

DISPONIBILIDAD DE AGUA-AIRE EN SUSTRATOS PARA PLANTAS

LILIA BEATRIZ VENCE

Facultad de Agronomía-Universidad de Buenos Aires. Cátedra de Jardinería. Laboratorio de Sustratos. Habana 3870.
Tel. 4580-2825/2826. CP 1419. Ciudad de Buenos Aires. e-mail: vence@agro.uba.ar

Recibido: 07/05/08

Aceptado: 16/10/08

RESUMEN

Las propiedades físicas de los sustratos especialmente las relacionadas con la disponibilidad de agua-aire para las raíces de las plantas son las más importantes dentro del estudio de estos materiales usados en cultivos en contenedores. Para un óptimo crecimiento de la planta un sustrato debe contener suficiente cantidad de agua y aire y ambos estar disponibles. A nivel mundial el estudio de las propiedades que determinan esta disponibilidad comenzó desde las ciencias del suelo y fue adaptándose a las características propias de la amplia gama de productos que pueden ser utilizados, surgiendo así variables y métodos de medida específicos para la caracterización física de sustratos. En la Argentina el estudio de sustratos para plantas constituye un área de conocimiento nueva y en desarrollo, por ello exige un trabajo interdisciplinario donde hay que concordar un lenguaje común de términos técnicos, la elección de los métodos analíticos de referencia específicos y una legislación actualizada para sustratos. Haciendo un estudio crítico de la gran cantidad de información al respecto que proviene de otros países se podrán adaptar a nuestra realidad y a nuestros materiales. En esta revisión se enumeran resumidamente los más importantes conceptos a tener en cuenta para la evaluación física de sustratos a fin de que puedan servir de base para una mejor comprensión y discusión del tema.

Palabras clave. Propiedades físicas de sustratos, porosidad de aire, relación agua-aire, curva de liberación de agua, conductividad hidráulica no saturada.

WATER-AIR AVAILABILITY IN PLANT SUBSTRATES

ABSTRACT

The study of the physical properties of substrates for container plant production is very important because the water and air availability for plant roots is involved. A substrate must contain a sufficient amount of available water and air to produce an optimum plant growth and development. Worldwide, the study of the properties that determine the water and air availability started from soil sciences and has been evolving to the present existence of a great variety of products that can be used, concomitant with the identification of parameters and specific measurement methods for the physical characterization of the substrates. In Argentina, the study of plant substrates is a new area under development and it demands an interdisciplinary work that should agree with a common language of technical terms, the election of specific analytical methods of reference and an updated legislation for substrate materials. A critical assessment of the great amount of information provided by other countries could be adapted to our reality and our materials. In this review, we listed the most important concepts for the physical evaluation of the substrates as the foundation for a better understanding and discussion of the subject.

Key words. Physical properties of the substrates, air-filled porosity, water-air relationship, water release curve, non-saturated hydraulic conductivity.

INTRODUCCIÓN

En la Argentina el estudio de sustratos para plantas constituye un área de conocimiento nueva y en desarrollo, y exige un trabajo interdisciplinario donde hay que concordar algunos aspectos básicos. Uno es un lenguaje común de términos técnicos, otro la elección de los métodos analíticos de referencia específicos al tipo de material, y además una legislación actualizada y especí-

fica para sustratos. La gran cantidad de información que proviene de otros países es para nosotros una ventaja. Si se hace un estudio crítico de sus avances y retrocesos en estas cuestiones, se podrán adaptar los conocimientos sobre las propiedades estudiadas y las metodologías de análisis a nuestra realidad y a nuestros materiales. En este estudio se enumeran resumidamente los más importantes conceptos a tener en cuenta para la evaluación fí-

sica de sustratos, haciendo referencia a una bibliografía que pueda servir de base para una mejor comprensión y discusión del tema.

