

Tecnología del riego por succión para la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum*) en condiciones controladas

Suction irrigation technology for the production of tomato (*Lycopersicon esculentum*) under controlled conditions

Dr.C. Manuel Sebastián Peña Casadevalls[✉], Dr.C. Pável Vargas Rodríguez^{II}

^I Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez (UNICA). Facultad de Ciencias Técnicas (FCT), Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH, Ciego de Ávila, Cuba.

^{II} Universidad de Oriente (UO), Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN. Se presentan los resultados experimentales bajo condiciones controladas para la determinación de la altura de succión apropiada para el cultivo del tomate variedad F1-FA 572 sometido al riego por succión con cápsulas porosas de cerámica. Se encontró una altura de succión ($h = -15$ cm) como la más adecuada para las características de las cápsulas y el sustrato de cultivo empleados. El criterio de selección fue el número de frutos observados. Se realizaron observaciones sobre el crecimiento vegetativo del cultivo (altura de las plantas), el consumo de agua diario y el número de frutos por planta. Se encontraron valores de consumo de agua aproximadamente coincidentes con la transpiración del cultivo.

Palabras clave: agricultura sostenible, cápsulas porosas, ahorro de agua, energía cero.

ABSTRACT. The experimental results under controlled conditions for the determination of the suction height appropriate for the tomato cultivation variety (F1-FA572) subjected to irrigation by suction with ceramic porous capsules are presented. The suction height ($h = -15$ cm) was found like the most appropriate for the capsules characteristics and soil employees in the experiences. The selection criteria were the number of fruits observed. The vegetative growth of the crops (plants height), the daily water consumption and the number of fruits per plant were observed. Values approximately coincident of water consumption by the crop perspiration were found.

Keywords: sustainable agriculture, ceramic porous capsules, saving water, zero energy.

✉ Autor para correspondencia: Manuel Sebastián Peña Casadevalls. E-mail: casadevallscu@unica.cu

Recibido: 15/01/2017

Aceptado: 14/03/2018

INTRODUCCIÓN

Los actuales problemas asociados a la prolongada sequía que padece el país, han generado la necesidad de desarrollar nuevas técnicas y métodos de riego conducentes a minimizar el uso del agua y la energía para la agricultura (Brown *et al.*, 2015). En la actualidad, se realizan esfuerzos por la comunidad científica a nivel nacional e internacional para el desarrollo de buenas prácticas y tecnologías conservacionistas de los recursos suelo, agua y energía a nivel local y regional (López *et al.*, 2016). Otros esfuerzos en el orden socioeconómico y ambiental han sido desarrollados a nivel regional en Cuba que ofrecen alternativas y vías para la conservación de los recursos naturales (Barzev, 2008). El riego por succión con el uso de cápsulas porosas de cerámica, constituye una alternativa promisoría para la producción de vegetales a pequeña escala en zonas áridas y con problemas de sequía y sequía extrema. La tecnología para la fabricación de cápsulas porosas, ha sido desarrollada en los últimos años por Peña (2015). Otras aplicaciones como el riego de pequeñas áreas de jardines han sido propuestas y desarrolladas con éxito por Peña (2017), en instalaciones turísticas de sol y playa en Ciego de Ávila y en las provincias orientales además de otras alternativas tecnológicas para la producción de posturas de cacao a través del riego por succión con el empleo de mechas de diversos materiales (Ochoa y Peña, 2012).

Dentro de los principales problemas asociados al uso de esta tecnología de riego, destaca la necesidad de su adaptación para los diferentes cultivos atendiendo a las características fisiológicas de las plantas según criterios reportados por Silva *et al.* (2012). Estos sistemas funcionan en virtud de la ley de conservación de la energía. El agua contenida en las cápsulas (Figura 1B) pasa al sustrato de cultivo a través de los poros de las cápsulas y las mismas son recargadas por efecto de la succión ejercida por el sistema de raíces de las plantas al sustrato de cultivo de manera auto regulada por lo que no se aplican normas de riego. El nivel del agua en el reservorio de alimentación al sistema, se coloca a una altura igual o por debajo del sustrato de cultivo a una altura (h) conocida como altura de succión (Figura 1A).

