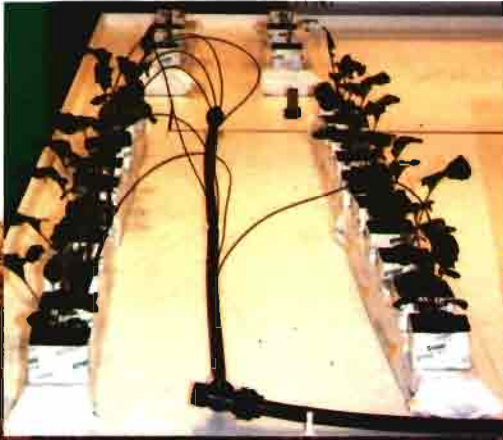


Pequeña instalación de fertirrigación en cultivos hidropónicos, en que se utiliza lana de roca como soporte físico para el cultivo. Debajo, distintos materiales que pueden utilizarse como sustratos: turba, perlita, arlita ... (Fotografía de Floragard)



máximo (capacidad de contenedor), pero se reduce a medida que va pasando a la planta y aumentan las pérdidas por evapotranspiración. Por el contrario, la aireación crece a medida que el sustrato pierde agua, ya que los poros que han sido vaciados pasan a estar ocupados por aire.

Por tanto, se comprende que la caracterización completa de un sustrato en relación a su capacidad para suministrar agua y aire a las raíces requiere conocer cómo

El porcentaje de la porosidad ocupado por aire se denomina porosidad de aire, y es uno de los parámetros más importantes para valorar la calidad de un sustrato.

Sustratos

Aireación de sustratos hortícolas

Observaciones a la medida de la porosidad del aire y su influencia en la calidad del sustrato.

Para un manejo adecuado del riego, resulta esencial conocer las propiedades de retención de agua y de aireación del sustrato. En la mayoría de los sustratos, que retienen varios gramos de agua por cada gramo de fase sólida, la cantidad de agua disponible suele ser suficiente para el cultivo de plantas en contenedor.

Además, como las raíces necesitan aire para respirar, es necesario que una cierta proporción de los poros se halle ocupada por aire, ya que de lo contrario se corre el riesgo de asfixia radicular. El porcentaje de la porosidad ocupado por aire se denomina porosidad de aire, y

es uno de los parámetros más importantes para valorar la calidad de un sustrato.

Pero el volumen total del sustrato y su reparto entre la fase sólida, el agua y el aire no permanece constante, sino que varía a lo largo del período de cultivo. El volumen ocupado por el sustrato se va reduciendo, principalmente a consecuencia de la compresión que experimenta tras el riego. La cantidad de fase sólida tiende a disminuir, a consecuencia de la descomposición de la materia orgánica y la pérdida de partículas finas por arrastre con el agua de riego. Tras el riego y drenaje el volumen de agua retenida es

evoluciona el reparto de ambas fases a lo largo del ciclo de cultivo. En todos los métodos de medida se toma como estado inicial de referencia el de saturación, en el que todos los poros del sustrato se encuentran ocupados por agua. Aplicando diferentes succiones crecientes se va extrayendo el agua del sustrato, análogamente a como lo hace la planta. Midiendo a cada succión aplicada los porcentajes en volumen ocupados por aire y agua, puede construirse la curva de desorción o de liberación de agua (figura 1). Esta permite conocer, además de la aireación, las proporciones en que el agua se encuentra retenida por el sustrato en diferentes grados de disponibilidad: fácilmente disponible, agua de reserva, etc.

