

RELACIONES AGUA-AIRE EN SUSTRATOS DE CULTIVO

TERÉS, V., ARTETXE, A. y BEUNZA, A. I.

Servicio de Investigación y Mejora Agraria (SIMA).
Berreaga, 1.
48016 DERIO (BIZKAIA).

Introducción

La intensificación de los cultivos es una de las vías empleadas para aumentar la rentabilidad de las explotaciones agrarias. Así, mediante esta técnica se pueden conseguir cultivos fuera de época y con mayor precocidad, un aumento de producción, productos de mejor calidad, etc.

La intensificación de los cultivos se consigue mediante el control de los factores que afectan a la producción. Estos factores o parámetros de producción se pueden dividir en:

- Parámetros medio-ambientales
- Parámetros del entorno radicular.

Factores de producción y su control

Para el control de parámetros medio-ambientales existe un amplio abanico de posibilidades, pudiendo mantener éstos en un intervalo muy estrecho. Este control se puede conseguir mediante estructuras de protección de cultivos, que van desde estructuras sencillas de láminas de plástico hasta los invernaderos de cristal en los cuales se puede alcanzar un control más riguroso.

El control de los parámetros del entorno radicular se logra en cultivo en suelo, mediante el riego por goteo y la fertirrigación. La utilización de sustratos de cultivo en contenedor de volumen limitado permite un control de los parámetros del entorno radicular muy superior al conseguido en cultivo en suelo.

Sustratos de cultivo

El objetivo que se persigue con el cultivo en sustratos es el control del entorno radicular. La limitación de volumen del sistema radicular que se da en este tipo de cultivos proporciona una posibilidad de control mucho mayor que las que se dan en suelo donde el volumen explorado por las raíces es considerablemente mayor. Por otra parte, esta limitación de volumen disminuye de manera drástica la capacidad tampón que se tiene en cultivo en suelo, por lo que un fallo en los sistemas de control puede acarrear consecuencias graves para el desarrollo del cultivo.

Factores que afectan al sistema radicular y su control.

Los factores que afectan al entorno radicular se pueden clasificar en parámetros químicos, físico-químicos, biológicos y físicos.

Los parámetros químicos y físico-químicos están relacionados con la cantidad de nutrientes presentes en el entorno radicular y su disponibilidad para la planta.

Los factores biológicos que afectan al sistema radicular son los debidos a los agentes biológicos existentes en el medio que pueden interferir en el desarrollo del cultivo.

Los parámetros de carácter físico inciden en la disponibilidad de aire y agua (ambos fundamentales para el desarrollo de la planta) en el entorno radicular.

Control de los parámetros físicos.

Mediante el control de los parámetros físicos se pretende mantener la relación aire/agua en el entorno radicular dentro de unos límites prefijados tales que proporcionen a la planta en cada momento la cantidad adecuada de cada uno de estos elementos para su óptimo desarrollo.

Las curvas de retención de agua (figuras 2 y 3) expresan la relación entre el porcentaje de agua y el potencial matricial (Ψ_m) ó tensión (t) ($\Psi_m = -t$). La disponibilidad de aire se puede estudiar a partir de dicha curva y la disponibilidad del agua viene determinada tanto por esta curva como por la conductividad hidráulica, que a su vez está relacionada con la curva de retención de agua.

El control de los parámetros físicos del medio radicular se consigue mediante un adecuado manejo del riego. En cultivo en suelo los instrumentos de medida de humedad de éste, tales como tensiómetros, métodos térmicos, nucleares, etc., facilitan el control de estos parámetros. La aplicación de riegos de alta frecuencia proporciona un alto grado de control de los mismos.

La utilización de sustratos en contenedores supone un salto cualitativo en lo que se refiere a control de los parámetros del entorno radicular debido a que el volumen en el que se desarrolla el sistema radicular es mucho más reducido y de propiedades conocidas.

En el volumen del contenedor se le debe suministrar a la planta tanto nutrientes y agua para la planta como aire para el correcto funcionamiento del sistema radicular. La utilización de materiales con elevada porosidad (sustratos) permite aumentar el volumen ocupado por aire y agua de tal forma que se le suministra a la planta las cantidades necesarias para su desarrollo.

El uso de contenedores en un cultivo modifica la relación existente entre sistema radicular y medio. Existen principalmente tres factores que inciden en esta relación:

- Restricción del volumen de riego que rodea al sistema radicular.
- Modificación de los criterios de riego.
- Alteración del drenaje.

