

# CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA DE PERLITA PARA DISTINTOS TIEMPOS DE USO EN CULTIVO DE ROSAS BAJO CUBIERTA

ANA M. LANDINI<sup>1</sup>; LUCILA BOTTINI<sup>2</sup>; LIBERTAD MASCARINI<sup>3</sup>; F. VILELLA<sup>3</sup> y SUSANA ORDEN<sup>1</sup>

Recibido: 27/05/05

Aceptado: 19/12/05

## RESUMEN

En el presente trabajo se evaluaron la conductividad hidráulica saturada y la porosidad efectiva de perlita utilizada en cultivo de rosas en contenedores bajo cubierta. La investigación se llevó a cabo en Buenos Aires (34° 37' LS y 58° 27' LO), Argentina. Se utilizaron muestras de perlita virgen y con 28 y 39 meses de uso que se extrajeron de la zona radicular. La porosidad efectiva se calculó a partir de la medición de las densidades real y aparente del sustrato para cada tiempo de uso. Se construyó un permeámetro de carga constante y la conductividad hidráulica saturada se obtuvo a partir de la ley de Darcy. Las muestras se seleccionaron siguiendo un diseño completamente aleatorizado con doce repeticiones por tratamiento y las medias fueron comparadas con el Test de Tukey a un nivel de significancia de 0.05. La porosidad efectiva de la perlita aumentó significativamente desde un valor inicial del 71,7% (perlita virgen) hasta un valor del 85,4% al cabo de 39 meses de uso, representando un incremento del 19%. En cambio, las conductividades hidráulicas saturadas no dieron diferencias significativas en el rango de porosidades utilizadas, si bien presentaron una variabilidad porcentual del 11% respecto de su valor medio de 56,6 cm min<sup>-1</sup>. El aumento de la porosidad efectiva del sustrato podría explicarse como resultado de la inserción de las raíces que favorecen la formación de canales dentro del mismo o bien por la erosión del agua que provoca la apertura de algunos poros internos y arrastre de las partículas finas fuera de la zona de las raíces. Sin embargo, el cambio significativo en la porosidad no llegó a modificar la conductividad hidráulica de la perlita para el máximo tiempo de uso estudiado.

**Palabras clave.** Perlita, porosidad efectiva, conductividad hidráulica saturada.

## SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF PEARLITE FOR DIFFERENT USING TIME IN CULTURE OF ROSES IN GREENHOUSES

### SUMMARY

In the present work the saturated hydraulic conductivity and the perlite effective porosity were evaluated in culture of roses in containers under cover. The investigation was carried out in Buenos Aires (34° 37' SL and 58° 27' WL), Argentina. Samples of virgin perlite and after being used for 28 and 39 months, extracted of the radicular zone, were evaluated. The effective porosity was calculated from the measurement of the real and bulk densities of the substrate for each time of use.

Permeameter of constant load was constructed and the saturated hydraulic conductivity was obtained, in agreement with the Darcy's law. The samples were completely selected following a randomized design with twelve repetitions by treatment and the averages were compared with the Test of Tukey at a level of significance of 0.05. The effective porosity of perlite increased significantly from an initial value of 71.7% (virgin perlite) to a value of 85.4% after 39 months of use, representing an increase of 19%. However, the saturated hydraulic conductivities did not give significant differences in the range of porosities that were used, although they presented a percentage variability of 11% respect to their average value of 56.6 cm min<sup>-1</sup>. The increase of the effective porosity of the substrate could be explained as a result of the insertion of the roots that favor the formation of channels or by the erosion of the water that causes the opening of some internal pores and drags of fine particles outside the root zone. Nevertheless, the significant change in the porosity did not modify the hydraulic conductivity of perlite for the maximum using time.

**Key words.** Pearlite, effective porosity, hydraulic conductivity.

<sup>1</sup>Cátedra de Física. Facultad de Agronomía. U.B.A. Av. San Martín 4453 (1417DSQ). Buenos Aires. Argentina  
alandini@agro.uba.ar.