Todos los cultivos de vegetales no tienen igual sistema de raíces. Algunos son más profundos, profundos y fuertes como el tomate mientras que otros como las lechugas son más débiles y menos profundos (Bainbridge, 2001). Incluso, la altura de succión apropiada puede ser diferente en dependencia de las características del sistema de raíces de cada variedad de un mismo cultivo. Por

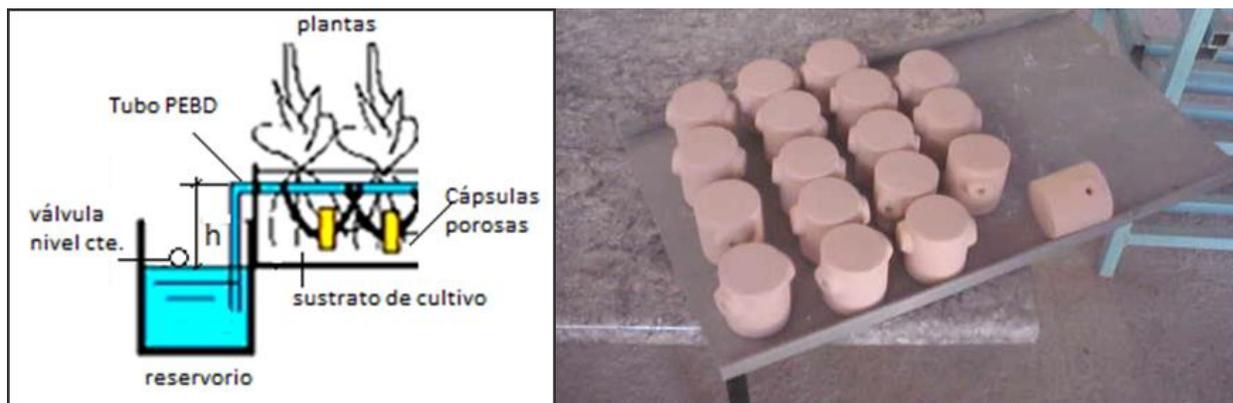


FIGURA 1. (A) Esquema simplificado de un sistema de riego por succión: (B) cápsulas porosas de cerámica. Fuente: Elaboración propia de los autores.

esta razón, la adaptación al riego por succión con cápsulas porosas es uno de los problemas fundamentales que necesita atención y la principal vía para ello es la experimentación con el fin de conocer la altura de succión (h) más recomendable para cada cultivo y variedad entre otros parámetros (Peña, 2015). Por otra parte, (h) no sólo depende de las características fisiológicas de las plantas, también hay una fuerte influencia de la composición física del sustrato de cultivo y de las dimensiones geométricas, superficie específica y porosidad total de las cápsulas empleadas según criterios de Dalzell (1991).

El objetivo de este trabajo, es encontrar la altura de succión (h) para la variedad de tomate F1-FA 572 a través de la experimentación en condiciones controladas.

El desarrollo de esta investigación, permitirá utilizar los criterios obtenidos para posteriormente, adaptar sistemas de riego por succión con cápsulas porosas para esta variedad en condiciones de campo.

MÉTODOS

El experimento se realizó en macetas de barro de 22 cm de altura; 27 cm de diámetro y volumen de 8943.9 cm³ en un área experimental a cielo abierto del Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH) de la Universidad de Ciego de Ávila, Cuba. La variedad de tomate seleccionada fue F1 – FA 572 de crecimiento indeterminado atendiendo a su elevado valor productivo. Se emplearon cápsulas porosas construidas de cerámica cuyas características geométricas se presentan en la [Tabla 1](#).