Mediante el cultivo con sustratos en contenedor se consigue una mayor sanidad inicial en el sustrato, una mayor capacidad de aireación del sistema radicular, mayor control nutritivo de la planta y mayor control de riego. El uso de contenedores para el cultivo implica importantes consecuencias:

-Obtención de altos rendimientos

-Mayor aporte proporcional de asimilados a la parte aérea respecto de la radicular. Se ha observado que el porcentaje de peso en la raíz supone alrededor de un 10 % del total cuando en cultivo en suelo representa aproximadamente un 50 % del peso total (Rozas *et al.* 1994).

El uso de suelos en un contenedor no reportaría las ventajas del empleo de sustratos debido a razones de tipo físico. Los suelos tienen una porosidad menor que los sustratos, por lo que en un contenedor con limitación de volumen disminuye la cantidad de aire y agua disponibles para la planta. Además la utilización de suelos, con diámetros de poros pequeños, en contenedores de poca profundidad no crea las condiciones suficientes para provocar el drenaje (Bunt, 1988).

Un inconveniente de la utilización de sustratos como medio de cultivo en lugar de suelos es la pérdida de la capacidad tampón. Así, en cultivos en contenedor y sobre todo cuando se trabaja con sustratos inertes es necesario aportar a las plantas todas sus necesidades de forma correcta porque cualquier fallo tendría graves consecuencias.

El diferente comportamiento de un cultivo en sustrato respecto al del suelo, es debido, además de a la limitación de espacio del contenedor, a la diferente porosidad de los sustratos.

Porosidad en sustratos.

Existen grandes diferencias entre la porosidad de un suelo y la de un sustrato. Estas diferencias son tanto en cuanto al valor de la porosidad total como a la distribución de los tamaños de poros.

Porosidad total.

La porosidad normal de un sustrato es de alrededor del 85-95 % del volumen total de éste, mientras que en suelos supone aproximadamente un 50 %.

La porosidad total de los sustrato puede clasificarse en dos tipos:

- Porosidad interparticular que también está presente en suelos y está formada por los huecos existentes entre partículas. Depende de la forma de las partículas y del tipo de empaquetamiento. El porcentaje de porosidad interparticular respecto al volumen total en un sustrato es previsible que sea similar al de la porosidad en suelos.

Así, Orozco (1995) compara la granulometría de suelos y sustratos (figura 1) basándose en los conceptos definidos por Shirazi y Boersma (1984) que describen los suelos en base a la media geométrica del diámetro de las partículas (dg) y a la desviación estándar geométrica (σg).

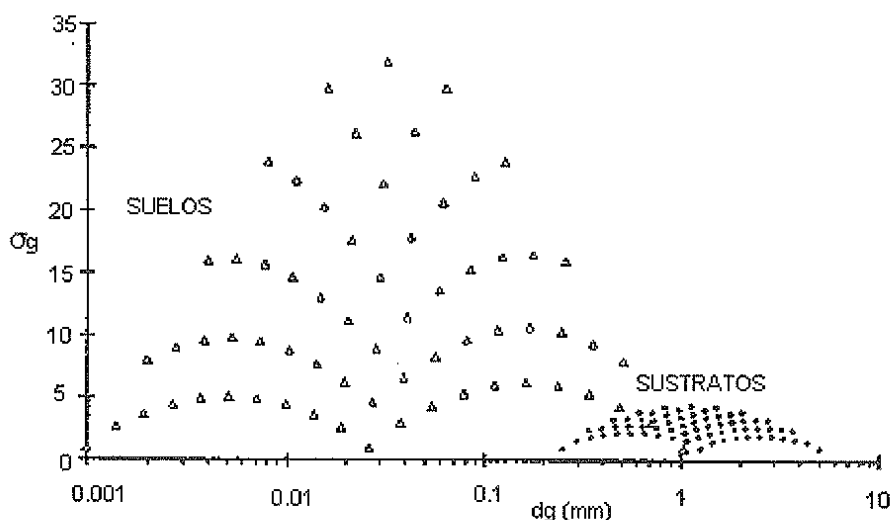


Figura 1.- Posición relativa del diagrama propuesto de composición granulométrica de sustratos en comparación con el diagrama de textura de suelos. Fuente: Orozco , R. 1995. (dg = media geométrica del diámetro de las partículas; σg = desviación estándar geométrica).

