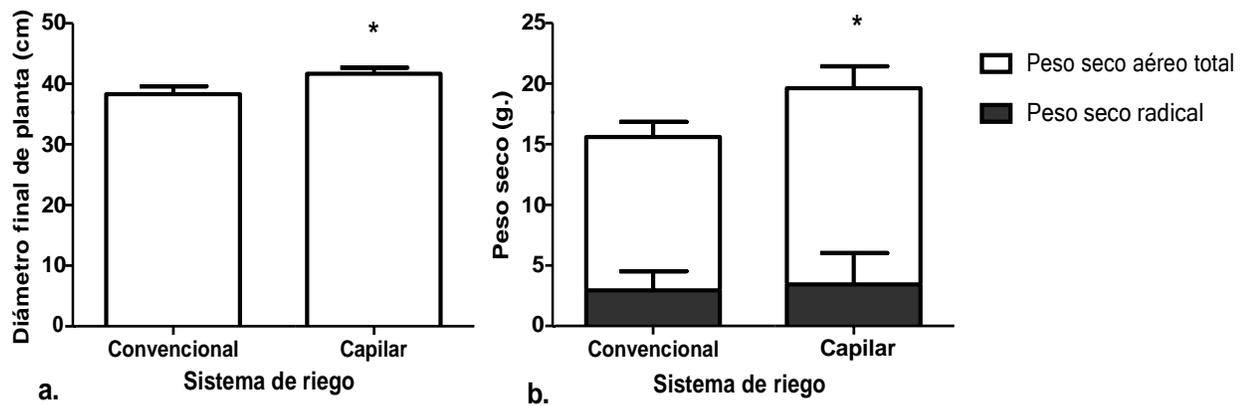


Figura 4. a) Diámetro final de las plantas cultivadas con riego aéreo convencional y con riego capilar. b) Peso seco de parte aérea y de raíz en plantas cultivadas con riego aéreo convencional y con riego capilar. Se muestran los valores medios \pm ee. El asterisco indica que la diferencia fue significativa según la prueba T ($p < 0,05$).

Million *et al.* (2007) obtuvieron resultados similares en el cultivo de azalea con riego capilar por mechas donde tampoco se obtuvieron diferencias significativas en el crecimiento de las raíces, pero sí un mayor peso seco aéreo con este sistema de riego en comparación con métodos de riego aéreo. Se ha propuesto que el uso del sistema de riego capilar, al proporcionar niveles constantes de humedad en el sustrato, puede mejorar la eficiencia del fertilizante nitrogenado (Davis *et al.*, 2011) y esto traducirse en una mayor partición de foto asimilados hacia tallos y hojas redundando en un mayor crecimiento aéreo.

Por otro lado, los valores de peso seco o el volumen de las raíces no brindan información acerca de la vitalidad y funcionalidad de las mismas. Zhang *et al.* (2021) han demostrado que el contenido constante de humedad en el sustrato limita el crecimiento de las raíces en maíz, pero incrementa su vitalidad y por lo tanto la absorción de agua y nutrientes, favoreciendo el crecimiento, el desarrollo de brotes y la acumulación de materia seca. Es probable que la disponibilidad constante de

humedad generada por el riego capilar en las plantas de calibrachoa haya beneficiado la funcionalidad y actividad de sus raíces en la absorción de agua y nutrientes disponibles en el medio.

5.2 Rendimiento total de esquejes

5.2.1 Número total de esquejes cosechados por planta

Teniendo en cuenta las tres cosechas de esquejes realizadas durante el ensayo, se obtuvieron en promedio 60 esquejes por planta con riego convencional y 74 con riego capilar (Fig.5), lo que representa un rendimiento significativamente superior, con un incremento del 24,2 % para las plantas regadas por riego capilar por mecha.