Sustratos para plantas

Burés (1997) se refiere a sustrato en general como cualquier medio que se utilice para el cultivo de plantas en contenedor, entendiéndose por contenedor cualquier recipiente que tenga altura limitada y su base se halle a presión atmosférica. Por otro lado, Röber (2000) dice que los sustratos hortícolas son la tierra para plantas, las mezclas a base de turbas y otros materiales que sirven de ambiente para las raíces. Kämpf *et al.* (2005, 2006) definen como sustrato para plantas al medio poroso donde se desarrollan las raíces, relacionado con el cultivo en recipientes fuera del suelo *in situ*, mientras que si los materiales son usados para corregir la calidad del suelo *in situ* se los denomina mejoradores de suelo. Se podría resumir diciendo que sustrato para plantas es todo material poroso, usado sólo o en combinación con otros, que colocado en un contenedor, proporciona anclaje y suficientes niveles de agua y oxígeno para un óptimo desarrollo de las plantas que crecen en él. Fonteno (1996) considera que cuando el suelo mineral se coloca en un contenedor pasa a ser un sustrato. Sin embargo, Raviv & Lieth (2008) indican que algunos sustratos pueden incluir arcillas y arenas como componentes, pero no suelo directamente.

Los sustratos pueden ser de origen orgánico, inorgánico y/o sintéticos (Fonteno, 1996; Burés, 1997; Cadahia, 2000; Raviv *et al.*, 2002; Kämpf, 2005; Schmilewski, 2007) y casi siempre pasan por procesos de manufactura o sea tienen una génesis artificial. Algunos de los más difundidos a nivel mundial son:

1. Orgánicos naturales (Maher *et al.*, 2008): turba de musgo *Sphagnum* (Puustjärvi, 1974; Prasad & Maher, 1993; Michiels *et al.*, 1993; Aendereck, 1997; Michel *et al.*, 2004); corteza de pino (Verdonck & Penninck, 1985; Bilderback & Fonteno, 1993; Nkongolo & Caron, 1999; Caron *et al.*, 2005); residuo de fibra de coco (Noguera, 1999; Shinohara *et al.*, 1999; Nelson *et al.*, 2004; Perez Buenafuente *et al.*, 2004); compost proveniente de residuos vegetales (Lemaire, 1997; Burger *et al.*, 1997; Gabriëls, 1998; Valenzuela *et al.*, 2003; Molitor *et al.*, 2004; Prasad & Carlile, 2007).
2. Inorgánicos (Savvas, 2007; Papadopoulos *et al.*, 2008): perlita (Marfà *et al.*, 1993; Orozco *et al.*, 1995; Orozco & Marfà, 1995; Marfà *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, 2006); arena (Burés *et al.*, 1997; Urrestárazu *et al.*, 1999; Salvador *et al.*, 2005); vermiculita (Verdonck *et al.*, 1978; Milks *et al.*, 1989c); tierra (Fonteno *et al.*, 1981; Karlovich & Fonteno, 1986); lana de roca (Blok, 1999).
3. Orgánicos sintéticos: poliuretano; poliestireno (Papadopoulos *et al.*, 2008).

Además se pueden utilizar como sustratos muchos subproductos de actividades industriales (Penninck *et al.*, 1985; Chong, 1999), ganaderas (Inbar *et al.*, 1985), agroindustriales (Kämpf & Jung, 1991; Raviv *et al.*, 2007), forestales y residuos domiciliarios, después de someterlos a procesos de tratamiento para su adecuación, contribuyendo a una mejora en la calidad medioambiental (Burés, 1997).