<sup>2</sup>Cátedra de Floricultura. FAUBA.

<sup>3</sup>Cátedra de Producción Vegetal. FAUBA.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente se ha incrementado el cultivo sin suelo. El suelo es remplazado por sustrato que se coloca en contenedores y funciona como soporte del cultivo.

Un sustrato es un medio material en el que se desarrollan las raíces, aislado del suelo para impedir su desarrollo en el mismo, capaz de proporcionar a la planta el agua y los elementos nutritivos que demanda y a las raíces el oxígeno necesario para su respiración. Para cumplir correctamente sus funciones de regulación del suministro de agua, los sustratos deben poseer una elevada porosidad y capacidad de retención del agua unidos a un drenaje rápido y una buena aireación. El espacio poroso total es la fracción del volumen total no ocupado por material sólido (Martínez Capdevilla y García Lozano, 1993). En sustratos, además de los poros entre partículas, los propios granos o fibras pueden tener poros internos cerrados o conectados con el exterior. La perlita es un ejemplo típico en que a causa de la existencia de poros cerrados, su porosidad efectiva es inferior a la total (Ansorena Miner, 1994). La perlita, sustrato inorgánico de origen volcánico, es una arena silicatada del grupo de las riolitas, expandida mediante un proceso de calentamiento a 1.000-1.200 °C, por lo cual se hincha cerca de 20 veces su volumen inicial (Brun, 1993).

Cuando los sustratos están saturados todos los poros conducen el agua, y en muchos de ellos debido al tamaño de los poros hay una rápida transición entre los estados saturados y no saturados (Da Silva *et al.*, 1993). Es importante mantener elevado el flujo de agua hacia las raíces con el fin de reponer el agua perdida por transpiración (Burés, 1997). Este flujo está relacionado con la capacidad que presenta el sustrato para conducir el agua, denominada conductividad hidráulica.

La conductividad hidráulica es una propiedad que depende de la porosidad del medio, de la densidad y de la viscosidad del fluido; las cuales son a su vez función de la temperatura. La conductividad hidráulica, al depender de la porosidad, depende fuertemente del grado de compactación de la muestra y está muy controlada por la fracción fina. Si esta última es importante puede reducirla hasta en dos órdenes de magnitud (Custodio y Llamas, 1983).

El cálculo de la conductividad hidráulica es de importancia práctica para un manejo efectivo del riego y fertilización de un cultivo (Walach *et al.*, 1992). En este caso particular, las variaciones de la conductividad hidráulica con el tiempo de uso del sustrato en el cultivo de rosa, determinarán la modificación en la frecuencia de riego establecida inicialmente.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la porosidad efectiva y la conductividad hidráulica en estado de saturación de la perlita para diferentes tiempos de uso en cultivo de rosas bajo cubierta. Se determinó la conductividad hidráulica saturada como paso previo para obtener en un estudio posterior la conductividad no saturada a partir de la saturada y de la curva de retención hídrica, aplicando el modelo de Van Genuchten (Schaap y Leij, 2000).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en Buenos Aires (34° 37' LS y 58° 27' LO), Argentina. Se utilizaron muestras de perlititas virgen, y con 28 meses y 39 meses de antigüedad en cultivo de rosas bajo cubierta, plazos al cabo de los cuales el sistema radicular experimentó modificaciones. Se extrajeron doce muestras de sustrato para cada tiempo de uso de la zona radicular de los contenedores y se seleccionaron siguiendo un diseño completamente aleatorizado.

### Densidades aparente y real

La densidad aparente ( $\delta_a$ ) de un sustrato es la relación entre la masa seca de las partículas que lo componen y el volumen total que ocupa. En cambio, la densidad real ( $\delta_r$ ) es la relación entre la masa seca granular y el volumen ocupado por la materia sólida sin alterar o sea incluyendo los poros internos cerrados (Burés, 1997).

Las densidades de las partículas inalteradas ( $\delta_i$ ) se determinaron con el método del picnómetro para cada tiempo de uso y las densidades aparentes ( $\delta_a$ ) se calcularon a partir de la medición de la masa seca de sustrato y del volumen del cilindro portamuestra, con doce repeticiones para cada tratamiento.