Las cápsulas se conectaron con tuberías de diámetro reducido (4,5 mm) de PEBD utilizando pegamento de contacto resistente a la humedad ([Figura 2](#)). Los principales componentes para la fabricación de las cápsulas son: caolín, feldespatos, carbonato de calcio, arena sílice, vidrio en polvo y agua en diferentes proporciones. La porosidad total de las cápsulas observada en ensayos anteriormente realizados fue de 32,5 %, [Peña \(2015\)](#). Las macetas se llenaron manualmente con el sustrato de cultivo compuesto por: 50% de suelo Ferralítico Rojo Compactado y 50% de estiércol vacuno, con las propiedades siguientes: Densidad real promedio =2.63 g/cm³.; Coeficiente de infiltración = 50 mm/h.; Porosidad total = 52.10 %, Estas propiedades fueron determinadas previamente por [Peña \(2015\)](#). No se utilizó ningún tipo de fertilizante industrial ni productos químicos para el control de plagas.

Se evaluaron cuatro tratamientos (T) con cinco réplicas cada uno por lo que se emplearon un total de 20 macetas (cinco por cada tratamiento). Se evaluaron cuatro alturas de succión diferentes: (T1 h=0 cm); (T2 h=-10 cm); (T3 h=-15 cm) y (T4 h=-20 cm). La altura de succión h=0, significa que el nivel del agua en el reservorio de nivel constante ([Figura 1A](#)) es el mismo que el nivel del centro de la cápsula colocada en la maceta. Los niveles negativos -10; -15 y -20 son las distancias medidas desde el nivel del agua en el reservorio hasta el centro de las cápsulas colocadas en las macetas.

TABLA 1. Características geométricas de las cápsulas porosas empleadas (Peña, 2015)

External Diameter (cm)	Height (cm)	Wall Thickness (cm)	Bases Area (cm ²)	Lateral Area (cm ²)	Total Area (cm ²)	Volume (cm ³)
4.8	5.3	0.60	36.16	79.88	116.04	41.71



FIGURA 2. Secuencia de montaje del experimento en condiciones controladas: De izquierda a derecha: Colocación de cápsulas en las macetas; dispositivo de medición del volumen de agua consumido; vista del montaje del experimento y cultivo en fase de crecimiento: Fuente: Elaboración propia de los autores.

Se barrenaron las macetas en dos posiciones y se colocaron las cápsulas de forma que quedaran ubicadas en el centro de las mismas a una profundidad de 10 cm con respecto al borde superior (Figura 2). Se preparó el sustrato utilizando un tamiz de 1 cm², para lograr una composición uniforme y libre de objetos extraños lo cual puede ocasionar un defectuoso funcionamiento del sistema según criterios de Bainbridge (2001). Para cada tratamiento, el reservorio de alimentación fue colocado de acuerdo a la altura de succión evaluada con respecto al centro de las cápsulas. Se colocaron dispositivos para controlar el volumen de agua consumido por las plantas (Figura 2) contruidos con recipientes plásticos de 10 litros, tapas de madera y botellas PET graduadas en cm con el fin de mantener el nivel de agua constante en los reservorios de alimentación de acuerdo a los protocolos establecidos por Peña (2015).

Se observó de manera diaria el consumo de agua en los diferentes tratamientos realizando mediciones del volumen consumido con el empleo de los dispositivos de medición, así como datos sobre el crecimiento de las plantas (altura) con periodicidad decenal. Estos datos fueron observados para obtener información de interés para futuras investigaciones sobre la adaptación de este método de riego en condiciones de campo ya que el mismo, está en proceso de estudio e investigación. El experimento tuvo una duración de 78 días.

Se cuantificó el número de frutos promedio en cada tratamiento durante seis semanas en la etapa de fructificación como parámetro de selección de la mejor altura de succión en los cuatro tratamientos evaluados según la metodología reportada por Olguin (1997). El criterio de utilizar la producción obtenida en condiciones experimentales como patrón para definir la altura de succión (h) para cada cultivo y variedad, ha sido bien documentado y aceptado por la comunidad científica que trabaja esta temática (Peña, 2015).