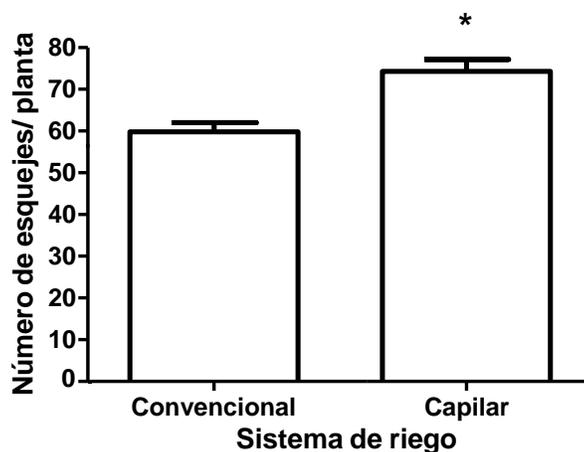


Fig.5. Cantidad de esquejes obtenidos por planta en los dos tratamientos de riego. Se muestran los valores medios \pm ee. El asterisco indica que la diferencia fue significativa según la prueba T ($p < 0,05$)

5.2.2 Peso de esquejes cosechados por planta

El peso fresco de los esquejes cosechados por planta fue significativamente mayor en el tratamiento con riego capilar (Fig. 6). Sin embargo, el rendimiento en peso seco cosechado no difirió significativamente entre ambos sistemas. Se logró un incremento del 28,6 % en peso fresco y un 17,7 % en peso seco, a favor del tratamiento con riego capilar (Fig.6).

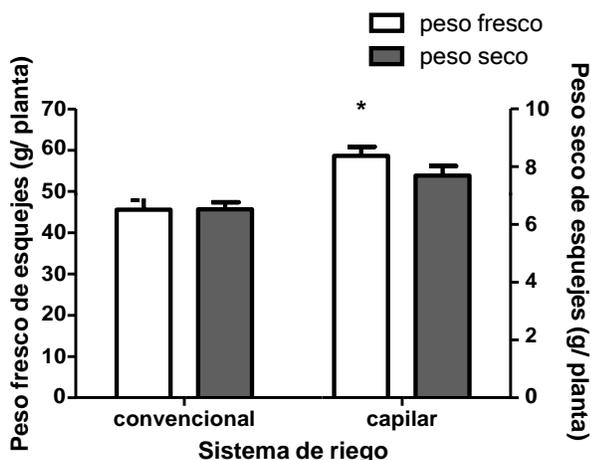


Fig.6. Peso de esquejes obtenidos por planta en los dos tratamientos de riego. Se muestran los valores medios \pm ee. El asterisco indica que la diferencia fue significativa según la prueba T ($p < 0,05$)

5.2.3 Rendimiento de esquejes por cosecha

En la primera cosecha realizada no se encontraron diferencias significativas en cuanto al número de esquejes y peso fresco cosechados por planta en ambos sistemas de riego (Fig. 7). Posteriormente, un mayor número de tallos alcanzaron un crecimiento adecuado al tamaño buscado, por lo que en la segunda cosecha la cantidad y peso de esquejes cosechados aumentó en ambos tratamientos de riego. Sin embargo, este aumento fue significativamente mayor en plantas con riego

capilar, que produjeron un 46 % más de esquejes y un 49 % más en peso fresco de esquejes cosechados en relación a las plantas con riego convencional. Finalmente, hubo una disminución en la producción de esquejes en ambos tratamientos en la última cosecha. Esto podría explicarse debido a las condiciones ambientales de la época en que se llevó a cabo el ensayo y a su efecto directo sobre el crecimiento de las plantas y la acción del fertilizante de liberación controlada (FLC). Las temperaturas y la heliofanía media (Fig. 8) fueron disminuyendo durante el transcurso del ensayo y esto pudo afectar la tasa de crecimiento de las plantas de manera directa al incidir sobre su metabolismo y actividad fotosintética. Además, la disminución de la temperatura pudo haber afectado la efectividad del FLC, ya que la tasa de liberación de los nutrientes del gránulo del FLC es afectada principalmente por el ingreso de agua al mismo y por temperatura del medio donde se encuentran (Teran Soto, 2018). Como factor adicional, es probable que la dosis de FLC haya sido insuficiente para el crecimiento de las plantas.