### Porosidad efectiva

La porosidad efectiva ( $P_e$ ) es el porcentaje del volumen total que está ocupado solamente por los poros

interconectados con el exterior. Está vinculada con las densidades aparente y real del sustrato a través de la siguiente relación:

$$P_v \% = \left( 1 - \frac{\delta_a}{\delta_r} \right) 100 \quad (1)$$

Se calcularon las porosidades efectivas para cada una de las doce muestras por tratamiento.

### Conductividad hidráulica

La ley de Darcy describe el flujo de agua a través de un medio poroso en condiciones de saturación. Establece que la densidad de flujo de líquido  $q$  (volumen de líquido, por unidad de tiempo y de área) que atraviesa una superficie de un medio poroso homogéneo y saturado, en régimen laminar y a temperatura constante es directamente proporcional al gradiente hidráulico ( $\frac{dh}{dx}$ ) en dirección normal a dicha superficie:

$$q = -k \frac{dh}{dx} \quad (2)$$

donde  $k$  es la conductividad hidráulica saturada expresada en unidades de velocidad.

Si además el flujo es unidimensional y en régimen estacionario, la ley de Darcy se expresa como:

$$q = -k \frac{\Delta h}{\ell} \quad (3)$$

donde el gradiente hidráulico se lo determinó por el cociente de la caída de carga  $\Delta h$  entre los extremos de la muestra y su longitud  $\ell$  (Fig. 1).

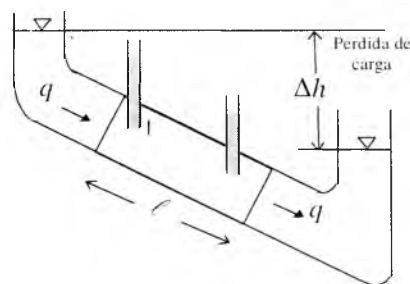


FIGURA 1. Flujo unidimensional en un medio poroso mostrando los planos de carga, la pérdida de carga y la dirección del flujo.

La validez de esta ley se restringe para valores del número de Reynolds menores de 10 (Custodio y Llamas, 1983), asegurando dentro de ese rango flujo laminar.

Para medir la conductividad hidráulica saturada se utilizó un permeámetro de carga constante construido en la Cátedra de Física de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. Está constituido por un depósito de Mariotte (Perucca, 1958) con agua y conectado por una manguera flexible a uno de los extremos de un cilindro horizontal que contenía la muestra. Ésta estaba limitada en sus extremos por dos mallas metálicas, evitando así la pérdida de sustrato. Se aplicaron a los extremos de la muestra cinco gradientes hidráulicos crecientes, aumentando la altura  $\Delta h$  de la columna de agua entre la muestra y el tubo de desagüe del depósito de Mariotte. Se calculó la densidad de flujo a través del sustrato, midiendo el tiempo de escurrimiento de un determinado volumen de fluido, recogido en el recipiente graduado  $R$ .

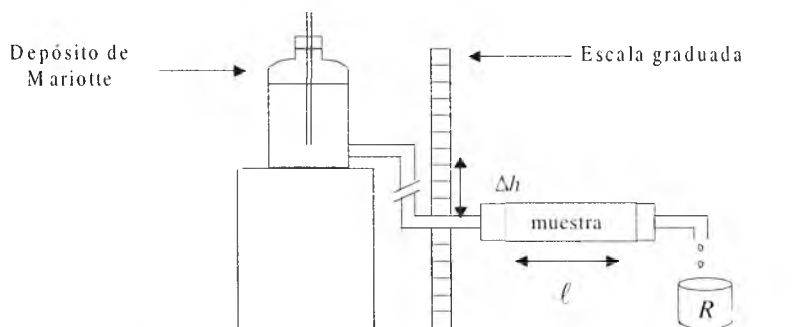


FIGURA 2. Diseño experimental para determinar la conductividad hidráulica saturada.