La producción de plantas en contenedor surge con dos avances claves: el primero fue conocimiento de los requerimientos nutricionales logrados en el siglo XX que culmina con el desarrollo de las soluciones nutritivas en los años '70, lo que permitió un ajustado control de la disponibilidad de nutrientes que no puede realizarse en los cultivos en suelo. El segundo fue el descubrimiento en los años 50 y 60 de la facilidad en el control de microorganismos patógenos mediante desinfección de los sustratos, comparado con los cultivos en suelo (Raviv & Lieth, 2008). Se produce así la expansión de los sistemas de producción de los cultivos sin suelo, más específicamente cultivos en sustratos y en ambientes protegidos (Abad & Noguera, 1997). Las causas de este impulso se deben a: una fuerte y progresiva demanda mundial de alimentos y plantas ornamentales de alta calidad en contra estación; posibilidad de alto valor de ganancias en pequeñas áreas cercanas a los centros de consumo con terrenos caros y suelos degradados; una disminución de cuantiosas pérdidas por patógenos del suelo; bajos costos de transporte y control ajustado del riego y fertilización. Cuando a partir del Protocolo de Montreal de 1992 se incluye el bromuro de metilo como sustancia destructora de la capa de ozono y se recomienda su sustitución de manera progresiva para la desinfección de suelo, el cultivo en sustratos aparece como una alternativa promisoría. Sin embargo, la producción intensiva en gran escala con sustratos en invernáculo producen riesgo de contaminar el suelo y el agua subterránea con nitratos y agroquímicos. Surgen así investigaciones para optimizar la eficiencia en fertirriego y drenaje (Raviv *et al.*, 1997; Bilderback, 2001; van Os, 1999) y sistemas con recirculación de la solución nutritiva cerrados o semicerrados, como una opción más sustentable (Raviv *et al.*, 2004; Marfà, 2007).

La mayor limitación a tener en cuenta en la producción de plantas en contenedor es el confinamiento que sufren las raíces y todas las restricciones que esto provoca. Plantas cultivadas en suelo exhiben un buen crecimiento de raíces que depende de la genética de la especie botánica (Kafkafi, 2008). En un volumen limitado los

sistemas de raíces se densifican para poder satisfacer las necesidades de la parte aérea, presentando una demanda mucho mayor de oxígeno por unidad de volumen de la rizósfera, si se compara con el suelo. Si el medio es orgánico, esto se ve agravado por el consumo de oxígeno por los microorganismos (Raviv *et al.*, 2008). A pesar de estas restricciones la planta debe encontrar en el medio de cultivo condiciones satisfactorias para su crecimiento y desarrollo (Kämpf, 2005). *De esto surge la condición más importante que debe cumplir un buen sustrato: proveer suficiente agua para la planta y al mismo tiempo un buen volumen de aire.* Esta porosidad de aire está relacionada con la disponibilidad de oxígeno necesario para la respiración de las raíces y con un adecuado intercambio gaseoso, removiendo el exceso del CO₂ en el aire cercano a la rizósfera.

RELACIONES AGUA-AIRE EN LOS SUSTRATOS

La primera etapa en la evaluación agronómica de un sustrato para plantas es la determinación de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Abad *et al.*, 1993). El conocimiento de las características físicas en la etapa de planificación del cultivo es de gran importancia ya que no pueden ser modificadas una vez que la planta está creciendo en él. En cambio las variables químicas pueden ser llevadas a condiciones óptimas durante el cultivo. Las propiedades biológicas están relacionadas con la presencia de microorganismos que viven de la materia orgánica y producen cambios en las relaciones agua-aire que deben permanecer estables durante el cultivo. La caracterización física de sustratos se hace a través de variables que relacionan el contenido hídrico y el potencial agua. De Boodt & Verdonck (1972) adaptaron la típica curva de liberación de agua para suelos al estudio de los sustratos, marcando que los puntos de mayor interés de la curva son los que corresponden a las bajas tensiones. Se estableció el rango de los valores de tensión entre 0-10 kPa ya que el agua en un contenedor debe estar disponible para las raíces a las más bajas tensiones posibles. Definieron el punto de cero de tensión como el máximo contenido de humedad (saturación) cuyo valor coincide con la porosidad total (PT). Dependiendo de la relación agua-aire aparecen definidos tres nuevos conceptos referidos al volumen total: *capacidad de aireación* (CA) es el volumen de aire del sustrato sometido a una tensión de 1 kPa; *agua fácilmente disponible* (AFD) el volumen de agua liberada por el sustrato a una succión entre 1-5 kPa y *agua de reserva* el volumen de agua liberada a tensiones entre 5-10 kPa. Martínez Farré (1992) agrega y define los siguientes conceptos: *capacidad de retención de agua* (CRA) como la cantidad máxima de

agua en volumen que puede retener un sustrato, bajo unas condiciones de medida normalizadas y *agua difícilmente disponible* como el volumen de agua retenido por el sustrato a la tensión de 10 kPa, ambos también referidos al volumen total.