Para el procesamiento de los datos de la investigación se utilizó el software MS. Excel. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor a un nivel de significación del 5%. para determinar las diferencias entre los tratamientos y seleccionar la más conveniente para esta variedad en base al número de frutos observados en cada tratamiento durante seis semanas en la etapa de fructificación

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El consumo de agua en todos los tratamientos evaluados se incrementó considerablemente durante la etapa de fructificación lo cual es atribuible al incremento de las necesidades fisiológicas de las plantas en esta etapa como se aprecia en la [Tabla 2](#). Se observó un comportamiento muy similar en los tratamientos T2 y T3 en cuanto al consumo de agua por fases de desarrollo. Sin embargo, en el tratamiento T4 el consumo de agua se redujo drásticamente con respecto a los restantes. Este comportamiento es debido a que la altura de succión ($h=-20$ cm) es muy alta con las características de las cápsulas y el sustrato empleados y se afirma que las plantas no lograron ejercer una fuerza de succión suficiente para crear un desequilibrio hidrodinámico en el sustrato que propiciara el principio de la succión. El tratamiento (T1), manifestó deficiencias operativas en su funcionamiento debido a que perturbaciones en la superficie libre en el reservorio de alimentación provoca regularmente la aspiración de aire en el sistema.

De singular interés, resulta el conocimiento preciso del consumo diario de las plantas que oscila entre 0,30 – 0,33 l/p/d. Este valor es aproximadamente equivalente a la transpiración de las plantas según los criterios aportados por [Olguin \(1997\)](#), quien reporta que el método de riego por succión constituye una vía para determinar la transpiración de los cultivos, reportó valores de transpiración muy similares a los encontrados en este trabajo.

En la [Tabla 2](#) se presentan los consumos de agua acumulados por fases de desarrollo para cada uno de los tratamientos evaluados. Se presentan además algunos datos de interés que pueden servir de referencia para futuros trabajos de investigación en esta temática.

TABLA 2. Consumo de agua para cada tratamiento durante el experimento (78 días) (L/p) litros por planta promedio acumulado en 78 días; (L/d) litros por día promedio por tratamiento; (Lp/d) litros por planta por día promedio.

Development Phases	Water Consumption per Treatment (L)			
	T1	T2	T3	T4
Initial Stage	28.29	19.19	18.10	7.53
Flowering Stage	22,11	17.60	17.73	11.93
Fructification Stage	64,23	70,93	67,62	49,09
Harvest Stage	13.74	11.51	10.63	9.01
Measure Unit	Data of Interest			
(L/p)	25.67	23.84	22.82	15.51
(L/d)	1.650	1.550	1.500	1.00
(L/p/d)	0.330	0.310	0.30	0.200

En los tratamientos T1 y T3, el crecimiento promedio del cultivo (altura de las plantas) fue superior hasta aproximadamente los 40 días de la plantación a partir del cual se observó un comportamiento similar (Figura 3). Esta condición es atribuible a que en T1, la altura de succión igual a 0 genera mayor facilidad de extracción de humedad del sustrato, sin embargo, en el tratamiento T3 con altura de succión $h = -15$ cm parece lograrse un equilibrio hidrodinámico efectivo con las propiedades de las cápsulas y sustrato empleado. Estos resultados difieren de los reportados por Daka (2001), en la misma variedad de tomate que reporta valores mayores de crecimiento con $h = -10$ cm lo cual es consecuencia probablemente de las diferencias climáticas, las cápsulas con dimensiones y propiedades diferentes y el sustrato de cultivo empleado.

El tratamiento T4, definitivamente tuvo un comportamiento más desfavorable debido a la altura de succión inadecuada para este cultivo y variedad. El tratamiento T2, tuvo un crecimiento promedio cercano al T3, pero con ligeras diferencias.

El número de frutos promedio observados en los tratamientos a partir de las seis semanas posteriores a la etapa de floración se presenta en la Figura 4. De todos los tratamientos evaluados, el T3 ha sido el más favorable con un incremento sostenido en este indicador. Los resultados del análisis realizado que demuestran estadísticamente las diferencias encontradas se presentan en la Tabla 3.