La longitud y el diámetro efectivos de las muestras fueron 20 cm y 3,45 cm, respectivamente.

En la preparación de cada muestra se cuidó de no forzar la compactación de la perlita dentro del cilindro, para lo cual, se lo golpeó suavemente durante el llenado.

La conductividad hidráulica saturada ( $k$ ) se determinó en 12 muestras para cada tratamiento, con cinco repeticiones para cada gradiente, para limitar el error experimental a un valor menor del 12%. Se graficaron, para cada muestra, los valores de densidad de flujo ( $q$ ) en función de los cinco gradientes ( $\Delta h/\ell$ ) aplicados. La pendiente de la recta de regresión es el estimador de la conductividad hidráulica saturada. El valor representativo de  $k$  para cada muestra fue el promedio de las cinco repeticiones.

Se comprobó el rango de validez de la ley de Darcy verificando la linealidad entre las densidades de flujo calculados y los gradientes hidráulicos aplicados.

### Permeabilidad intrínseca

Como en general los sustratos se fertilizan con distintas soluciones acuosas, es necesario obtener un coeficiente de permeabilidad que dependa sólo de las propiedades del medio poroso y no del fluido. Se define entonces, la permeabilidad intrínseca o geométrica  $k_g$ , que se relaciona con la conductividad hidráulica  $k$ , el peso específico  $\rho$  y la viscosidad dinámica del fluido  $\eta$  mediante la expresión (Custodio y Llamas, 1983):

$$k_g = k \frac{\eta}{\rho} \quad (4)$$

En el sistema c.g.s. de unidades se expresa en  $\text{cm}^2$ .

Para calcular el peso específico  $\rho$  de la solución acuosa (agua y fertilizante), se midió la densidad con un densímetro y se empleó el valor de la aceleración gravitatoria local. El coeficiente de viscosidad de la solución relativo al agua, a la temperatura de la experiencia, se determinó con un viscosímetro de Ostwald.

Los datos experimentales fueron analizados con el programa InfoStat/Profesional (v 1.1)

Se realizó un análisis de varianza para confirmar variaciones en la porosidad efectiva y conductividad hidráulica como respuestas al tiempo de uso, y las medias de los tratamientos fueron comparadas con el Test de Tuckey con un nivel de significancia 0,05.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 3 se muestra como ejemplo de la validez de la ley de Darcy que se verificó para gradientes hidráulicos comprendidos entre 0,1 y 0,5 (Fig. 3).

Los valores medios de porosidad efectiva y conductividad hidráulica saturada para los distintos tiempos de uso de la perlita se muestran en el Cuadro 1.

En el Cuadro 1 se observa que los valores de porosidad efectiva fueron significativamente diferentes con un rango de variación entre 71,7% y 85,4%, registrando al cabo de 39 meses un aumento del 19% respecto de su valor inicial (perlita virgen). En cam-

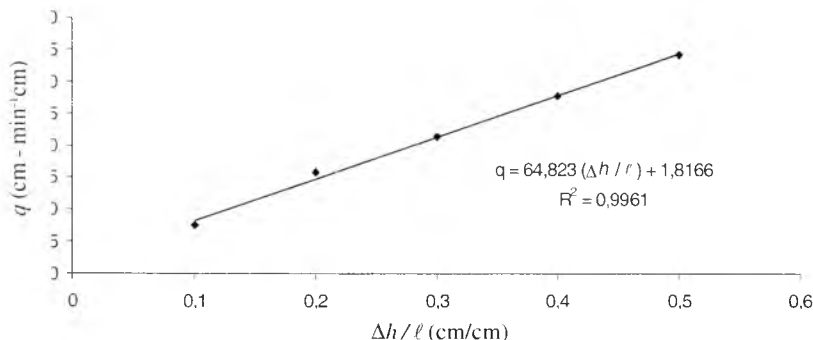


FIGURA 3. Densidad de flujo ( $q$ ) en función del gradiente hidráulico ( $\Delta h/\ell$ ) en perlita para una muestra con 28 meses de uso.