La PT es un dato básico e importante en la descripción del material pero nada nos dice respecto al tamaño de dichos poros. La relación agua-aire en los sustratos varía ampliamente de acuerdo a los tamaños de las partículas que predominen en su composición, siendo uno de los factores que definen el tamaño de los poros situados entre ellas. Noguera (1999) en fibra de coco, observó alta correlación del peso de partículas con diámetro mayor a 0,5 mm con la CA, el AFD y la CRA. Verdonck & Demeyer (2004) destacaron la influencia del tamaño de partícula en las relaciones agua-aire en materiales puros y en mezclas, y destacan que una misma fracción de diferentes materiales puede tener características físicas diferentes. Además del tamaño de los poros, es importante su forma (Handreck & Black, 2002) y cómo se interrelacionan. Caron & Nkongolo (1999) muestran que el abastecimiento de agua para la planta está controlado por el tamaño, la tortuosidad y la continuidad de los poros. Estas variables están influenciadas por el tamaño de las partículas y su forma (Nkongolo & Caron, 1999; Caron *et al.*, 2001). Allaire *et al.* (2004) obtuvieron una relación entre tamaño y forma de las partículas de diferentes sustratos con rendimientos del cultivo. Campos Motta *et al.* (2007) confirman el efecto directo de la distribución del tamaño de partícula sobre la disponibilidad de agua y aire en mezclas de perlita: compost y perlita:lombricompost. Hillel (1998) define macroporos en suelos, como poros inter-agregados que sirven para la infiltración, drenaje y aireación, y microporos como intra-agregados responsables de la retención de agua. Algunos autores definen los macroporos a los de diámetro superior a 300 µm y los microporos a los de diámetro menor a ese valor (Martínez, 2002; Handreck & Black, 2002). Sin embargo en sustratos la función del poro está relacionada a la tensión a la que está sometido dentro del contenedor y no sólo al tamaño ya que un poro suficientemente grande como para drenar en la porción superior de un contenedor de 15 cm de altura puede no drenar si se encuentra en una minicelda de 2 cm de altura. Dzral *et al.* (1999) proponen otra clasificación, basado en el efecto de una succión promedio efectiva que se ejerce sobre un poro en la mitad de un contenedor de 11 cm y forma troncocónica invertida, y a partir de esa consideración definen macroporos como poros de diámetro > 416 µm. Al igual que en suelos, existe otra clasificación de poros que se basa en si son externos o internos a las partículas. Los externos se forman entre las partículas y los internos que están dentro del material sólido pueden ser cerrados sin contacto con el medio

externo como en la perlita, o abiertos como en las turbas formando una red de canales con el exterior (Burés, 1997; Martínez, 2002). Un sustrato con partículas grandes y con poros internos abiertos garantiza una buena provisión de agua y niveles altos de aireación (Burés, 1997) en el rango de tensiones 1-10 kPa. Del mismo modo que en los suelos, en muchos casos la PT de un sustrato se correlaciona de manera inversa con la densidad, salvo en el caso que el material tenga gran cantidad de poros cerrados que influyen disminuyendo la densidad pero no son totalmente ocupados por agua. No sólo los materiales minerales contienen poros inaccesibles; también puede suceder que materiales orgánicos tengan una fracción significativa de poros que no se saturan debido probablemente a una fuerte hidrofobicidad (Raviv *et al.*, 2002, 2004).

La herramienta más usada para el estudio de la relación agua-aire es la curva de liberación de agua (CLA) (de Boodt *et al.*, 1974b; Gabriels & Verdonck, 1991; Martínez *et al.*, 1991). Es la representación gráfica de la función $\theta = f(\psi)$, donde cada punto está representado por θ : contenido hídrico volumétrico del sustrato y ψ : potencial mátrico aplicado expresado en términos de tensión o de presión negativa. En sustratos estas funciones son no-lineales por lo que presentan dificultad para ser ajustadas con precisión. Para la comparación de esta propiedad en diferentes sustratos es esencial representar la curva en forma paramétrica y continua, y describir su comportamiento en los límites de la curva y con un mejor ajuste en la parte menos lineal (Raviv *et al.*, 2002). Wallach (2008) señala que el modelo paramétrico más efectivo y comunmente usado es el van Genuchten (1980).