- Porosidad intraparticular, no presente en suelos, y que está formada por poros internos de las partículas que pueden estar o no, comunicados con el exterior. Se supone que representa las diferencias entre la porosidad total de suelos y sustratos. Este tipo de porosidad depende más del proceso de formación de cada sustrato que de la forma, tamaño o empaquetamiento de sus partículas.

La existencia de esta porosidad intraparticular hace que no exista una buena correlación entre diámetros de partículas de un sustrato y la porosidad de éste como ocurre en suelos. Esta correlación puede existir entre porosidad interparticular y granulometría.

Distribución de los tamaños de poros. Curvas de retención de agua

En la figuras 2 y 3 se representan las curvas de retención de agua correspondientes a un suelo y un sustrato.

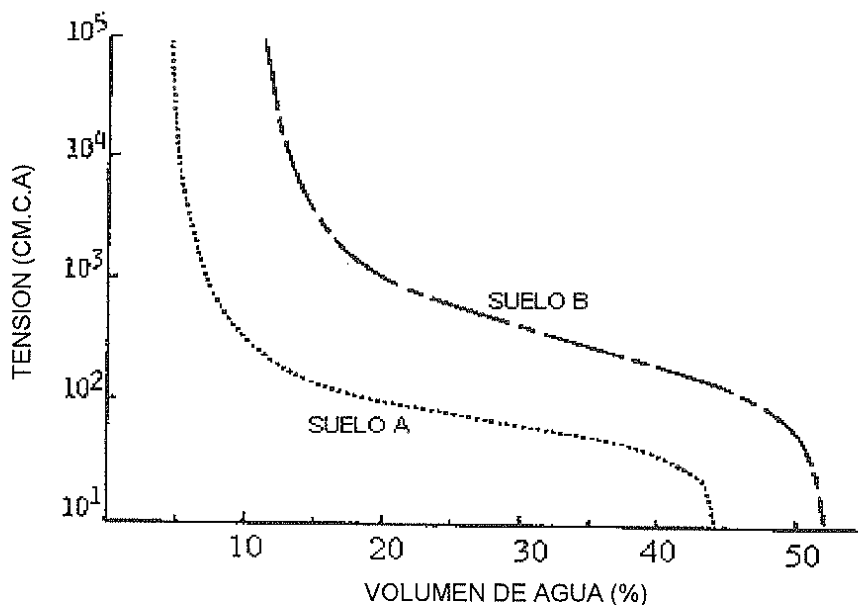


Figura 2.- Curva de retención de agua de dos suelos. Fuente: Hillel, D. 1980.