CUADRO 1. Porosidad efectiva y conductividad hidráulica saturada de perlita para los tiempos de uso.

Tiempo de uso (meses)	Porosidad efectiva (%)	CV %	Conductividad hidráulica saturada (cm min <sup>-1</sup> )	CV (%)
0	71,7 a	1,4	56,3 a	25,1
28	82,9 b	2,3	62,8 a	17,9
39	85,4 c	1,4	50,7 a	19,1

Las medias indicadas con la misma letra no presentan diferencias significativas con  $P < 0,05$  (Test de Tukey).

bio, las conductividades hidráulicas saturadas no dieron diferencias significativas en el rango de porosidades utilizadas si bien presentaron una variabilidad porcentual del 11% respecto de su valor medio de  $56,6 \text{ cm min}^{-1}$ . El aumento de la porosidad efectiva del sustrato con el tiempo de uso podría explicarse como resultado de la inserción de las raíces dentro del mismo, favoreciendo la formación de canalículos o bien por la apertura de algunos poros internos y arrastre de las partículas finas debido a la erosión del agua, fuera de la zona de las raíces. Sin embargo, el cambio significativo en la porosidad no llegó a modificar la conductividad hidráulica saturada de la perlita para el tiempo máximo de uso estudiado.

Para determinar la permeabilidad intrínseca se utilizó el coeficiente de viscosidad dinámico y peso específico del agua a la temperatura de la experiencia cuyo valor medio fue  $22,5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

El valor medio de la permeabilidad intrínseca resultó  $k_0 = 9,11 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2$  medida con un error porcentual del 11%.

### CONCLUSIONES

La porosidad efectiva de la perlita aumentó significativamente desde un valor inicial del 71,7% (perlita virgen) hasta un valor del 85,4% al cabo de 39 meses de uso, representando un incremento del 19%. En cambio la conductividad hidráulica saturada no presentó diferencias significativas hasta el tiempo máximo del ensayo, obteniéndose un valor medio  $k_s = 56,6 \text{ cm min}^{-1}$  con una indeterminación porcentual del 11%. El valor medio de la permeabilidad intrínseca resultó  $k_0 = 9,11 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2$  medida con un error porcentual del 11%.

### BIBLIOGRAFÍA

- ANSORENA MINER, J. 1994. Sustratos: Propiedades y Caracterización. Ediciones Mundi-Prensa; p 172
- BURÉS, S. 1997 "Sustratos". Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid
- BRUN, R. 1993 "Pour choisir un substrat de culture hors sol: conoitre ses caractéristiques". *Revue Horticole*, 334 : 25-35
- CUSTODIO, E. y M.R. LLAMAS. 1983 "Hidrología Subterránea". Cap. 2, 5 y 8. Vol.I. Ed. Omega Barcelona.
- DA SILVA, F.F.; R. WALACH and Y. CHEN. 1993. Hydraulic Properties of Sphagnum Peat Moss and Tuff (scoria) and their Potential Effects on Water Availability. *Plant and Soil* 154: 119-126.
- INFOSTAT/PROFESIONAL (v. 1.1). Universidad Nacional de Córdoba. 2004.

- MARTÍNEZ CAPDEVILLA, E. y M. GARCÍA LOZANO. 1993 "Cultivos sin Suelo: Hortalizas en clima Mediterráneo". Compendios de Horticultura Ediciones de Horticultura. España.
- PERUCCA, E. 1958. "Física General y Experimental" Tomo 1 Editorial Labor, S.A. Barcelona, España.
- SCHAAP M.G. and F. J. LEIJ. 2000. Improved Prediction of Unsaturated Hydraulic Conductivity with the Mualem – van Genuchten Model. *Soil Sci. Am.* 64: 843-851J.
- WALACH, R.; F.F. DA SILVA and Y. CHEN. 1992. Hydraulic Characteristics of Tuff (Scoria) used as a Container Medium. *Journal American Soc. Hort. Sci.* 117(3): 415-421