Dentro del contenedor el θ sigue un gradiente similar al de la curva de liberación de agua de ese sustrato (Fonteno, 1989). White & Mastalerz (1966) introducen el concepto de capacidad de contenedor (CC) como el porcentaje volumétrico de agua que es retenido por el sustrato en un contenedor de altura h , una vez saturado y dejando drenar libremente sin sufrir evaporación. El contenido volumétrico de agua θ respecto al volumen del contenedor variará con h . En recipientes de alturas diferentes, la CC de un sustrato será menor cuanto mayor sea h y dentro del mismo contenedor el θ será menor (más seco) en la superficie y casi saturado en la base si el drenaje está a presión atmosférica (Spomer, 1974) formando una tabla de agua cuya altura dependerá de la distribución del tamaño de poros del sustrato y será independiente de las características del recipiente. Debido a este gradiente de humedades dentro del recipiente, la CC estará también influenciada por el diámetro, el volumen y por la forma del contenedor, o sea por su geometría. Mientras que la CRA es una variable de caracterización del sustrato, la CC nos indica cómo se comporta ese sustrato en cada contenedor en particular. Spomer (1982) estudió el efecto del

volumen en el crecimiento de las plantas siendo éste más acentuado y más rápidamente observado a menores volúmenes. Berenguer *et al.* (2004) compararon cultivos hortícolas en contenedores de 20L y de 40L con fibra de coco encontrando diferencias en los rendimientos y dificultades de encharcamiento y deficiente drenaje en los de menor altura. Bilderback & Fonteno (1987, citado en Handreck & Black, 2002) explicaron los diferentes volúmenes de agua y aire para un mismo material en contenedores de igual altura, pero con diferente geometría, presentando mayor volumen de aire cuanto más acentuada es la forma troncocónica invertida, o sea cuanto menor es el volumen del contenedor en la altura donde se presenta la tabla de agua. Heiskanen (1997) encontró que la forma y el tamaño del contenedor afectan el contenido volumétrico de agua y de aire a CC por influencia en la compactación y en la porosidad del medio.

En sustratos muy macroporosos las restricciones al flujo de agua no son debidas al potencial mátrico sino a una brusca caída en la conductividad hidráulica no saturada (Kns) (Raviv *et al.*, 2002). Analizando los datos de Wallach *et al.* (1992b) vemos que hay cambios significativos en los valores de Kns aún cuando el contenido hídrico θ está dentro del rango de AFD. Por lo tanto vemos que el contenido de agua es importante, pero más lo es la capacidad de transmitirla, es decir su Kns. Esta propiedad depende de las características del poro como forma, tamaño, bifurcaciones, uniones, tortuosidad; de las características hidrófilas o hidrófobas de las partículas y del θ en el sustrato. Para un correcto diseño y un manejo ajustado en los sistemas de cultivo es de fundamental importancia el conocimiento del movimiento del agua hacia las raíces en el contenedor. No basta que haya suficiente volumen de agua y de aire, éstos tienen que estar realmente disponibles para las plantas. De Boodt *et al.* (1974a) y Verdonck, (1983) estudiaron las propiedades físicas de los sustratos basadas en el análisis de los estados energéticos del agua; relacionaron el manejo del riego con la PT, la CRA y la CA y consideraron estas variables como los valores medios de lo que sucede en todo el volumen del contenedor. Pero la heterogeneidad en los contenidos de agua y aire y su efecto en las propiedades hidráulicas en estos medios debe ser tenida en cuenta (Michel & Charpentier, 2007). Progresos en el campo de la metrología y la modelización fueron permitiendo el estudio de los flujos de agua y aire (Milks *et al.*, 1989a,b,c). Sin embargo, la medición *in situ* de la Kns es aún muy compleja y laboriosa (Burés *et al.*, 1997; Caron & Elrick, 2005). A partir del desarrollo de nuevas tecnologías de cultivo sin suelo aparecen además nuevas necesidades de investigación respecto a otros parámetros físicos como capilaridad y mojabilidad. (Rivière & Caron, 2001, Caron *et al.*, 2005; Michel & Dollmayer, 2007). Surgen así las in-