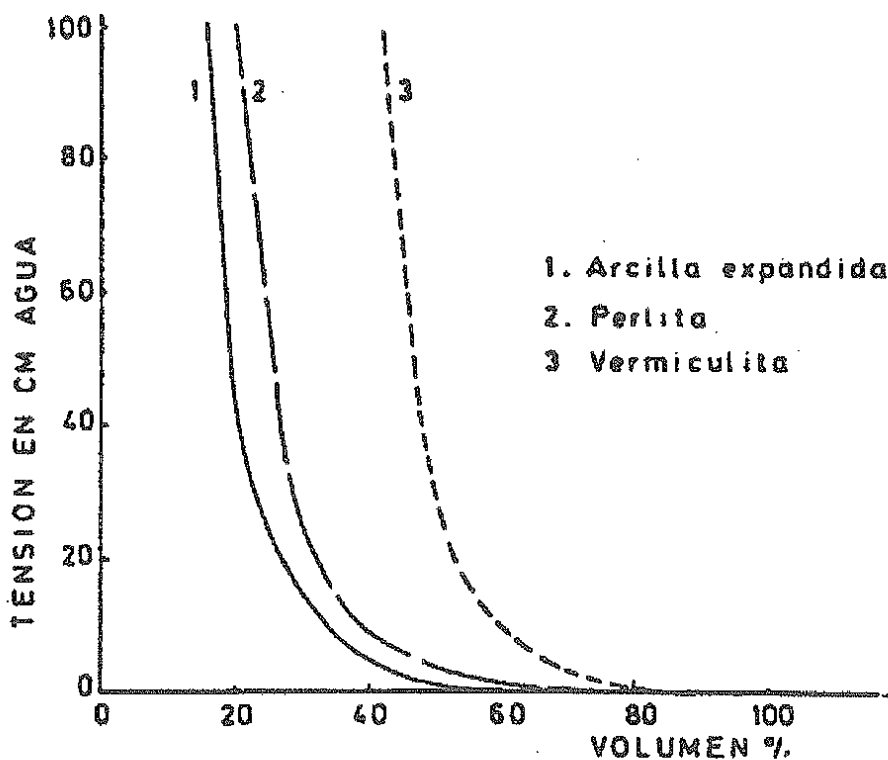


Figura 3.- Curvas de retención de agua de sustratos inertes. Fuente: Felipó et al., 1977.

Como se puede observar en las curvas de retención los gradientes de humedad en las zonas habituales de trabajo ($\Psi_m < 100$ cca para sustratos y $\Psi_m > 330$ cca en suelos) son mucho más fuertes en sustratos que en suelos. En el caso de sustratos, una diferencia en el potencial matricial de 10 a 20 cca supone una variación muy importante en los porcentajes de

agua/ aire. Estas diferencias son las que se encuentran en una maceta o contenedor de esa altura. En el caso de suelos la variación del potencial matricial de 20 a 30 cca (zona de la capa arable) no supone una alteración apreciable en el reparto agua/ aire.

La curva de retención de agua refleja el perfil hídrico que se da en un contenedor en un momento dado. Cuando el cultivo se riega y se deja drenar libremente la tensión en la base de la maceta es prácticamente cero, y la tensión en cada uno de los puntos de la maceta es igual a la altura del punto sobre la base de la maceta (figura 4a).

Una disminución del contenido hídrico del sustrato se corresponde con un aumento de la tensión. Una vez alcanzado el equilibrio en un contenedor la diferencia de tensión entre dos puntos de dicho contenedor es igual a la diferencia de alturas. El reparto de agua/aire del contenedor en este caso puede obtenerse colocando éste a la altura correspondiente a su tensión (figura 4b).

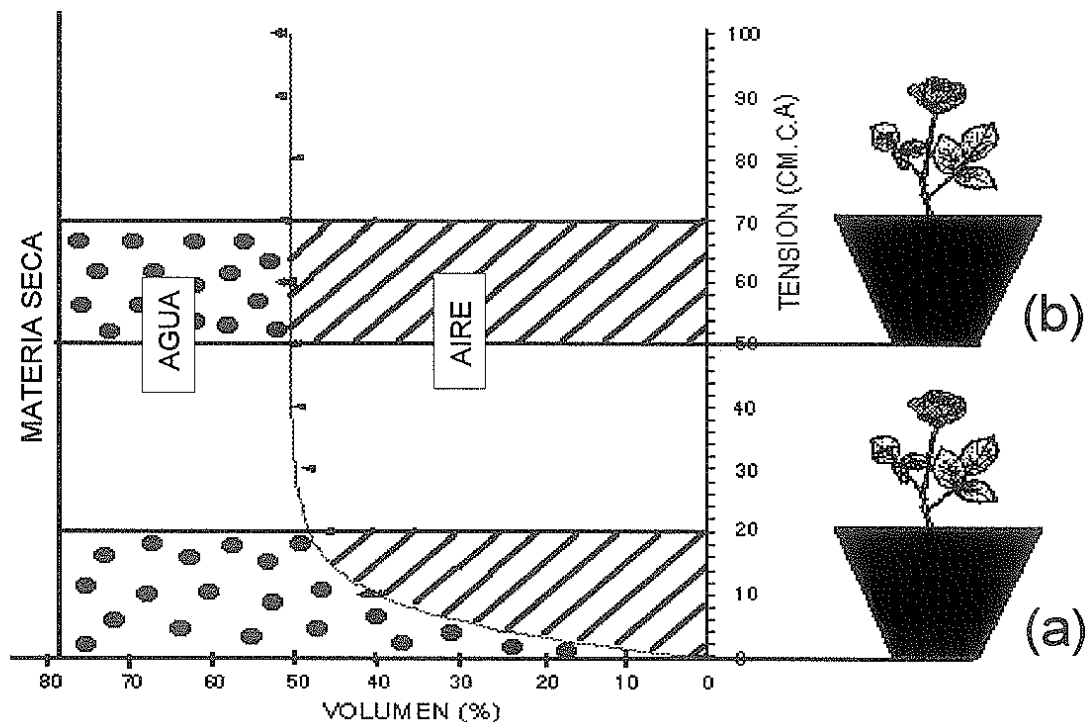


Figura 4.- Perfil hídrico del contenedor:

a) Con una tensión en la base de la maceta de 0 cm.c.a.

b) Con una tensión en la base de la maceta de -50 cm.c.a.