La medida de la curva de desorción completa, bien

Figura 1:
Curva de desorción de un sustrato

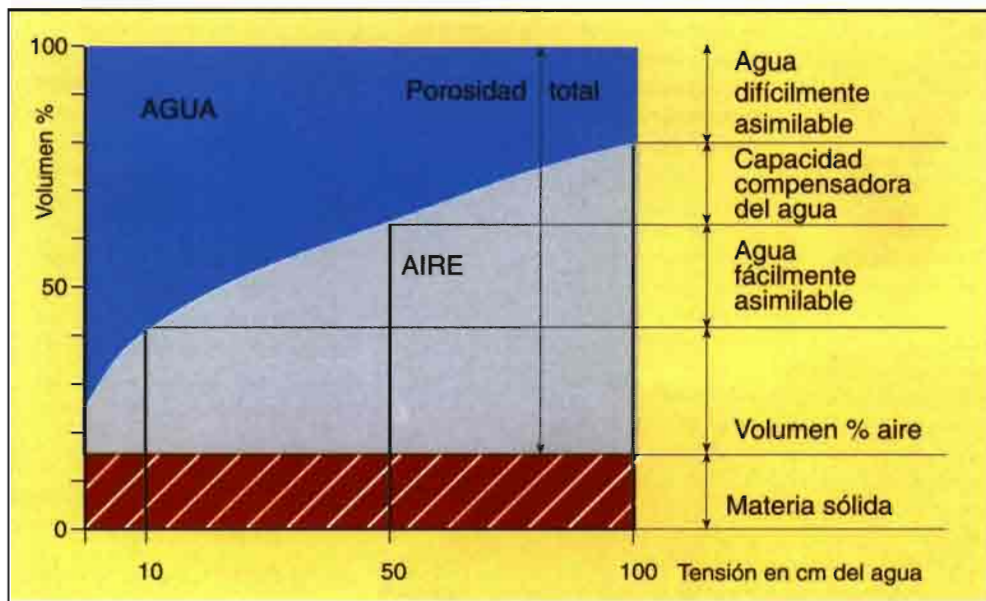


Figura 2:
Saturación del sustrato por el método ADAS

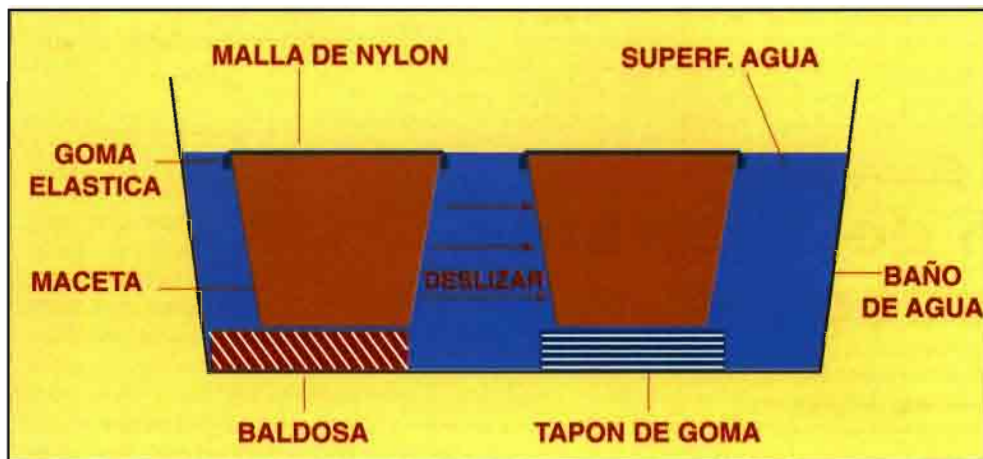
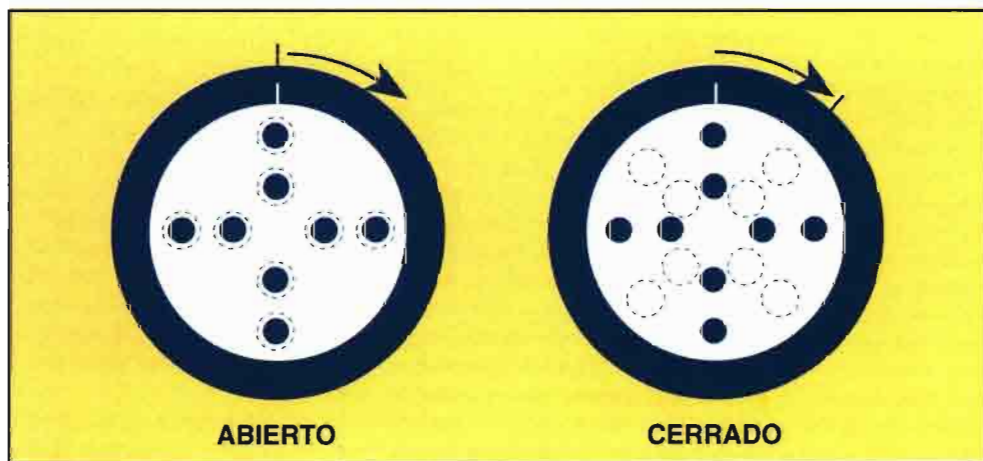


Figura 3:
Sistema de apertura y cierre del cilindro de medida



en lechos de arena o en embudos de placa filtrante, es un proceso largo y complejo, muy laborioso y, en consecuencia, costoso, que no suele estar al alcance de los productores. Por esta razón, con fines prácticos se han propuesto diferentes variantes de métodos simplificados, que tratan de reproducir de forma sencilla las condiciones de cultivo en contenedor.