investigaciones sobre las propiedades hidráulicas y flujo de gases en sustratos y comienza a producirse una controversia entre la eficiencia de las variables que determinan los estados energéticos del agua y las hidráulicas como indicadores de la disponibilidad de agua-aire en sustratos. Marfà *et al.* (1998) sugirieron la utilidad de la Kns como criterio diagnóstico complementario para la gestión de riego en sustratos granulares como la perlita. Raviv *et al.* (1999) estudiaron las características hidráulicas de escorias volcánicas hallando que el concepto tradicional de AFD basado en un rango de tensión predeterminado independientemente de la Kns del medio no es un parámetro apropiado para el manejo del riego en sustratos. Agregan que la Kns, siendo altamente sensible a variaciones de humedad, indica mejor la real disponibilidad de agua para las raíces y por lo tanto podrá ser usada como control de riego.

El mayor objetivo del riego es incrementar el potencial agua del sustrato, pero la resistencia en el sustrato al flujo de agua (Kns) depende de manera no lineal del θ y del potencial agua. Variaciones pequeñas en estas dos variables representan efectos significativos en Kns (Wallach *et al.*, 1992a, b). Raviv *et al.* (2001) demostraron el papel crucial de alcanzar una porosidad de aire suficiente en el medio inmediatamente después de la irrigación y sugieren que la Kns es una medida más representativa del agua disponible (AD) que la tensión. Raviv & Blom (2001) encontraron que potenciales mátricos bajos en sustratos son acompañados usualmente por bajas Kns causando zonas localizadas de muy bajos potenciales cercanos a la interfase sustrato-raíz que limitan la absorción de agua por parte de las raíces lo que resulta en un bajo potencial agua en la hoja y en un detenimiento en la expansión de la hoja y la raíz. Raviv *et al.* (2004) llegan a la conclusión que se puede optimizar simultáneamente agua y oxígeno eligiendo primero el sustrato adecuado y luego aplicando un óptimo control de riego. Dicha elección se hace a menudo de forma empírica basándose en materiales disponibles más que en los principios físicos que gobiernan la retención y el flujo de agua. Agregan que cuantificar esos principios en relación a la necesidad de las plantas deberá ser tema principal de futuras investigaciones. Wallach & Raviv (2005) verificaron una definición alternativa para agua disponible (AD) donde este término expresa el balance entre el déficit de presión de vapor (DPV) y la capacidad del sustrato en satisfacer esta demanda. Además proponen este nuevo concepto de AD como campo de investigación teniendo en cuenta las variables que intervienen en el continuo sustrato-planta-atmósfera. Michel & Charpentier (2007) proponen como futuro desafío incorporar la respuesta de la raíz en función de dinámica de agua-aire y más aún en el manejo del riego. La incorporación de la planta a las investigaciones es de

suma importancia ya que su respuesta indicará la sensibilidad de las variables relacionadas con la disponibilidad de agua-aire en el sustrato. Potenciales agua bajos en el sustrato afectan rápidamente procesos fisiológicos, como la disminución del crecimiento antes que ocurra la reducción de la conductancia estomática y la fotosíntesis en la hoja (Taiz & Zeiger, 2006). Gómez del Campo (2007) estudió el efecto del suministro de agua en plantas de olivo a través del área foliar, la actividad estomática, la transpiración y la producción de materia seca. El flujo de absorción es regulado por las resistencias del sustrato, que depende de su Kns, y en la raíz a nivel membrana, que es afectada por factores ambientales causando retardo en la absorción respecto a la transpiración. De manera que existe una relación entre la Kns del sustrato, las condiciones ambientales, el potencial agua en la planta y la conductancia estomática, según la especie cultivada. Baumgarten (2007) informó que ya se han hecho considerables trabajos preliminares con nuevos métodos para la evaluación de la respuesta de la planta a los sustratos y a sus componentes. Respecto al estudio del flujo gaseoso ya Bunt (1991) había estudiado la distribución de los niveles de oxígeno en distintas profundidades del contenedor mediante el coeficiente de difusión de oxígeno y lo relacionó con la porosidad de aire medida en el contenedor. Allaire *et al.* (1996) estudiaron el crecimiento de *Prunus* sp. y encontraron correlación positiva con la difusión relativa del gas pero no con la CA. Al mismo resultado llegó Caron *et al.* (2001) en cultivo en sustratos con partículas de gran tamaño. Las mediciones de flujos gaseosos *in situ* por el momento, son complejas, costosas, presentan mucha variabilidad y requieren equipamiento especial (Blok *et al.*, 2008) por lo que a pesar de que describen mejor la disponibilidad de oxígeno para la planta, se sigue usando la medición de la variable CA como rutina debido a que es una determinación mucho más simple (Raviv *et al.*, 2002).