Al formular la hipótesis de nulidad (H_0) y la alternativa (H_1); si el estadígrafo F calculado es mayor que su valor crítico (F_c) o la probabilidad (P) es menor que el nivel de significación (α) para un 5%, se toma la decisión de rechazar H_0 y aceptar H_1 ; demostrándose que existen diferencias significativas entre los tratamientos.

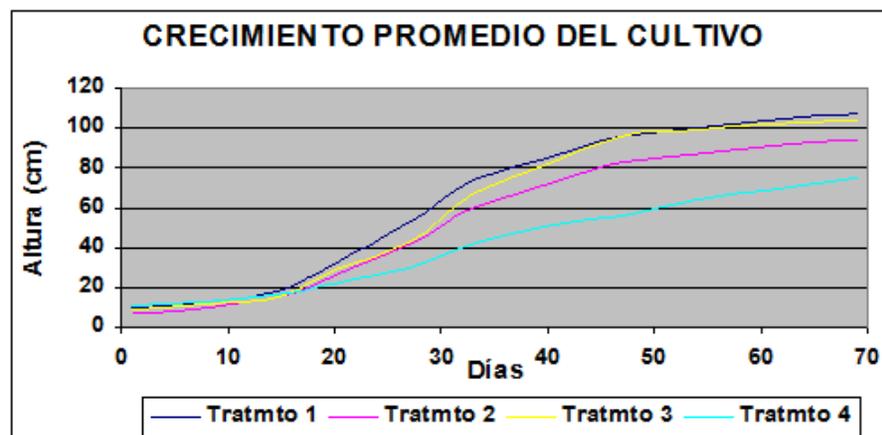


FIGURA 3. Crecimiento promedio del cultivo de tomate, variedad F1 – FA 572 bajo riego por succión en condiciones controladas.

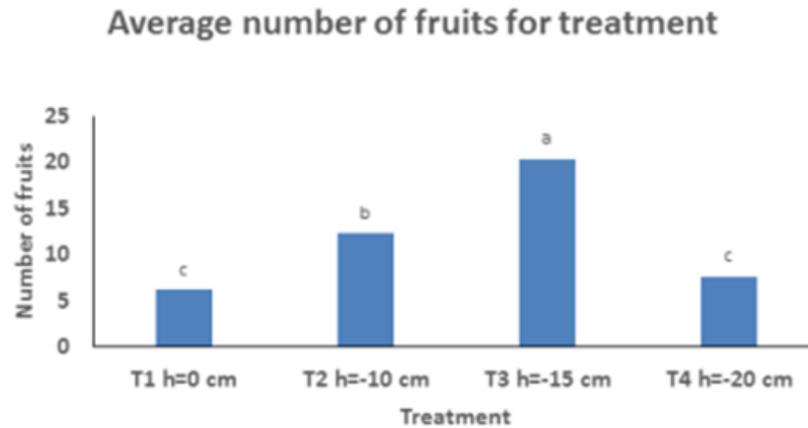


FIGURA 4. Número de frutos promedio del cultivo de tomate, variedad F1 – FA 572 bajo riego por succión en condiciones controladas.

TABLA 3. Resultados del análisis estadístico: Análisis de varianza de un factor para la variable número de frutos en los tratamientos evaluados

Groups	Count	Adds	Average	Variance	i
T1 h=0 cm	30	186	6.2	8.5100	c
T2 h=-10 cm	30	369	12.3	25.596	b
T3 h=-15 cm	30	612	20.4	90.524	a
T4 h=-20 cm	30	228	7.6	5.1448	c

Variation Origin	Adds of Squares	Grades of Freedom	Squares Averages	F	P	Fc
Among groups	3692.625	3	1230.875	37.93	3.68674E-17	2.682
Inside the groups	3763.5	116	32.44396552			
Total	7456.125	119				