Las curvas de retención de agua de los sustratos presentan una mayor pendiente en la zona cercana a saturación por lo que pequeñas variaciones en altura de la maceta se corresponden con grandes alteraciones de la cantidad de agua y aire. Este hecho afecta en gran medida a los cultivos en contenedor ya que se suelen encontrar en

condiciones cercanas a saturación con el fin de que la planta tenga en todo momento el agua necesaria para su desarrollo.

La tensión necesaria para extraer el agua de un poro está relacionada con el diámetro del mismo de manera que es mayor cuanto menor sea el diámetro. De esta forma deducimos que la curva de retención de agua nos proporciona además, la distribución de la porosidad total en los distintos diámetros de poro. Por tanto, observando la curva de retención de sustratos se deduce que existe un alto porcentaje de poros de diámetro grande ($\phi > 300 \mu\text{m}$). Esta distribución de tamaños de poro influye, además de en la curva de retención, en la conductividad hidráulica. (Orozco, 1995).

La conductividad hidráulica de un sustrato influye por un lado en la capacidad para aportar agua a las raíces y por otro en la rapidez con la que se produce el drenaje del agua de riego facilitando la respiración de las raíces.

Trabajos en curso

Las diferencias entre suelos y sustratos tienen como consecuencia una diferencia en la información deseada en el estudio de las propiedades físicas en uno y otro caso.

Se han desarrollado diversas técnicas de caracterización física de sustratos basadas en los métodos usados en edafología (De Boodt *et al.*, 1974). Estas técnicas permiten el estudio de características o parámetros interesantes para el cultivo en suelo pero que pueden no coincidir con las características que se desean estudiar en sustratos. Las mayores dificultades al aplicar las técnicas derivadas de las de suelos se han producido en el cálculo del volumen ocupado por aire.

La dificultad de medir directamente el volumen ocupado por aire hace que sea necesario medirlo indirectamente. La mayoría de las metodologías descritas obtienen este valor como la diferencia entre el volumen total y la suma de los volúmenes ocupados por el material sólido y el agua. Este procedimiento conlleva que los errores cometidos en las medidas de los volúmenes parciales se acumulan y reflejan en el volumen de aire. En algunos casos puede obtenerse incluso valores negativos para el volumen de aire (Arrieta *et al.*, 1992).

$$V_{ai} = V_T - V_a - V_{ms}$$

V_{ai} : Volumen de aire
 V_T : Volumen total
 V_a : Volumen de agua
 V_{ms} : Volumen del material sólido

La bondad de una medida se evalúa según su precisión y exactitud. La precisión de una medida se obtiene a partir de los valores de las distintas repeticiones. Sin embargo la no disponibilidad de un patrón nos impide conocer el valor de la exactitud que se determina por la diferencia entre el valor medido y el exacto.

El objetivo que perseguimos es desarrollar un método de medida que informe tanto de la precisión como de la exactitud de las medidas realizadas. La precisión se consigue, al igual que en las metodologías existentes, mediante las correspondientes repeticiones. Para conocer la exactitud se utilizan valores relativos conocidos.

La suma de los volúmenes ocupados por el material sólido (V_{ms}), el agua (V_a) y el aire (V_{aj}) debe ser igual al volumen total de la muestra (V_T). La diferencia entre estos dos términos de la igualdad nos proporciona el error de exactitud global del método (ϵ).

El proceso de cálculo del volumen de aire mediante las metodologías utilizadas hasta ahora hace que esta diferencia sea siempre cero, produciéndose una ocultación de los errores cometidos. Con las nuevas metodologías que estamos desarrollando se calculan cada uno de estos volúmenes de forma independiente.

Metodologías aplicadas

Se han ido analizando y comparando los diferentes métodos usados para cada una de las fases que se siguen:

- Altura de la muestra considerada
- Saturación de la muestra
- Tensionado
- Medidas de volúmenes

Altura de la muestra considerada

Debido a los altos gradientes de humedad existentes en sustratos el valor medio de humedad de una muestra está fuertemente influenciado por el espesor de ésta. Por lo tanto es importante trabajar con muestras de un espesor determinado. Este problema se resuelve utilizando anillos cilíndricos dobles según el método de referencia descrito por Gabriëls y Verdonck (1991).