FACTORES QUE AFECTAN LAS MEDICIONES DE VARIABLES

En la bibliografía internacional se encuentra numerosa literatura referida a métodos para determinación de variables físicas en sustratos (Verdonck *et al.*, 1978; Fonteno *et al.*, 1981; Bunt, 1983; Bragg & Chamber, 1988; Kreij & de Bes, 1989; Gabriëls & Verdonck, 1991; Martínez-Farré, 1992; Wallach *et al.*, 1992b; Fonteno & Bilderback, 1993; Wever, 1995; Kipp *et al.*, 2000; Fermino, 2003; Fermino & Kämpf, 2005; Caron *et al.*, 2005). En general, los métodos difieren en el tratamiento de alguna de las variables que afectan los resultados. En muchos materiales la relación agua-aire está influenciada por el contenido de humedad. Verdonck *et al.* (1978) concluyen que una

muestra representativa para la determinación de la densidad de sustrato (DS) debe tener 50-60% de humedad. Fermino (2003) afirma que la humedad inicial de la muestra interfiere en la determinación de la DS seca modificando la cantidad de sólidos en la muestra. Otra variable que tiene influencia en la relación agua-aire es la compactación que se produce por compresión. Kämpf *et al.* (1999a, b) consideran que la presión en el enmacetado, el peso propio de las partículas cayendo unas sobre otras, la humedad y el efecto del riego pueden resultar en diferentes densidades de empaquetamiento definidas por Burés (1997) como una modificación en la relación masa/volumen efectivamente observada en un momento dado. Una muestra ocupa un mayor o menor volumen según su grado de compactación (Martínez, 2002). Fermino & Kämpf (2005) estudiaron el efecto de diferentes niveles de humedad en las muestras y formas de llenado del recipiente sobre la densidad de empaquetamiento y su relación con la porosidad y la impedancia mecánica. La geometría y el tamaño del recipiente en que se coloca la muestra es otra variable a tener en cuenta. Si la muestra es escasa puede no ser representativa debido a la alta heterogeneidad que presentan la mayoría de los sustratos. Kämpf *et al.* (2005) encontró relación entre la heterogeneidad del material analizado y la amplitud de la variación en los resultados. Fernández & Corá (2002) observaron que la altura del cilindro donde se colocó la muestra afectó la determinación de aire en vermiculita. Referido a la saturación, el volumen máximo de agua que contiene el sustrato se toma como PT (Fonteno, 1989) y el agua puede penetrar por diferencia de presión con diferentes velocidades, tiempo de hidratación y temperaturas y que dependerá del material y del método (Terés *et al.*, 1997; Terés *et al.*, 2001). En cuanto a la distribución del tamaño de partícula, las posibles variables que afectan la medición son: la humedad y el volumen inicial de la muestra, el grado de descomposición del sustrato y la duración y velocidad del tamizado (Nemati *et al.*, 2007).