Un aspecto relevante observado es que, en las variedades de tomate de crecimiento indeterminado, en condiciones de campo con sistemas de riego por goteo, la etapa de floración en los meses de octubre-noviembre, comienza a partir de los 65 – 75 días después de la siembra en las condiciones climáticas de Cuba (Peña, 2015). En esta investigación se observó el inicio de la floración a los 55 días después de la siembra en condiciones controladas. La explicación más lógica para este comportamiento es el hecho de que bajo condiciones de riego por succión, el consumo de agua es auto regulado por las propias plantas por lo que no se verifican condiciones de estrés por déficit hídrico. En la interacción con el sustrato de cultivo y el agua fácilmente disponible en el sustrato se genera un fenómeno conocido como “régimen de riego biológicamente óptimo” lo cual

reduce el ciclo productivo de los cultivos. Este aspecto ha sido reportado por otros investigadores en diversos cultivos bajo riego por succión ([Bainbridge, 2001](#)).

Es importante significar que, en este método de riego, no se emplea ninguna energía para el bombeo del agua ya que se aprovecha la energía de succión del sistema de raíces de las plantas. Por otra parte, el uso del agua es óptimo y prácticamente es coincidente con la transpiración del cultivo según criterios reportados por [Olguin \(1997\)](#). Adicionalmente, se apunta que, en este trabajo, no se han empleado productos químicos para la fertilización por lo que se puede considerar el riego por succión como una alternativa para la producción sostenible de vegetales orgánicos a pequeña escala.

CONCLUSIONES

- La altura de succión más adecuada para colocar las cápsulas en el sustrato utilizado para el cultivo del tomate variedad F1 – FA 572 fue de $h = -15$ cm. Con este valor se observó una mayor cantidad de frutos promedio con una diferencia estadísticamente significativa respecto a los restantes tratamientos evaluados.
- El riego por succión con cápsulas porosas constituye una alternativa viable para la producción sostenible de vegetales orgánicos a pequeña escala, sin embargo, requiere de mayor estudio e investigación en las condiciones de Cuba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAINBRIDGE, D.A.: “Buried clay pot irrigation: a little known but very efficient traditional method of irrigation”, *Agricultural Water Management*, 48(2): 79–88, 2001, ISSN: 0378-3774.
- BARZEV, R.: “Mecanismos financieros para la conservación de los recursos naturales”, *Academia, La Habana*, 2008.
- BROWN, M.O.; B. Y. GALLARDO; CORREA, A.; BARRIOS, G.S.: “El cambio climático y sus evidencias en las precipitaciones”, *Ingeniería hidráulica y Ambiental*, 36(1): 88–101, 2015, ISSN: 1815-591X.
- DAKA, A.E.: *Clay pot sub-surface irrigation as water-saving technology for small-farmer irrigation in development of a technological package for sustainable use by small-scale farmers*, Ph. D. Thesis, University of Pretoria, South Africa, PhD Thesis, 2001.
- DALZELL, H.W.: *Manejo del suelo, producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales*, Ed. Food & Agriculture Org., vol. 56, 1991.
- LÓPEZ, S.T.; DUARTE, C.; CALERO, B.: “Matrices integradoras de acciones para la implementación de medidas de adaptación al cambio climático a escala local”, *Ingeniería Agrícola*, 6(4): 23–31, 2016, ISSN: 2227-8761.
- OCHOA, P.; PEÑA, M.: “Efecto del riego subsuperficial en la microinjertación del cacao”, *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 54–58, 2012, ISSN: 2071-0054.
- OLGUIN, C.P.: ““Memorias del sistema electrónico de simulación de la humedad del suelo””, *Revista Chapingo. serie Horticultura*, 4(1): 17-30, 1997, ISSN: 1027-152X.

PEÑA, C.M.: *Monografía de riego por succión*, Ed. CIGET, Ciego de Ávila, Cuba, 2015, ISBN: 978-3-668-11300-8.

PEÑA, P.M.: “Manejo del agua con el uso de cero energía y ahorro de agua en jardines de hoteles”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(4): 50–55, 2017, ISSN: 2227-8761.

SILVA, D. da; SILVA, A. de S.; GHEYI, H.R.: “Irrigação por capsulas porosas III: avaliação técnica do método por pressão hidrostática..”, 1981.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

Este artículo de se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)