

NOTA TÉCNICA

EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE CÁPSULAS POROSAS DE ARCILLA PARA SISTEMAS DE RIEGO POR SUCCIÓN

Lisette Gruber-Lara¹, José Gregorio Lugo², Mac Diuval Pacheco¹ y Zulime F. Rodríguez³

RESUMEN

La importancia de disminuir la cantidad de agua utilizada en la agricultura bajo riego intensifica la necesidad de implementar el uso de métodos de aplicación localizada del líquido. Con el objetivo de promover métodos para hacer más eficiente el uso del agua se diseñaron cápsulas porosas para riego elaboradas con un suelo arcilloso proveniente de Sanare, estado Lara, Venezuela. A los tratamientos barbotina (testigo T0), barbotina+arena (T1), barbotina+almidón (T2), barbotina+estiércol (T3) y barbotina+poliacrilamida (T4) se les evaluó la porosidad absoluta, conductividad hidráulica, bulbo de humedecimiento y potencial mátrico. La mayor porosidad absoluta se obtuvo en barbotina+almidón con 33,7 %, mientras que la conductividad hidráulica fue mayor en el tratamiento de barbotina+arena con 0,0139 cm·h⁻¹. Las cápsulas mezcla de barbotina+arena presentaron mayor bulbo húmedo tanto horizontal como vertical con 19,3 cm y 18,0 cm respectivamente. El menor potencial mátrico al límite de la cápsula fue de 16,0 cb en barbotina+estiércol. Los materiales utilizados para la elaboración de las cápsulas permitieron obtener propiedades hidráulicas adecuadas como para considerar estos emisores como alternativa promisorio para su adaptación al riego por succión.

Palabras clave adicionales: Barbotina, bulbo húmedo, conductividad hidráulica, potencial mátrico

ABSTRACT

Hydraulic evaluation of porous cups for suction irrigation systems

The importance of reducing the amount of water used in irrigated agriculture intensifies the need to implement the use of methods of localized application of the liquid. With the objective of making more efficient the use of irrigation water we designed porous cups made from a clay soil collected in the locality of Sanare, Lara state, Venezuela. Mixes of ceramic slips were prepared as follows: slip alone (control, T0), slip+sand (T1), slip+starch (T2), slip+manure (T3) and slip+polyacrylamide (T4). Porous cups made from each of the previous mixes were evaluated for total porosity, hydraulic conductivity, and humid bulb, and potential matric. The highest porosity was obtained in slip+starch with 33.7 %, whereas the hydraulic conductivity was highest in the slip+sand treatment with 0.0139 cm·h⁻¹. The cups made from the slip+sand mixture had the highest wet bulb, both horizontally and vertically with 19.3 and 18.0 cm, respectively. The lowest matric potential at the cup limit was 16.0 cb in the slip+manure treatment. The materials used to manufacture the cups allowed the obtaining of appropriate hydraulic properties to consider these emitters as a promising alternative for adaptation to the suction irrigation systems.

Additional key words: Ceramic slip, hydraulic conductivity, matric potential, wet bulb

INTRODUCCIÓN

Entre las alternativas para aplicar riego localizado se encuentra el riego por succión mediante envases porosos que colocan el agua

directamente a la zona radical, esta tecnología está surgiendo como un método altamente promisorio para la irrigación agrícola localizada a pequeña escala (Bainbridge, 2002).

La vasija de arcilla es un método antiguo

Recibido: Marzo 4, 2015

Aceptado: Enero 7, 2015

¹ Dpto. Ingeniería Agrícola, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”. Apdo. 400. e-mail: lisettegruber@ucla.edu.ve

² Dpto. Fitotecnia, Decanato de Agronomía, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”. Apdo. 400. e-mail: joselugo@ucla.edu.ve

³ Dpto. Agronomía, Facultad de Agronomía. La Universidad del Zulia. Maracaibo. Venezuela. e-mail: zuliro@fa.luz.edu.ve

todavía practicado y en auge, especialmente útil en condiciones de alta salinidad, aridez extrema y limitada suplencia de agua, por lo que se le considera simple pero eficiente para el ahorro de este preciado líquido (Siyal et al., 2009; Altaf et al., 2009).