Método ADAS

En el método desarrollado por el Servicio de Asesoramiento y Desarrollo Agrícola inglés ADAS (Bragg y Chambers, 1988), el sustrato contenido en una maceta de 1 litro se satura desde abajo a través de los orificios de la base de la maceta, que se sumerge en un recipiente con agua. A continuación se extrae la maceta del baño con precaución (figura 2) y se deja que drene libremente el líquido en

Diferentes normas y autores de prestigio han adoptado el empleo de métodos de saturación y drenaje, como alternativa a los más sofisticados métodos de laboratorio.

exceso que el sustrato no puede retener. Después de tres ciclos de humectación y drenaje se alcanzan, tras la saturación, las condiciones de capacidad de contenedor. En estas condiciones, la simple medida en una probeta del volumen de agua drenada, que pasa a estar ocupado por aire, permite determinar la porosidad de aire del sustrato. Secando el sustrato húmedo en una estufa, puede determinarse la cantidad de agua evaporada y el peso seco de sustrato, y calcularse la retención de agua por gramo de sustrato seco.

En la Tabla 1 se dan las normas de interpretación de los valores de porosidad de aire (p_a) obtenidos por este procedimien-

Cuadro 1:
Relación entre valores de p_a y manejo del sustrato

Indice	p_a	Adaptabilidad	Condiciones
0	7	Plantas de ciclo corto en maceta y planta de temporada	Regar cuidadosamente (manta de riego), especialmente en condiciones de baja transparencia
1	7-10%	Plantas de vivero en contenedores grandes. Plantas de hoja decorativa y de maceta. Plantas de temporada.	Camas de arena drenada para pasar el invierno. Manejo del riego cuidadoso.
2	10 -15%	Plantas decorativas de hoja y de maceta, plantas de temporada y plantas de vivero (macetas pequeñas y medianas).	El manejo del riego es menos importante, ya que el sustrato drena fácilmente.
3	15 -25%	Plantas de hoja decorativa y de maceta (pequeñas). Plantas de vivero de ciclo largo y azaleas y orquídeas.	Se requiere riego frecuente.

Fuente: Bragg y Chambers (1988)

to. Tanto el método como las normas de interpretación se han venido utilizando satisfactoriamente en el Reino Unido con fines de asesoramiento, para conocer las propiedades de aireación de las turbas y las mezclas con aditivos orgánicos y minerales habitualmente empleadas como sustratos.

Norma inglesa

A fin de evitar los inconvenientes asociados a la manipulación de las macetas durante el proceso de saturación del sustrato, en Irlanda se desarrolló una modificación del procedimiento original (Byrne y Carty, 1989), consistente en sustituir la maceta por un cilindro de material plástico, cuya base consta de dos discos concéntricos perforados, con ocho orificios cada uno. Mediante giro pueden alinearse los orificios de ambos discos, de tal forma que el agua pasa al interior por debajo en los ciclos de saturación y sale durante el drenaje; entre ambas fases, se giran los discos, con lo que se consigue un cierre hermético (figura 3).

En principio, cabría esperar que este método proporcionase valores inferiores de p_a que el original de las macetas, ya que tras el drenaje la retención de agua por el sustrato es mayor en el cilindro que en la maceta de igual volumen, cuya base presenta menor superficie (figura 4). Para comprobar la validez de la modificación propuesta, se determinaron en un conjunto de mues-

Cuadro 2:
Comparación de valores de p_a obtenidos por el método original y la modificación propuesta

Muestra	ADAS original	Modificado
1	12,8	113,6
2	18,3	13,7
3	11,9	9,2
4	17,5	20,6

Fuente: Byrne y Carty (1989)

tras los valores de la porosidad de aire, mediante la maceta original y el cilindro, obteniéndose resultados aparentemente satisfactorios (Tabla 2). También se ensayaron por este método otros derivados de la turba, tanto fibrosos como particulados, obteniéndose igualmente resultados consistentes. Por todo ello, el método fue finalmente adoptado en la Norma inglesa BS 4156 (1990), con ligeras modificaciones en los criterios de interpretación de resultados (Tabla 3).