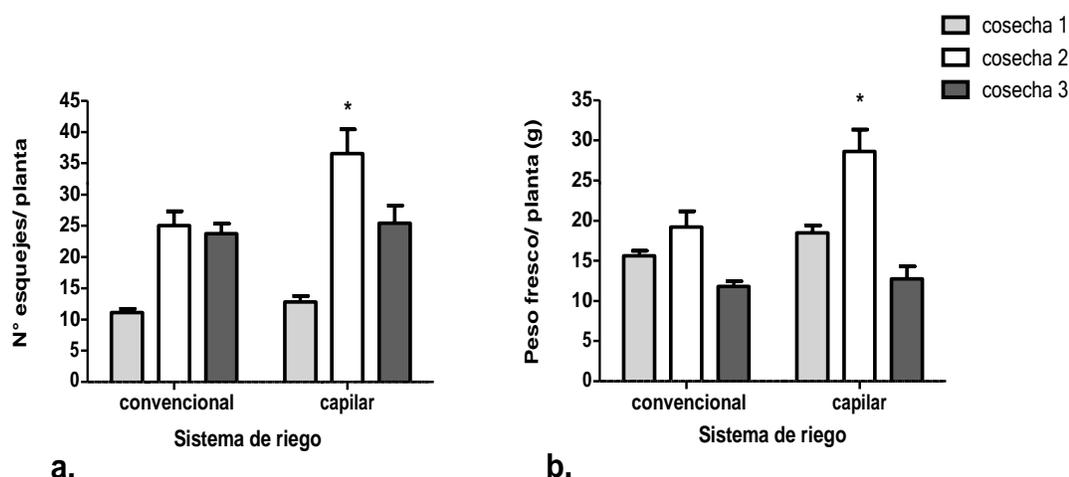


Fig. 7.a) Número de esquejes obtenido por cosecha y b) peso fresco de esquejes obtenido por cosecha en cada tratamiento de riego. Se muestran los valores medios \pm ee. El asterisco indica que la diferencia fue significativa según la prueba de T ($p < 0,05$) entre tratamientos dentro de cada cosecha.

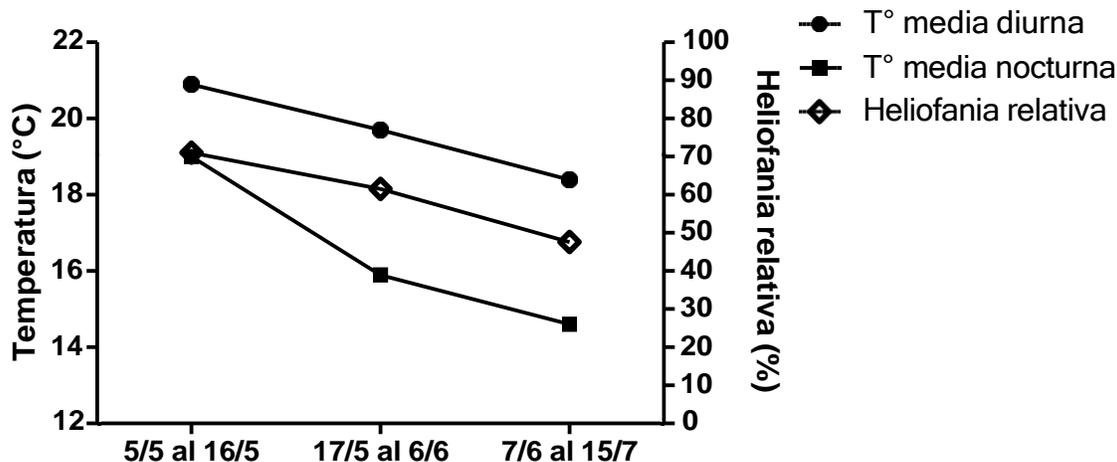


Fig. 8. Temperatura media diaria del aire diurna y nocturna, y heliofanía relativa durante el período del ensayo segmentado entre las tres cosechas realizadas (elaborado a partir de datos de estación meteorológica INTA Castelar HN 0358).

5.3 Calidad de los esquejes cosechados

5.3.1 Peso fresco y peso seco del esqueje

Los resultados muestran que no hubo diferencias significativas en el peso fresco y el peso seco medio de los esquejes obtenido de plantas bajo riego convencional o bajo riego capilar en ninguna de las tres cosechas (Fig.9 a y b). Sin embargo, puede observarse una disminución en el peso del esqueje a través de las cosechas en ambos tratamientos:

En el tratamiento de riego convencional el peso fresco medio del esqueje presentó una disminución del 44,3 % y 64,9 % en la segunda y tercera cosecha respectivamente; y el peso seco medio del esqueje una disminución del 30,8 % y 30,2 % en la segunda y tercera cosecha respectivamente en relación a la primera cosecha.