Saturación de la muestra

El grado de saturación de la muestra depende del método empleado. Esto es debido a que en los sustratos se pueden encontrar poros cerrados (porosidad intraparticular) o poros abiertos de muy reducido tamaño que limitan la accesibilidad del agua.

Los métodos de saturación que se han aplicado son los siguientes:

- **Inmersión:** La muestra se sumerge en agua durante 24 horas. Este método se ha aplicado habitualmente en las diferentes metodologías para la caracterización física (De Boodt *et al.*, 1974b; Gabriëls y Verdonck, 1991; Gabriëls *et al.*, 1991; Terés *et al.*, 1995).

- **Inmersión hirviendo:** La muestra se somete a ebullición durante 45 minutos (Terés *et al.*, 1995).

- **Saturación por vacío:** La muestra se somete a un determinado vacío a partir del cual se satura por succión del agua. (Heiskanen, 1992).

De la aplicación de los diferentes métodos se ha concluido que la accesibilidad conseguida con la saturación por ebullición durante 45 minutos es claramente mayor a la conseguida por inmersión durante 24 horas obteniéndose además una mayor repetibilidad de los resultados (Terés, 1995). Por otro lado, se ha visto que el grado de saturación mediante vacío depende del nivel de éste. Con un vacío cercano al cero absoluto los resultados son similares a los obtenidos mediante ebullición, con la ventaja de que es un método más rápido, por ello estamos estudiando la aplicación de este método a la saturación de sustratos de cultivo.

Tensionado

Para el proceso de tensionado de las muestras se han analizado dos métodos:

- Método de De Boodt *et al.* (1974b)
- Lecho de arena.

El empleo de método de De Boodt presenta una serie de problemas de manejo como son la rotura del embudo, de la placa porosa, pérdidas de tara por entrada de aire, etc. Por otro lado, mediante este método el control de pesos se realiza a partir de una alícuota de muestra la cual puede no ser representativa del sustrato debido a los altos gradientes de humedad existentes en éstos.

El lecho de arena como método de tensionado de muestras está descrito por Gabriëls y Verdonck, (1991). Su utilización tiene una serie de ventajas respecto al anterior. Así, las muestras están totalmente independizadas del lecho, lo cual facilita el control de los pesos. Hay que señalar que el mantenimiento del lecho de arena es bastante engorroso, pero este inconveniente está compensado por las ventajas que aporta.

Nuestro grupo de trabajo ha introducido una serie de modificaciones que consideramos hacen más fiable el tensionado con lecho de arena (Arechaga, 1994).

Medidas de volúmenes

La medida de cada volumen se realiza de diferente manera según el método empleado.

Volumen total

Tanto en la metodología de referencia como en el método desarrollado por el S.I.M.A el volumen total se mide directamente como el volumen interior del anillo utilizado en el tensionado de la muestra.

Volumen de material sólido

La medida del material sólido se obtiene a partir de la densidad real, pero los diferentes métodos usados para medir la densidad real proporcionan valores diferentes (Terés *et al.*, 1993).

De entre los distintos métodos que podemos utilizar para medir la densidad de sustratos destacan los siguientes:

- **Incineración:** (De Boodt *et al.*, 1974; Gabriëls, Verdonck, 1991). Por incineración de la muestra se obtiene la proporción en peso de materia orgánica y mineral. La densidad real de la mezcla se obtiene en función de las densidades reales de los componentes de ésta y de sus respectivas proporciones en peso.

Este método es sencillo y de fácil aplicación pero presenta el inconveniente de que pierde exactitud cuando aumenta la proporción de material mineral o cuando hay porosidad ocluida (cortezas, perlita, mezclas de materiales orgánicos y minerales, etc.).

-**Picnometría de líquido:** El volumen ocupado por la muestra se determina por aplicación del Principio de Arquímedes (Blake y Hartge, 1986). El peso del fluido desalojado se obtiene por diferencia entre el peso del fluido necesario para enrasar el picnómetro y el peso del fluido necesario para enrasar el picnómetro con la muestra del sustrato dentro.