La trascendencia de disponer de un procedimiento sencillo y práctico para caracterizar

las propiedades de aireación de los sustratos queda reflejada en el hecho de que diferentes Normas (australianas, irlandesas, etc.) y autores de prestigio (Handreck y Black, 1991) hayan adoptado el empleo de métodos de saturación y drenaje, como alternativa a los más sofisticados métodos de laboratorio.

Ventajas

Durante los últimos cinco años hemos venido utilizando en nuestro laboratorio, para el asesoramiento de rutina a los productores, el método descrito en la Norma inglesa. Este fue seleccionado, entre otras razones, por sus ventajas de:

- economía, ya que el equipo puede obtenerse a bajo precio en nuestro país, y el consumo de reactivos y material auxiliar es nulo, con un mínimo coste de mano de obra;

- rapidez, pues permite disponer del valor de la porosidad de aire del sustrato en 24 horas. Si se desea conocer la retención de agua, son necesarias otras 24 horas de secado en estufa;

- versatilidad, ya que además de poder determinarse los ci-

**Recientemente hemos
iniciado un proyecto,
cuyos resultados iniciales
parecen indicar que
la saturación del sustrato
podría conseguirse de
manera sencilla y rápida
tras desalojar el aire
por aplicación de vacío.**



En la fotografía superior, llenado del cilindro de medida. Debajo, saturación del sustrato y por último, drenaje.

tados parámetros en sustratos de composición muy variada, el mismo cilindro sirve para la medida de la densidad aparente. Este dato presenta por sí mismo interés para los productores que compran sustrato a granel por volumen y sirve, además, para el cálculo de la porosidad total y para la prepa-

ración del extracto acuoso, previa a las determinaciones químicas.

- sencillez de interpretación, que puede ser efectuada por el propio productor en base a los datos de la Tabla 3.

Inconvenientes

Sin embargo, junto a estas importantes ventajas, hemos venido observando que el método no está exento de graves limitaciones.

En apariencia, predice razonablemente, en términos comparativos, la capacidad de aireación de distintas turbas y de componentes «abridores», como perlita, corteza de pino y fibra de coco (Gojenola y Ansorena, 1994). Pero también se aprecia que los valores de la porosidad de aire que resultan en turbas rubias y negras de diferentes grados de descomposi-

Se toma como estado inicial de referencia el de saturación, en el que todos los poros del sustrato se encuentran ocupados por agua.

ción son sistemáticamente bajos, generalmente inferiores al 10%, por lo que no se corresponden con los datos de la Tabla 3.

Dada la sencillez de la medida volumétrica del agua de drenaje, parece lógico orientar el estudio de las posibles causas de error hacia la incompleta saturación del sustrato. De hecho, al final de esta fase suele observarse en ocasiones, a simple vista, la presencia de burbujas de aire adheridas a las paredes del cilindro, lo que indica que la humectación no ha sido completa. Esto explicaría los bajos volúmenes recogidos de agua de drenaje: como la humectación se produce por capilaridad desde abajo hacia arriba, la saturación de los poros más pequeños es completa, por lo que la medida de la retención de agua no

está afectada de error. Sin embargo, algunos de los poros más grandes, que alojarían el agua que drena más fácilmente, no llegan a saturarse. En consecuencia, los volúmenes de agua recogidos en el drenaje son inferiores a los que se obtendrían saturando completamente el sustrato, resultando valores bajos de la porosidad de aire.

Modificación del método

Diferentes estudios realizados durante los últimos cinco años confirman la imposibilidad de conseguir el completo desplazamiento del aire por el método de saturación establecido en la Norma inglesa. En estudios comparativos (Waller y col., 1993), se ha llegado a la conclusión de que los distintos