En el tratamiento de riego capilar el peso fresco medio del esqueje presentó una disminución del 48,5 % y 66,3 % en la segunda y tercera cosecha respectivamente; y el peso seco medio del esqueje una disminución del 24,1 % y 29,4 % en la segunda y tercera cosecha respectivamente, en relación a la primera cosecha

Esto indica que el sistema de riego no afectó la calidad del esqueje, ya que el peso del mismo disminuyó a través de las cosechas indistintamente del sistema de riego utilizado. Resultados similares se han reportado en el cultivo de plantas madre de clavel (*Dianthus caryophyllus*) donde el peso de los esquejes obtenidos disminuía con cada cosecha sucesiva y se obtenía mejor calidad de esquejes con el aumento de la frecuencia de la fertirrigación (Momin *et al.*, 2015).

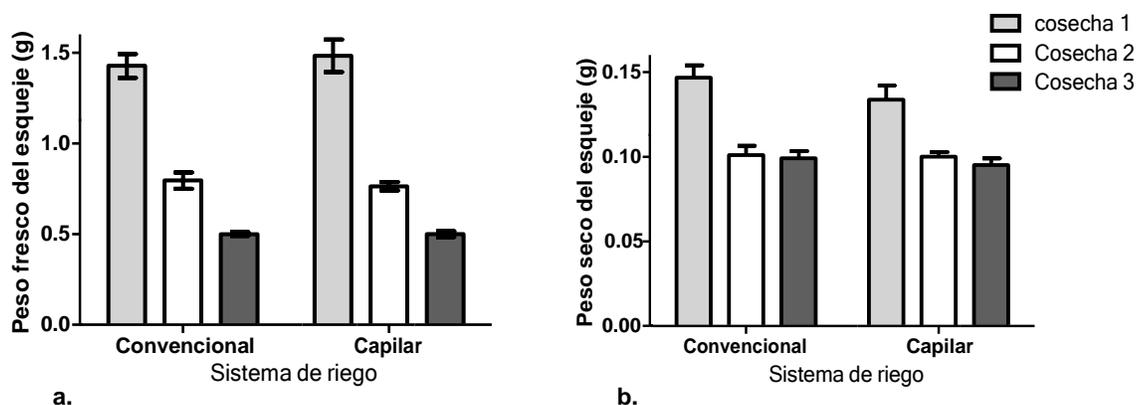


Fig.9. a) Peso fresco de cada esqueje y b) peso seco de cada esqueje según tratamiento de riego y cosecha. Se muestran los valores medios \pm ee. El asterisco indica que la diferencia fue significativa según la prueba de T ($p < 0,05$)

5.3.2 Índice de verdor

Los valores medios SPAD obtenidos en las plantas en ambos sistemas de riego (Tabla 1) fueron similares a los reportados por Dickson *et al.* (2016) en plantas de calibrachoa donde valores inferiores a 30 unidades SPAD se correspondían a

coloraciones verde clorótico y valores superiores a 35 unidades SPAD a coloraciones verde oscuro. Por otro lado, no se obtuvieron diferencias significativas en el índice de verdor entre los tratamientos de riego en ninguna de las 3 cosechas (Tabla 1), y visualmente las plantas no manifestaron diferencias en la coloración del follaje. En otras herbáceas ornamentales como *Verbena peruviana*, *Gaura lindheimeri*, *Salvia splendens*, tampoco se encontraron diferencias en el verdor del follaje cuando se cultivaron con riego capilar por mantas o por riego aéreo (Schuch *et al.*, 2008

Tabla 1. Índice de verdor expresado en unidades SPAD tomado en hojas sub-apicales antes de cada cosecha. Se muestran los valores medios.