El riego con cápsulas porosas es una adaptación eficiente y moderna de la antigua vasija de arcilla, cuya aplicación del agua se fundamenta en el principio de riego por succión, basado en un sistema a baja presión, donde la lámina aplicada es determinada por el potencial mátrico del suelo, es decir, bajo este sistema, el agua es automática y continuamente liberada debido a una diferencia entre el potencial de la cápsula y el del suelo.

En la medida que las plantas toman el agua del suelo, la diferencia de potencial entre éste y las cápsulas de riego se incrementa, provocando un flujo directamente al suelo que permite suplir las necesidades de la planta, por lo que, el riego en este sistema es continuo, permanente y autorregulado por el consumo del cultivo, resultando fácil de operar, además, de eficiente en el uso del agua (Vargas et al., 2010).

La composición de la mezcla de materias primas determina la capacidad de salida del flujo del agua hacia el suelo desde la vasija (Setiawan et al., 1996), en este caso de las cápsulas porosas. El objetivo de este trabajo fue diseñar, elaborar y evaluar hidráulicamente cápsulas porosas para riego por succión, fabricadas con suelos de alto contenido de arcilla y otros materiales, para finalmente obtener un emisor que permita ser usado como parte de las estrategias para reducir el uso del agua en la agricultura urbana.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo fue realizado en el Laboratorio de Fitotecnia de la Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”, en Cabudare estado Lara. Para la elaboración de las cápsulas porosas se utilizó barbotina, un tipo de material cerámico del que se obtiene una mezcla fluida elaborada a partir de suelos arcillosos (10 % arena, 30 % limo y 60 % arcilla) extraído de las minas de Sanare en el estado Lara. La mezcla se obtuvo añadiendo 1 mL de agua por cada gramo de suelo tamizado.

Los tratamientos consistieron en agregar a la barbotina alguno de los siguientes componentes:

arena, almidón, estiércol de chivo o poliacrilamida (esta última es un polímero soluble en agua que se utiliza con frecuencia como acondicionador de suelos en terrenos agrícolas para el control de la erosión). Como testigo se usó barbotina sola (T0). La mezcla de barbotina+arena fina (T1) y barbotina+almidón (T2) se realizó en una proporción 3:1, respectivamente. Para la mezcla barbotina+estiércol (T3), el estiércol fue colocado en agua y licuado durante 30 segundos para homogeneizar el tamaño de las partículas, tamizado y secado. La mezcla se realizó en la misma proporción que para la arena y el almidón.

Para obtener la mezcla de barbotina+poliacrilamida (T4) se mezcló 1 g de poliacrilamida con 1 L de agua. Luego de 12 horas se agregó 10 cm³ de este líquido a 360 cm³ de barbotina, quedando la mezcla en una proporción 36:1.

Después de homogeneizadas las mezclas fueron vaciadas en moldes de yeso y luego de 5 minutos se procedió a voltear los moldes para eliminar el exceso de mezcla y de esta forma obtener cápsulas cilíndricas huecas en el interior, de 3,5 cm de diámetro, 3,5 cm de alto y paredes de 6 mm de espesor. Posteriormente, se sacaron lentamente del molde, evitando deformar la cápsula, y se dejaron secar por un periodo mínimo de 24 horas antes de hornear en una mufla, a temperatura de 800 °C durante 10 horas, para convertirla en una pieza con estructura sólida y adecuada para permitir el paso del agua a través de ella.

A las cápsulas porosas seleccionadas como las más uniformes se les colocaron tapas plásticas, adheridas con pegamento epóxico, se les abrió un orificio e instaló un conector plástico al que se le acopló una tubería plástica de alimentación, de 5 mm de diámetro (Figura 1).