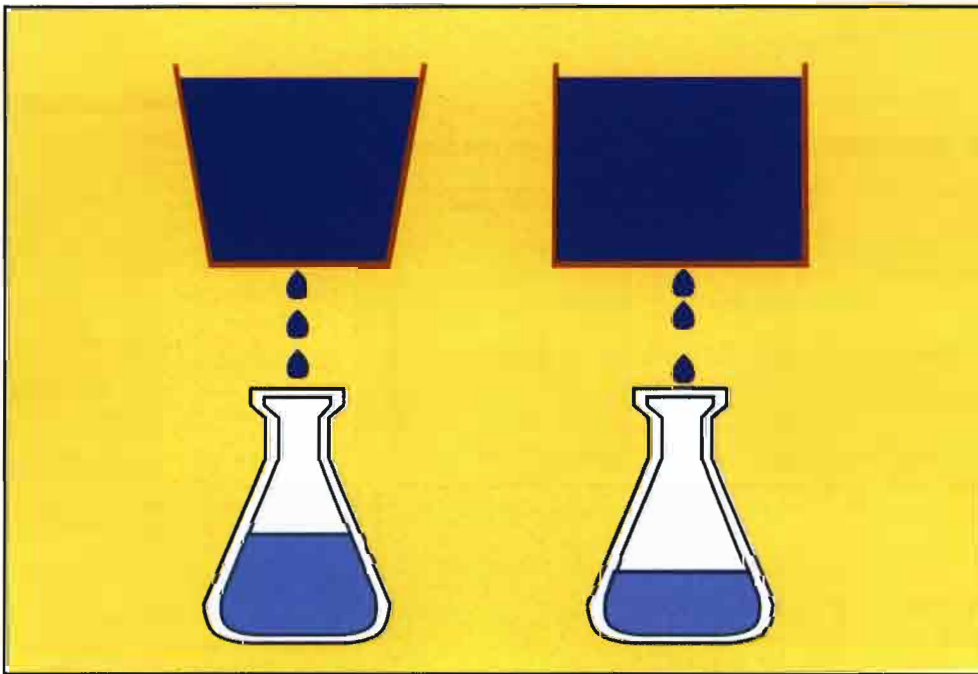
métodos de saturación y drenaje empleados en el Reino Unido subestiman los valores de porosidad de aire de la turba, y el error aumenta en presencia de materiales hidrófobos, incluso empleando agentes humectantes.

Para superar estos inconvenientes, se ha elaborado recientemente una propuesta de modificación de la Norma inglesa (Waller, comunicación personal), según la cual la porosidad de aire no se determina a partir del volumen de agua de drenaje, sino mediante cálculo, a través de la ecuación:

$$pa (\%) = 96,7 - (100 \times PH - 61,9 \times PS)/V$$

en la que PH y PS son, respectivamente, los pesos húmedo y seco (en gramos) del sustrato contenido en el cilindro tras la saturación y drenaje y V el volumen del ci-

Figura 4:
Variación de la capacidad de contenedor del sustrato con la forma del recipiente.



lindro (en mililitros). Los mismos datos permiten calcular igualmente, a través de otras sencillas ecuaciones, la porosidad total y la retención de agua, expresados en porcentaje de volumen (Waller y Harrison, 1991).

Esta sencilla alternativa proporciona valores de pa entre dos y cuatro veces superiores a los que se obtienen midiendo el volumen de agua de drenaje, siendo además las cifras resultantes más sensibles a la presencia de aditivos absorbentes y repelentes de agua (Tabla 4).

La ecuación anterior fue obtenida por análisis de regresión múltiple aplicado a un elevado número de muestras de sustratos, con un grado de correlación excelente: $n=256$;

$r=0,995$. Sorprendentemente los datos de sustratos tipo John Innes, con proporciones importantes de suelo, arena y otros ingredientes minerales habituales en el Reino Unido, se ajustan muy bien a la recta de regresión (Waller y Harrison, 1986), por lo que la ecuación puede considerarse válida para todo tipo de sustratos (excepto los que poseen porcentajes importantes de porosidad ocluida o cerrada).

Importancia de la saturación

El empleo de una ecuación empírica como la propuesta puede proporcionar resultados razonablemente fiables, aunque en la práctica se mantiene un cierto grado de incertidumbre cuando se aplica indiscriminadamente a muestras de diver-

sa naturaleza, de las que se desconoce el grado de ajuste a las correlaciones establecidas.

Todas estas consideraciones ponen de manifiesto la urgente necesidad de disponer de un procedimiento que garantice la saturación del sustrato en unas condiciones aceptables, tanto en términos de mano de obra como de equipamiento necesario.