Período	cosecha 1	cosecha 2	cosecha 3
Riego convencional	31,3	34,2	43,4
Riego capilar	30,8	31,9	39,9

Si bien no hubo significancia, comparativamente los valores de unidades SPAD fueron menores en el cultivo con riego capilar que con riego convencional. Esta disminución del verdor podría estar relacionada al contenido de nitrógeno y su mayor distribución en plantas con riego capilar que comparativamente presentaron mayor tamaño y número de esquejes. Este efecto también fue reportado en plantas de tomate conducidas a dos ramas en comparación con plantas conducidas a una rama, en donde se observó una disminución del verdor debido a la mayor distribución de foto-asimilados que las plantas conducidas a dos ramas debieron realizar a los destinos en crecimiento (Castro, 2018).

Por otra parte, se observa un aumento en el índice de verdor en la tercera cosecha. Esto puede deberse al aporte de la fertilización extra realizada entre la segunda y la última cosecha, ya que el índice SPAD es altamente dependiente de la dosis de nitrógeno (Da Cunha 2015). También este aumento en el índice SPAD, asociado al contenido de clorofila, pudo estar relacionado a los menores niveles de luz en esta última etapa del ensayo, donde las plantas aumentaron la concentración de clorofila como estrategia para hacer más eficiente la captación de la luz. Este efecto fue reportado por Murchie y Horton (2008) en plantas que naturalmente crecían en sol, mostraban un aumento del contenido de clorofila en las hojas como adaptación fotosintética a condiciones de irradiancia moderada producto de un sombreado intermedio.

5.4 Consumo de agua

Los resultados indican que el mayor consumo de agua fue en plantas con sistema de riego aéreo convencional, que usaron un litro más por planta respecto a las regadas por riego capilar (Tabla 2). Mediante el uso del sistema de riego capilar por mecha se pudo ahorrar un 18,9 % de agua de riego para el cultivo de las plantas de calabacito en relación al cultivo con riego convencional. Felipe y Bareng (2021) obtuvieron resultados similares en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas en contenedor con riego capilar a través de una mecha donde el consumo de agua fue 30 % menor respecto de plantas regadas manualmente.

Cabe mencionar que este ahorro podría ser más importante, ya que en situaciones reales de cultivo en un establecimiento productivo de vivero donde las

macetas se riegan con manguera, un porcentaje del agua utilizada cae al piso al pasar de un maceta a otra en la operación diaria de riego, lo cual en este ensayo se evitó aplicando cuidadosamente la cantidad de agua necesaria en cada contenedor evitando derrames y empleando más tiempo en la tarea de riego que el que se hubiera empleado normalmente. Andiru *et al.* (2015), en un ensayo con *impatiens* cultivadas en macetas y regadas manualmente con manguera, establecieron que un 24 % del agua lixivió fuera de la maceta y un 34 % cayó entre macetas. Por otro lado, hay que considerar que si bien este ensayo se realizó en otoño-invierno, en épocas estivales la demanda evapotranspiratoria es mucho más elevada y en consecuencia la cantidad de agua utilizada (Schuch *et al.*, 2008).

5.5 Eficiencia en el uso del agua

La eficiencia en el uso del agua para la producción de materia seca fue significativamente mayor en plantas bajo riego capilar, resultando 1,5 veces mayor que la eficiencia del riego convencional (Tabla 2). Resultados similares fueron reportados por Heidari *et al.* (2022) en el uso de riego capilar por mechas en maíz, arveja y mijo con eficiencias 1,25; 6,12 y 5,27 veces mayor respecto al uso de riego superficial. Del mismo modo, Nabayi *et al.* (2022) obtuvieron una productividad del agua (biomasa/agua consumida) un 60 % mayor en el cultivo de plantines de *Hevea brasiliensis* mediante riego capilar por mechas con respecto al riego aéreo por aspersión.

Tabla 2. Consumo de agua por planta y eficiencia en el uso del agua por planta con riego convencional y con riego capilar. Se muestran los valores medios El asterisco indica que la diferencia fue significativa según la prueba de T ($p < 0,05$).