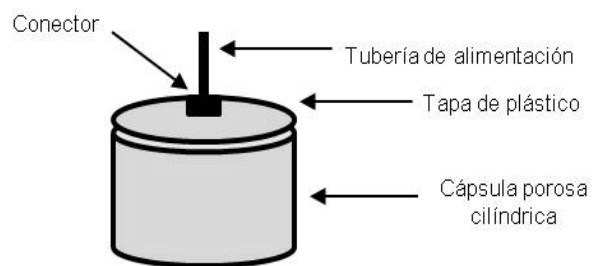


Figura 1. Cápsula porosa de arcilla y sus componentes

El ensayo se condujo empleando un diseño completamente al azar, con cinco tratamientos y ocho repeticiones, cada una conformada por tres cápsulas porosas para una población total de 120 cápsulas.

Las variables evaluadas fueron la porosidad absoluta, conductividad hidráulica, dimensiones del bulbo de humedecimiento y potencial mátrico en el límite de la cápsula porosa.

Para determinar la porosidad se saturaron las cápsulas con agua destilada por 24 horas, se pesaron con una balanza de precisión al 0,001 g antes y después de secarlas en estufa a 105 °C durante 24 horas y se utilizó la expresión

matemática siguiente:

$$P = \frac{(Ph - Ps)}{V} \cdot 100$$

donde P es la porosidad de la cápsula (%), Ph el peso (g) de la cápsula saturada de agua, Ps el peso seco (g) de la cápsula y V el volumen sólido (cm³) de la cápsula.

Para determinar la conductividad hidráulica se preparó un permeámetro de carga constante la cual se logró mediante el empleo de una botella invertida llena de agua con el extremo sumergido en el agua del tanque, la cual regulaba la altura del líquido (Figura 2).

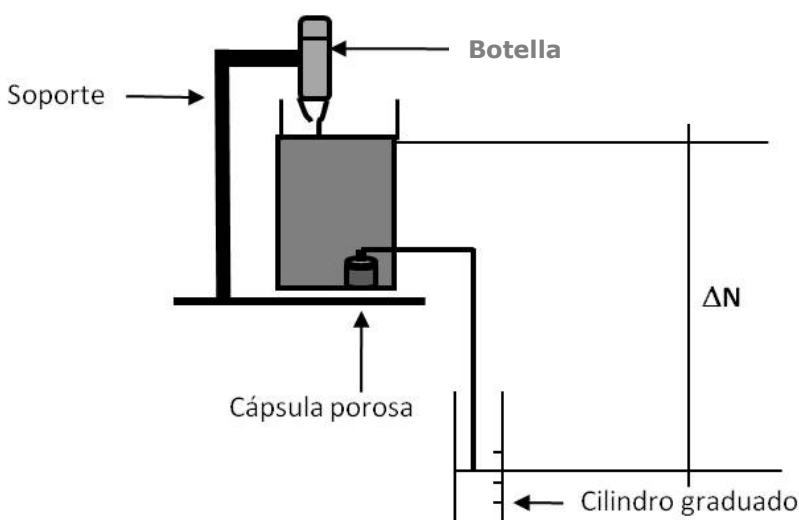


Figura 2. Esquema del funcionamiento del permeámetro de carga constante

La conductividad hidráulica se calculó aplicando el principio de la ley de Darcy, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$K_i = V / (t \cdot A \cdot i)$$

$$i = \Delta N / e$$

$$A = (A_i + A_e) / 2$$

donde K_i es la conductividad hidráulica resultante (cm·h⁻¹), V el volumen de agua colectado en la probeta (cm³), i es el gradiente hidráulico, e el espesor de las paredes de la cápsula (cm), t es el tiempo en que se colecta el agua en la probeta (h), ΔN la diferencia de altura entre el nivel del agua en el tanque a nivel constante y el extremo del conducto que entrega el agua a la cápsula porosa (cm), A_i es el área interior y A_e el área exterior de la cápsula, ambas en cm².

Para la determinación de las dimensiones del bulbo húmedo se utilizó una caja de vidrio

transparente, dentro de la cual se situó la cápsula porosa recubierta de sustrato aproximadamente a 5 cm por debajo de la superficie y pegada a la pared de vidrio de forma que esta pudiera ser visible desde la parte exterior de la caja. El suelo de la prueba era de textura franco-limo-arcillosa y conductividad hidráulica de 3,25 cm·h⁻¹. A la cápsula se le suministró agua a través de una manguera plástica de 4,5 mm de diámetro la cual se conectó por el otro extremo a un recipiente con agua a una altura constante de 5 cm, tal como lo muestra la Figura 3. Se determinaron las dimensiones de humedecimiento del suelo, tanto vertical como horizontalmente.