La principal ventaja de este método es la exactitud y se considera normalmente como de referencia. La exigencia de evacuar el aire contenido en el sustrato, de forma individualizada para cada muestra, hace que el método sea tedioso y laborioso.

-**Método de inmersión:** Blake y Hartge (1986) describen un método para medir el volúmenes de muestras de suelos agrícolas por inmersión. Este método se basa igualmente en el Principio de Arquímedes, pero en este caso el empuje se obtiene directamente por la diferencia de peso dentro y fuera del agua u otro líquido.

El uso de la picnometría de agua como método para la medida de la densidad real exige un tratamiento individualizado de la muestras y por tanto muy laborioso. La alternativa que se plantea para sustratos es la incineración, pero como se ha visto, tiene limitaciones cuando existe porosidad ocluida. Por ello hemos desarrollado una metodología similar a la de inmersión descrita por Blake y Hartge (1986), para suelos agrícolas, y en la que tanto en el fundamento, como en el método de saturación es similar a la picnometría de agua.

El método de inmersión supone una ventaja importante sobre la picnometría, por la simplificación y agilización del proceso de medida de la densidad real de los sustratos. (Terés *et al.*, 1995).

-**Picnometría de gases:** En este método se dispone de una cámara de volumen conocido en la que se introduce la muestra problema. El volumen

de la cámara no ocupado por la muestra está ocupado por un gas, cuyo volumen se mide por aplicación de la ley de Boyle (Danielson, R.E. y Sutherland, P.L. 1986; Biolders *et al.*, 1990; Baver *et al.*, 1991). La diferencia entre el volumen de la cámara y el del gas proporciona el volumen ocupado por la muestra.

Su principal ventaja es la exactitud, cuando se aplica adecuadamente. Respecto a inconvenientes, por un lado es muy sensible a los cambios de temperatura y por otro, se puede presentar un fenómeno de adsorción de gas por parte de la muestra.

Volumen del agua

En general las distintas metodologías existentes obtienen el volumen ocupado por el agua por diferencia de peso entre sustrato seco y sustrato tensionado.

Volumen de aire

Como se ha comentado anteriormente, el volumen de aire se calcula en la mayoría de las metodologías, como diferencia entre el volumen total y la suma de volúmenes ocupados por material sólido y agua. Este procedimiento de cálculo conlleva la acumulación en el volumen ocupado por aire de los errores cometidos en las otras medidas (Terés y Arrieta, 1995)

Para solucionar este problema una metodología que se ha usado ha sido el cálculo de volúmenes aplicando el Principio de Arquímedes para muestras saturadas por inmersión en agua hirviendo. De esta forma se calcula tanto el volumen ocupado por el material sólido (sustrato seco) como del conjunto material sólido y agua (sustrato tensionado). Este método proporciona un valor del volumen de aire que no arrastra los errores de las medidas del volumen de material sólido y volumen de agua. Además este método permite la estimación de la exactitud global de las medidas, $\epsilon = V_T - (V_{ms} + V_{ag} + V_{aj})$, ocultándose solo el error cometido en la medida del volumen total de la muestra (Terés y Arrieta, 1994). Sin embargo la medida de volumen de aire en este caso no es totalmente independiente de la medida del volumen ocupado por el material sólido. Por este motivo nos interesa desarrollar otros métodos que nos proporcionen esta independencia.

La aplicación de la picnometría de gases para la evaluación conjunta del volumen de agua y el volumen de material sólido, proporciona una vía totalmente independiente de la anterior para el cálculo del volumen de aire.

La utilización de la picnometría de doble cámara soluciona el problema de la incidencia de las temperaturas en el proceso de medida. (Artetxe, 1995).

Por otra parte la aplicación de la picnometría de gases a sustratos tensionados (con un cierto contenido de humedad), elimina el problema de la adsorción de gases por parte de la muestra (Artetxe, 1995).

Se solucionan por tanto los problemas planteados más arriba para la medida de volúmenes por picnometría de gases.