Sistema de riego	Consumo (l)	Eficiencia (g/l)
Convencional	4,6*	4,1
Capilar	3,6	6,07*

6 Conclusiones

En el presente trabajo se pudo determinar que el uso del sistema de riego capilar en plantas de calibrachoa en contenedor produce un incremento del tamaño de las mismas, tanto en diámetro como en peso. Fue posible obtener un mayor número de esquejes por planta y un mayor peso fresco cosechado por planta en relación al cultivo con riego convencional aéreo, aunque no se obtuvieron diferencias en el peso seco cosechado entre ambos métodos de riego.

En cuanto al consumo de agua, el sistema de riego capilar permitió ahorrar un 18,9 % de agua para riego en relación al riego manual aplicado cuidadosamente. Es decir, no se contemplaron las pérdidas adicionales de agua que ocurrirían si se regara con manguera cuando se cambia de maceta, por lo que se puede asumir que el ahorro sería aún mayor. Además, se pudo establecer en este cultivo que la eficiencia del riego capilar fue 1,5 veces mayor que el sistema de riego convencional aéreo.

Es por esto que el uso de riego capilar por mechas es una alternativa sustentable para el cultivo de plantas madre de Calibrachoa INTA 06575 sin perder la calidad, aumentando su productividad y permitiría lograr un ahorro importante de agua para riego, de tiempo y costos de mano de obra o inversión que demandan las operaciones de riego manual o automatizado.

En el desafío de incorporar prácticas que se relacionen al uso sustentable de los recursos, al manejo integrado de adversidades y al mantenimiento o mejora en la calidad de las producciones vegetales intensivas, el riego capilar con mecha constituye una alternativa factible de incorporar en producciones de baja escala sin necesidad de altas inversiones.

Consideraciones finales

Este trabajo plantea la necesidad de realizar nuevos ensayos en otras especies y variedades, en diferentes épocas del año, y estudiar en mayor profundidad los métodos de fertilización como también la factibilidad del sistema para producciones a gran escala. Por otro lado, también es importante evaluar la calidad de los esquejes obtenidos de plantas madre cultivadas con riego capilar en relación a su desempeño en la etapa de propagación para la producción de plantines.

Además del aumento del rendimiento de esquejes obtenidos con el sistema de riego capilar, resulta también muy relevante evaluar en futuras investigaciones los beneficios económicos en términos de ahorro en insumos (agua y fertilizantes)

y en mano de obra (menor tiempo empleado para el riego). Esta información será sumamente útil para los productores florícolas que necesitan minimizar las pérdidas de recursos y aumentar la eficiencia de la producción en un entorno de creciente competencia en cultivos.

7 Referencias bibliográficas

Andiru, G.A.; Pasian, C.C.; Frantz, J.M. 2015. Quantifying Water and Nutrient Losses with Hose Irrigation. *Journal of Environmental Horticulture* 33 (1): 29-32.

DOI: <https://doi.org/10.24266/0738-2898-33.1.29>

Azadi, P.; Bagheri, H.; Nalouisi, A.M.; Nazari, F.; Chandler, S.F. 2016. Current status and biotechnological advances in genetic engineering of ornamental plants. *Biotechnology Advances*, 34 (6):1073-1090. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016>.

Borrelli, N.P; Stancanelli, S.; Hagiwara, J.C.; Papone, M.L.; Rivera, M.C. 2018. Enfermedades fúngicas de *Calibrachoa hybrida* en Buenos Aires. 3º Encuentro REVINA (Red de Viveros de Plantas Nativas). Universidad Nacional de Luján (UNLu). 16-17 de Agosto de 2018.

Borrelli, N. P.; Stancanelli, S.; Papone, M.L.; Moreno, M.V; Stenglein, S.; Wright, E.R; Hagiwara, J.C.; Rivera, M.C. 2020.a. Leaf spots of calibrachoa caused by *Nigrospora oryzae*. *Ornamental Horticulture* 26 (4): 590-596.

Borrelli, N.P.; Stancanelli, S.; Hagiwara, J.C.; Wright, E.R.; Rivera, M.C. 2020.b. Primer reporte de *Sclerotinia sclerotiorum* causando tizón de *Calibrachoa hybrida*. 5to Congreso Argentino de Fitopatología. 59th Meeting of the APS Caribbean Division.p. 185.