Para determinar el potencial mátrico al límite de la cápsula porosa se instaló un tensiómetro en la caja de vidrio; el instrumento se colocó aproximadamente a 3 cm de la cápsula porosa y se

realizaron mediciones a intervalos de una hora hasta estabilización. Se interpretaron las lecturas bajo el criterio de Goyal et al. (2007).

El bulbo de humedecimiento, así como, el potencial mátrico solo se midió a las cápsulas que presentaron mayor conductividad hidráulica, ya

que éstas representan las de mayor interés para la agricultura bajo riego.

El análisis estadístico de los resultados se realizó mediante prueba de F y comparación de medias mediante la prueba de Tukey utilizando el programa Statistix versión 8.0.

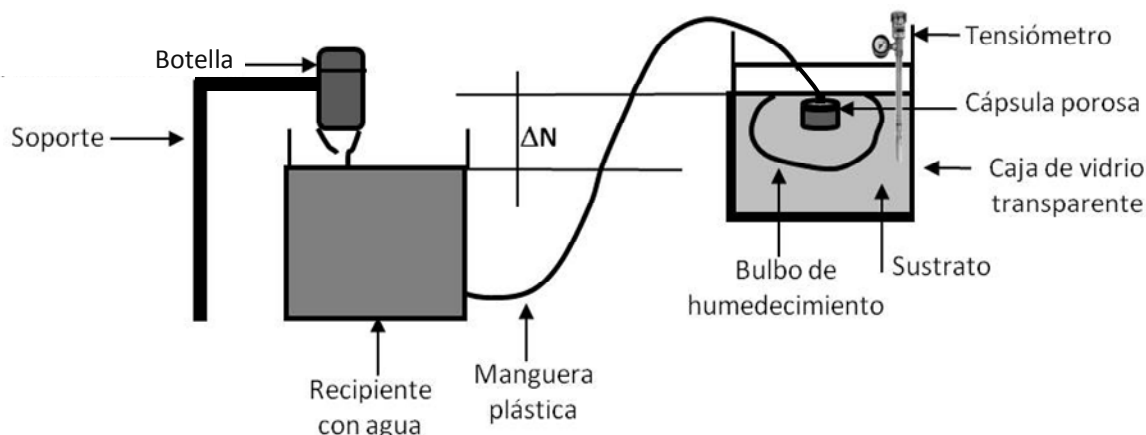


Figura 3. Dispositivo instalado para determinar las dimensiones del bulbo húmedo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porosidad. Los materiales añadidos a la barbotina fueron efectivos para aumentar la porosidad de las cápsulas ($P \leq 0,05$) al comparar con el tratamiento testigo (Cuadro 1). Estos resultados son importantes de discutir porque, según lo descrito por Vargas et al. (2008) para obtener un adecuado funcionamiento de las cápsulas es necesario que éstas se construyan con materiales que proporcionen valores de porosidad de 25-35 %; por supuesto, la barbotina sola no cumple con ésta condición pero sí las otras mezclas probadas en ésta investigación. Según Silva et al. (1997), las cápsulas pueden funcionar adecuadamente con

porosidades menores (20-25 %), pero para ello es necesario que se construyan utilizando fuentes de barbotina cuya composición granulométrica oscile entre 4 y 22 % de arena, 35 y 58 % de limo y 43 y 65% de arcilla.

La relación entre la porosidad y la conductividad indica que en T4 hubo muchos poros pero muy pequeños, en promedio; incluso pareciera que fueron de menor tamaño que los de la barbotina, ya que se pudo evidenciar más porosidad pero igual conductividad. Por su parte, el T3 tuvo menos poros que el T4 pero de mayor tamaño promedio. El T1 habría tenido los poros de mayor tamaño en comparación con los otros tratamientos.