Referencias

- ARECHAGA, L.M. (1994). Medida de la humedad en sustratos de cultivo. Trabajo Fin de Carrera de la ETSIA de la Universidad Pública de Navarra.
- ARRIETA, V. y TERÉS, V. (1992). Caracterización física de mezclas de sustratos a base de escoria cristalizada de horno alto, corteza de pino y turba. *Actas de horticultura*, 11: 77-82. SECH.
- ARTETXE, A. (1995). Diseño de picnómetro de gas para la medida de volúmenes en sustratos de cultivo. Trabajo Fin de Carrera de la ETSIA de la Universidad Pública de Navarra.
- BAVER L.D., GARDNER W.H. y GARDNER W.R., (1991). Cap. 5.- Estructura del suelo. Evaluación e importancia en la agricultura en *Física de suelos* Traducida por Rodríguez J.M. (Grupo Noriega Editores). Editorial Limusa SA.Mexico. Pags 189-242.
- BIELDERS, C.L.; De BACKER, L.W. y DELVAUX, B. (1990). Particle density of volcanic soils as measured with a gas pycnometer. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 54: 822-826
- BLAKE, G.R. y HARTGE, K.H. (1986). Particle density of soil analysis. Part I. Ed. A. Klute. American Society of Agronomy, Inc. Publiser. Madison, USA. Pag: 337-382
- BUNT, A.C. (1988). Chapter Three: Physical aspects in growing media for ornamental plants and turf. 2nd Edition. Publicado por Academic División for Unwin Hyman Ltd. Londres. Pag: 40-63. ISBN: 0-04-635016-0.
- DANIELSON, R.E. y SUTHERLAND, P.L. (1986). Porosity. En *Methods of soils analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. Edited by A. Klute. Agronomy N° 9. Part I.
- DE BOODT, M.; VERDONCK, O. y CAPPAERT, I. (1974b). Determination and study of water availability of subtrates of ornamental plant growing. *Acta Hortic.* 35:51-58.
- FELIPÓ ORIOL, M. T.; VERDONCK, O.; CAPPAERT, I. y DE BOODT, M. (1977?). Estudio de las propiedades físicas de los sustratos hortícolas. En: *Anales de Edafología y agrobilografía*. pp: 604-611.
- GABRIËLS, R; VAN KERISBULCK, W. y VERDONCK, O. (1991). Reference method for physical and chemical characterization of growing media: an internatinal comparative study. *Acta Horticulturae* 294: 147-160.
- GABRIËLS, R y VERDONCK, O. (1991). Physical and chemical caracterización of Plant Subtrates: towards a European Standarización. *Acta Horticulturae*, 294: 249-259.
- HEISKANEN, J. 1992. Comparison of the three methods for determining the particle density of soil with liquid pycnometers. *Comm. in Soil Science and Plant Analysis*. Vol 23 N° 7-8: 841-846.
- HILLEL, D. (1980). *Aplications of Soils Physics*. Academic Press, Inc. (London) Ltd. ISBN 0-12-348580-0.
- OROZCO, R. (1995). Propiedades físicas de perlitas utilizadas para cultivo sin suelo. Su implicación con la relación sustrato- agua- planta y con el riego de cultivos

hortícolas. Tesis presentada en l`Escola Tècnica Superior D`Enginyeria Agrària como aspirante al grado de Doctor Ingeniero Agrónomo. Dept. de Medi Ambient y Ciència del Sòl. Universitat de Lleida.

- ROZAS, M. y TERÉS, V. (1994). Ensayo de tamaños de contenedor para cultivo de *Cupressocyparis Leylandii*. 1993. Informe técnico N° 63: 95-106. Depto de Producción Vegetal. Resultados de Investigación 1994. Servicio central de publicaciones del Gobierno Vasco. ISBN: 84-457-0584-9.
- SHIRAZI, M. A. y BOERSMA, L. (1984). A unifying quantitative analysis of soil texture. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 48: 142-147.
- TERÉS, V. y ARRIETA, V. (1995). Metodología para la evaluación del volumen de aire en sustratos. Informe técnico nº63: 63-70. Depto de Producción Vegetal. Resultados de Investigación 1994. Servicio central de publicaciones del Gobierno Vasco. ISBN: 84-457-0584-9.
- TERÉS, V.; ARRIETA, V.; OLABARRÍA, I. y ESNAOLA, I. (1993). Comparación de métodos para la medida de la densidad real en corteza de pino de diferentes granulometrías. *Actas de horticultura*, 10:1152-1156.
- TERÉS, V.; ARRIETA, V.; SÁNCHEZ, J.; LUCAS, M. y RITTER, E. (1995). Evaluación de la densidad real de sustrato de cultivo por el método de inmersión. *Invest Agr: Prod. Prot: Veg.* 10 (2): 39-52.