Bugallo, V.; Cardone, S.; Pannunzio, M.J.; Facciutto, G. 2011. Breeding advances in *Passiflora* (passionflower) native from Argentina. *Floriculture and Ornamental Biotechnology*, 5 (1): 23-34.

Castro, J. 2018. Tomate: Influencia del injerto y manejo a dos ramas en la respuesta fisiológica, productividad y calidad de los frutos. Trabajo Final. FCAyF, UNLP.

Chaturvedi, A.K.; Surendran, U.; Madhava Chandran, K.; Dhanya, T. 2021. Exploring growth, physiological status, yield and water use efficiency of vegetables grown under wick method of irrigation. *Plant Physiol.* 26: 64-73. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40502-020-00565-x>

Davis, A.S.; Pinto, J.R. y Jacobs, D.F. 2011. Early field performance of *Acacia koa* seedlings grown under subirrigation and overhead irrigation. *Native Plants Journal* 12 (2): 94-99 (Resumen). DOI: <https://doi.org/10.3368/npj.12.2.94>

Dickson, R. W.; Fisher, P. R.; Padhye, S. R.; Argo, W. R. 2016. Evaluating *Calibrachoa* (*Calibrachoa xhybrida Cerv.*) genotype sensitivity to iron deficiency at high substrate pH. *HortScience* 51(12): 1452-1457. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI11038-16>

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. (2008). InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Facciuto, G.; Pannunzio, M.J.; Coviella, A.; Bologna, P.; Soto, S.; Imhof, L.; Borja, M. 2009. *Calibrachoa* breeding advances in argentina. *Acta Horticulturae* 813: 121-126. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.813.15>

Faust, J.E; Dole, J.M.; Lopez, R.G. 2016. The Floriculture Vegetative Cutting Industry. *Horticultural Reviews*, 44: 121-172. First Edition. <https://doi.org/10.1002/9781119281269.ch3>

Felipe, A.J.B. y Bareng, J.L.R. 2022. Growth and yield assessment of lettuce (*Lactuca sativa* L.): an economic feasibility and performance evaluation of capillary wick irrigation system. *Plant Science Today*. 9 (1): 62-69. DOI:<https://doi.org/10.14719/pst.1460>

Ferrarezi, R.S.; Weaver, G.M.; Van Iersel, M.W.; Testezlaf, R. 2015. Subirrigation: Historical Overview, Challenges, and Future Prospects. *HortTechnology*. 25 (3)262-276. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.25.3.262>

Fregonezi, J.N., Turchetto, C., Bonatto, S.L. Freitas L.B. 2013. Biogeographical history and diversification of *Petunia* and *Calibrachoa* (Solanaceae) in the Neotropical Pampas grassland. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 171(1):140-153.

Gent, M.P.N; Elmer, W.H.; McAvoy, R.J. 2011. Water use efficiency with rapid watering of potted plants on flooded floors. *Acta Horticulturae* 46 (5): 791-798. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.5.791>

Hagiwara, J. C.; Pannunzio, M. J. 2015. Manual de cultivo de *Calibrachoa*. Instituto de Floricultura INTA. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_de_cultivo_de_calibrachoa.pdf

Hagiwara, J. C.; Pannunzio, M. J.; Facciuto, G.R. 2017. Calibrachoa plant named 'INTA 06575'. United States Plant Patent. USOOPP28035P3.

Harrington, J.T; Mexal, J.G.; Fisher, J.T. 1994. Volume Displacement Provides a Quick and Accurate Way to Quantify New Root Production. Tree Planter's NotesV 45 (4)121-124.

Heidari, H.; Zarei, Z. y Mohammadi, K. 2022. Improving water use efficiency and biomass in maize, foxtail millet and bitter vetch by wick irrigation. Water SA 48 (3) 264-270. DOI: <https://doi.org/10.17159/wsa/2022.v48.i3.3913>

In, S.S.; Kang, H.; Ho Cho, K.; Chiwon, W.L. 2003. Production of Cyclamen Using Capillary Wick System: I. Influence of Wick Material and Root Substrate Composition. Journal of Korean Flower Research Society 11(2)199–206.