Cuadro 1. Evaluación de la porosidad, conductividad hidráulica, bulbo de humedecimiento y potencial mátrico en cápsulas porosas

Tratamiento	Porosidad (%)	Conductividad hidráulica ($\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$)	Bulbo húmedo humedecimiento (cm)		Potencial mátrico (cb)
			Vertical	Horizontal	
T0	18,5 d	0,0006 d			
T1	31,4 ab	0,0139 a	18,0 a	19,3 a	8,3 c
T2	33,7 a	0,0086 b	15,3 b	15,7 b	11,3 b
T3	26,5 bc	0,0018 c	12,0 c	14,0 c	16,0 a
T4	33,6 a	0,0006 d			

Medias con distintas letras difieren significativamente ($P < 0,05$), según la prueba de los rangos múltiples de Tukey

El almidón promovió mayor porosidad que el estiércol en las mezclas con barbotina. Dado que ambos son materiales orgánicos y se usaron en igual proporción, la diferencia podrá atribuirse al menor tamaño y mayor uniformidad de las partículas del almidón las cuales pudieron conferir propiedades diferentes que el estiércol al mezclarse con la barbotina.

Se pudo observar que los porcentajes de arena y arcilla del suelo a partir del cual se elaboró la barbotina se encuentran dentro de los valores descritos por Silva et al. (1997), pero el porcentaje de limo se encuentra por debajo del recomendado por estos autores, razón por la cual, podría haberse obtenido la baja porosidad en el tratamiento testigo. En cambio, en las cápsulas construidas con las mezclas, se observa que la incorporación de los materiales permitió incrementar significativamente los porcentajes de porosidad, inclusive por encima de valores considerados adecuados, lo que podría mejorar el funcionamiento de las cápsulas, ya que, a mayor porosidad aumenta la capacidad de infiltración de agua a través de la cápsula lo que favorece el área de humedecimiento. Es importante destacar que siempre debe existir un límite máximo, porque si hay exceso de entrada al suelo puede existir pérdida por percolación y la cápsula dejaría de cumplir su objetivo. De todas formas, se debe tomar en cuenta que para este fin la conductividad hidráulica es aun más importante que la porosidad.

Conductividad hidráulica. La conductividad hidráulica fue afectada significativamente por lo materiales usados para elaborar las cápsulas porosas. En el Cuadro 1 se observa que el tratamiento con la mayor conductividad hidráulica fue el T1, es decir, la incorporación de arena a la barbotina permitió aumentar la conductividad hidráulica de las cápsulas, lo que favorecería la distribución del agua hacia el suelo. Estos resultados son consistentes con los observados por Siyal et al. (2009) quienes sugieren que la conductividad hidráulica del material de los envases porosos es el factor más importante, después de la superficie del envase, para determinar el flujo de agua hacia el suelo.

Debido a la inexistencia de clasificación de flujo a través de medios porosos provenientes de procesos de alfarería, y dado que la cápsulas en estado de saturación actúan como medios estructurales de transmisión de fluidos similares al

suelo, se usó este patrón para comparar los resultados obtenidos por esta investigación con los valores de conductividad hidráulica saturada según la clasificación de USDA-NRSC (1993) los tratamientos T0, T3 y T4 se encuentran en la clase muy baja, mientras los tratamientos T1 y T2 se encuentran en el rango de conductividad hidráulica baja. Estos bajos rangos de conductividad hidráulica podrían ser consecuencia de una baja porosidad, pocos poros grandes y baja interconectividad entre ellos (Flores y Alcalá, 2010), pero también podrían ser consecuencia del método de elaboración de las cápsulas y de la temperatura de cocción (Ros, 2005). Este autor señala que para lograr piezas de alfarería con cierta porosidad, es necesaria una temperatura de 500 a 600 °C, pero si se necesita vitrificar (porcelana) y en consecuencia un sellado total, es decir, ninguna porosidad, se requieren de 1200 a 1350 °C.

Bulbo de humedecimiento. El mayor bulbo de humedecimiento tanto para la dimensión vertical como horizontal se observó en el tratamiento barbotina+arena. Al observar los resultados de esta investigación, se puede ver como las dimensiones del bulbo de humedecimiento son directamente proporcionales a la conductividad hidráulica, lo cual se corresponde con la habilidad del material de la cápsula de permitir o difundir la salida del agua hacia el suelo y por supuesto hacia la planta al usar las cápsulas como emisor.