En este sentido, resulta ilustrativo el procedimiento de saturación descrito en el método de referencia de la Sociedad Internacional de Ciencias Hortícolas (Gabriels y Verdonck, 1991). Además de que se requiere el empleo de lechos de succión de arena, también resulta extremadamente tedioso, ya que se necesita casi una semana

Con fines prácticos se han propuesto diferentes variantes de métodos simplificados, que tratan de reproducir de forma sencilla las condiciones de cultivo en contenedor.

Cuadro 3:
Valores adecuados de la porosidad de aire para sustratos de turba en contenedor.

P _a	Adecuación	Comentarios
5 a 11	Crecimiento de corta duración, como plantas de temporada en alveólo y sustratos de semillero.	Es necesario tener precaución para evitar el sobrerriego.
9 a 16	La mayoría de las plantas crecen bien este intervalo.	Condiciones más fáciles para el del riego.
14 a 21	Plantas de vivero. Plantas de exterior decorativas de ciclo largo.	Se requiere riego frecuente y drenaje rápido.
19 a 26	Azalea, orquídea, plantas decorativas.	Puede ser necesario un riego continuo.
24 a 30	Turba fibrosa, posible empleo para	Ninguno.

Fuente: BS 4156:1990.

Cuadro 4:
Variación de la porosidad de aire con el método de medida.

Muestra	BS4156: 1990 (drenaje)	BS4156: 1990 (cálculo)	ADAS original
Turba de esfagno	5,8	9,6	11,8
Turba +absorbente:			
5%	4,7	9,8	11,6
15%	3,9	9,4	12,5
25%	3,6	8,6	12,0
Turba + repelente:			
5%	4,7	10,9	13,7
15%	5,2	15,2	13,4
25%	4,7	18,0	13,3

Fuente: Waller, Bragg y Rodgers (1993).

para completar la saturación de dos sustratos (si se dispone de tres lechos).

El objetivo de la saturación consiste en conseguir, de una forma eficiente y sin alterar la estructura del sustrato, el desalojo del aire de los poros y su sustitución por agua.

Sucede que el problema se agudiza en aquellas turbas que se han secado y otros materiales

hidrófobos habitualmente presentes en los sustratos.

El Servicio de Investigación y Mejora Agraria del Gobierno Vasco viene trabajando durante los últimos años en el desarrollo de diferentes técnicas de saturación de sustratos (ebullición, vacío, etc), que también afectan a la determinación precisa de la densidad real o de partícula.

Recientemente hemos iniciado un Proyecto conjunto, cuyos resultados iniciales parecen indicar que la saturación del sustrato podría conseguirse de una manera sencilla y rápida después de desalojar el aire por aplicación de vacío.

**Se ha llegado
a la conclusión
de que los distintos
métodos de saturación
y drenaje
subestiman los valores
de porosidad
de aire de la turba.**

Javier Ansorena Miner
Laboratorio Agrario Departamento de
Agricultura y Medio Ambiente Diputación
Foral de Gipuzkoa

BIBLIOGRAFIA

Bragg, N.C., Chambers, B.J. (1988). Interpretation and advisory applications of compost air-filled porosity (AFP) measurements. *Acta Hortic.*, 221:35-44.

BS4156:1990. Recommendations for peat for horticultural and landscape use. British Standards Institution, London.

Byrne, P.J., Carty, B. (1989). Developments in the measurement of air-filled porosity of peat substrates. *Acta Hortic.*, 238:37-44.

Gabriëls, R., Verdonck, O. (1991). Physical and Chemical Characterization of Plant Substrates: towards a European Standardization. *Acta Hortic.*, 294:249-259.

Gojenola, A., Ansorena, J. (1994). Calidad de los sustratos comerciales. *Horticultura*, 98:13-20.

Handreck, K., Black, N. (1991). Growing media for ornamental plants & turf. New South Wales University Press.

Waller, P.L., Harrison, A.M. (1986). A rapid method for the assessment of air-filled porosity and its relationship with other methods. *Acta Hortic.*, 178:107-114.

Waller, P.L., Harrison, A.M. (1991). Estimation of pore space and the calculation of air volume in horticultural substrates. *Acta Hortic.*, 294:29-39.

Waller, P.L., Bragg, N.C., Rodgers, S.K. (1993). An evaluation of various UK methods for estimating porosity with specific reference to peat:Capogro wool mixtures. *Acta Hortic.*, 342:183-190.