Kamal, M.R.; Muhammed, H.H.; Mojid, M.A.; Analuf, R.; Soom Mohd, M.A. 2019. Two-dimensional Modeling of Water Distribution under Capillary Wick Irrigation System. Pertanika Journal Science & Technology 27 (1): 205 - 223

Liu, G.; Sun, M.; Zou, P.; Zhang, W.; Ni, J. 2020. The complete chloroplast genome sequence of a popular ornamental plant *Calibrachoa hybrida* (Solanaceae: Petunioideae). *Mitochondrial DNA B Resour.* 5 (3): 3374-3375. DOI:10.1080/23802359.2020.1823257

Markovic S.J. y Klett, J.E. 2020. Increasing Stock Production of Two Herbaceous Perennials with the Application of Plant Growth Regulators. *Hort Technology* 30, N°3. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04492-19>

Mburu, M.M; Kariuki, W.; Home P.G.; Wesonga J.M.; Adimo A.O. 2017.

Water use and plant growth of selected container grown ornamental plants under capillary wick based irrigation system and conventional irrigation system in Kenya. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research* 11 (1): 32-41.

Million, J.; Yeager, T. y Larsen, C. 2007. Water Use and Fertilizer Response of Azalea Using Several No-leach Irrigation Methods. *Hort Tecnology.* 17 (1): 21-25.

Momin, K.Ch.; Dhiman, S.R.; Gupta, Y.C.; Bharadwaj, S.K.; y Kumar, S. 2015. Nutrient management for cutting production in carnation (*Dianthus caryophyllus*). *Indian Journal of Agricultural Sciences* 85 (4): 509-14.

Murchie, E.H y Horton, P. 2008. Acclimation of photosynthesis to irradiance and spectral quality in British plant species: chlorophyll content, photosynthetic capacity and habitat preference. *Plant, Cell and Environment* 20 (4): 438-448. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-95.x>

Nabayi, A.; Boon Sung Teh, C.; Sulaiman, Z. 2022. Influence of Irrigation Systems on the Plant Growth and Leaf Ratio Analyses of Rubber (*Hevea brasiliensis*) Seedlings. *Tropical Agricultural Science* 45 (4): 1095 – 1112.

Papone, M. y Barbaro, L. 2017. Uso de compost de caballo como componente de sustratos. *Horticultura Argentina* 36 (89):28-35.

Roonjho, S. J.; Kamal M.R.; Roonjho, A.R. 2022. Modeling capillary wick irrigation system for greenhouse crop production. *Agricultural Water Management* 274. 107927. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107927>

Schuch, U.K; Kelly, J.J.; Teegerstrom, T. 2008. Capillary Mats for Maintenance of Plants in the Retail Nursery. *Hort Technology* 18 (2): 250-255.

Son, J.E.; Oh, M.M.; Lu, Y.J.; Kim, K.S.; Giacomelli, G.A. 2006. Nutrient-flow wick culture system for potted plant production: System characteristics and plant growth

Scientia Horticulturae 107: 392-398

Terán Soto, A.C. 2018. Efecto de dos fertilizantes de liberación controlada sobre el crecimiento de *Pinus tucunumanii* en la etapa de vivero-Oxapampa. Tesis. (Ing. Ftal.) U.N.A. La Molina, Perú. 17-21 p.

Van der Krol, A. y Immink, R.; 2016. Secrets of the world's most popular bedding plant unlocked. Nature Plants 2: 16082. DOI:
<https://doi.org/10.1038/nplants.2016.82>

Wesonga, J.M.; Wainaina, C.; Ombwara, F.K.; Masinde, P.W.; Home, P.G. 2014. Wick Material and Media for Capillary Wick Based Irrigation System in Kenya. International Journal of Science and Research 3 (4): 2319-7064

Wijsman, H. J. W. y De Jong, J.H. 1985. On the interrelationships of certain species of *Petunia*. IV. Hybridization and nomenclatural consequences in the *Petunia* group. Acta Botanica Neerlandica 34: 337-349. DOI:
<https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1985.tb01925.x>

Zhang, J.; Ji, J.; Wang, P.; Long, H.; Wu, X. 2021. Molecular mechanism of negative pressure irrigation inhibiting root growth and improving water use

efficiency in maize. Plant and Soil 472: 127-143. DOI:

<https://doi.org/10.1007/s11104-021-05190-7>