Una ventaja importante de la utilización de estos emisores porosos es que se minimizan significativamente las pérdidas por percolación y escorrentía superficial (Vargas et al., 2008), ya que son las necesidades hídricas de las plantas las que determinan el potencial de succión resultante en las raíces que permite el establecimiento del flujo de agua desde los emisores hacia el sustrato-planta.

Potencial mátrico. La cápsula que mantuvo la tensión de humedad más alta en el sustrato fue la del tratamiento T3. Al comparar los valores obtenidos por los tratamientos T2 y T3 con los valores para la interpretación de las lecturas del tensiómetro (Goyal et al., 2007) se obtiene que el sustrato se encontraba muy cerca de su capacidad de campo, con suficiente humedad disponible para favorecer el desarrollo de la planta. El tratamiento T1 resultó en un potencial mátrico muy alto, lo cual hace suponer que la humedad del sustrato se

encontraba por encima de la capacidad de campo de agua, lo que a su vez representaría cierta dificultad en la respiración de las raíces.

CONCLUSIONES

La incorporación de arena, estiércol, almidón o poliacrilamida a la barbotina contribuyó al aumento de la porosidad de las cápsulas porosas.

La arena resultó ser el mejor material para aumentar la conductividad hidráulica de las cápsulas porosas y las dimensiones del bulbo de humedecimiento, aunque mantuvo en el sustrato un potencial mátrico ligeramente alto que pudiera, en algunos casos, dificultar la respiración de las raíces.

Los materiales y procedimientos empleados para la elaboración de cápsulas porosas permitieron obtener propiedades hidráulicas adecuadas como para considerar estos emisores como una alternativa promisorio para su adaptación al riego por succión.

LITERATURA CITADA

1. Altaf, A., M. van Genuchten y H. Todd. 2009. Performance of pitcher irrigation system. *Soil Science* 174(6): 312-320.
2. Bainbridge, D.A. 2002. Alternative irrigation systems for arid land restoration. *Ecology restoration* 20(1): 23-30.
3. Flores D., L. y J.R. Alcalá R. 2010. Manual de Procedimientos Analíticos. Laboratorio de Física de Suelos. Instituto de Geología, Departamento de Edafología. Universidad Autónoma de México. 56 p.
4. Goyal, M.R., J.A. Santaella P. y L.E. Rivera M. 2007. El tensiómetro, su uso, instalación y mantenimiento. *In: M.R. Goyal y V.H. Ramírez (eds.). Riego por Goteo. Universidades de Puerto Rico y Santa Rosa del Cabal. Santa Rosa del Cabal, Colombia. pp. 141-172.*
5. Ros, M. 2005. *Cerámica Artística*. Ediciones Parramón. Barcelona.
6. Setiawan, B., D.K. Kalsim y A. Ilyas. 1996. Numerical study on soil moisture profile in pitcher. *Journal of Indonesian Society of Agricultural Engineering* 4(1): 37-42.
7. Silva, A., D.A. Silva, H.R. Gheyi y E.R. Porto. 1997. Viability of irrigation by porous capsule method in arid and semi-arid regions. *Embrapa* 19: 1257-12 65.
8. Siyal, A.A., M.T. van Genuchten y T.H. Skaggs. 2009. Performance of pitcher irrigation system. *Soil Science* 174(6): 312-320.
9. USDA Natural Resources Conservation Service (USDA-NRSC). 1993. Reconocimiento y clasificación de los suelos. *In: Manual de Estudio de Suelo. Soil Survey Division Staff. Soil Conservation Service. U.S. Manual del Departamento de Agricultura* 18. 110 p.
10. Vargas R., P., M. Peña C., J. González A. y G. Hernández C. 2008. Obtención de cápsulas porosas para el beneficio de cultivos protegidos. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 17(3): 14-17.
11. Vargas R., P., M. Peña C., K. García V., D. Roble de la R. y R. Álvarez A. 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.