Según Fonteno (1993) la elección de un método depende de varios factores: 1) disponibilidad del equipamiento, 2) la naturaleza del material, 3) el tipo de muestra disponible 4) el conocimiento y la habilidad del operador 5) el rango del parámetro a ser medido 6) y el propósito para el cual las mediciones son hechas. Teniendo en cuenta que los laboratorios pueden optar por el método más conveniente, y que en general hay resistencia al cambio de metodologías, es necesario establecer métodos de referencia. En Europa importantes esfuerzos se han hecho en el camino de la estandarización de métodos de análisis físicos (Schmilewski & Günther, 1988; Verdonck & Gabriëls, 1988; Gabriëls & Verdonck, 1991; Martínez Farré, 1992; Ansorena Miner, 1994; Gabriëls, 1995; Baumgarten,

2001) y también numerosos trabajos interlaboratorios (Verdonck *et al.*, 1978; Gabriëls *et al.*, 1991; Wever & van Winkel, 2004) para establecer límites confiables de reproducibilidad y repetitividad. Rivière & Caron (2001) propusieron que los resultados de las investigaciones deberían estar integrados para establecer referencias y normas para propósitos comerciales.

LOS SUSTRATOS EN LA ARGENTINA

A nivel nacional en la década de los '90 debido a la relación peso-dólar favorable comenzaron a importarse sustratos de excelente calidad a base de turbas negras y rubias de musgo *Sphagnum*, a los que los productores se adaptaron rápidamente. Surgieron así empresas dedicadas a la producción de 'plugs' para propagación de: forestales, frutales, hortícolas, florícolas, ornamentales, tabaco, etc., con las ventajas de uniformidad, eliminación de patógenos y estrés de transplante. El uso de sustratos también se expandió a la etapa de cultivo de ornamentales, florícolas, hortícolas en ambientes protegidos. A partir del 2002 con la devaluación del peso, las empresas se vieron obligadas a usar sustratos de origen nacional. Se produjo un aumento en la escala de fabricación en la industria nacional de sustratos debido a una demanda creciente de productos de buena calidad (Valenzuela & Gallardo, 2003). La calidad de sustratos fabricados en el país, es aún un desafío a alcanzar, comenzando por el vacío legal que existe en términos de exigencias para el registro comercial de los productos. Desde 1973 está vigente la ley 20.466 y su decreto reglamentario N° 4830, que se refiere a fertilizantes y enmiendas, y no menciona el término sustrato o concepto similar. Los análisis solicitados se realizan según métodos de referencia para suelos, produciendo interpretaciones erróneas y contradictorias de los resultados. La confusión y falta de normativas claras son causas de la falta de desarrollo de la cadena productiva en el mercado de cultivos en contenedores. La conveniencia de uso de sustratos nacionales y de materiales locales provenientes de residuos de actividades industriales o agropecuarias de las regiones cercanas a los cultivos hace necesario su evaluación agronómica. En la actualidad entre los productores está muy difundida la práctica de fabricar sus propios sustratos sin control de calidad, resultando su uso en prueba y error que hace perder tiempo y dinero (Valenzuela *et al.*, 2008). Estas soluciones regionales y caseras están intentando resolver momentáneamente el problema, pero es de esperar que con el aporte de todos los integrantes de la cadena, el sector se profesionalice y se pueda contar con sustratos industriales de buena calidad, a un costo compatible con la realidad de cada tipo de producción.

AGRADECIMIENTOS

A Osvaldo Valenzuela y Marta Conti por las valiosas sugerencias realizadas y a Atelene Kämpf y Helena Fermino por el generoso aporte de material bibliográfico.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad, M; MD Martínez-Herrero; PF Martínez-García & J Martínez-Corts. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Acta de Horticultura* 11: 141-154, Madrid.
- Abad, M & P Noguera. 1997. Los sustratos en los cultivos sin suelo. Pp 101-150. *En: M Urrestarazu (ed). Manual de cultivo sin suelo.* Universidad de Almería. Almería.
- Aendreck, T. 1997. Decomposition of peat substrate in relation to physical properties and growth of *Chamaecyparis*. *Acta Hort.* 450: 191-198.
- Allaire, S; J Caron; I Duchesne; LE Parent & JA Rioux. 1996. Air-filled porosity, gas relative diffusivity, and tortuosity : indices of *Prunus x cisterna* sp. Growth in peat substrate. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121(2): 236-242.
- Allaire, S; J Caron; C Menard & M Dorais. 2004. Growing media varying in particle size and shape for greenhouse tomato. *Acta Hort.* 644: 307-311.
- Ansorena Miner, J. 1994. Sustratos, propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid 167 pp.
- Baumgarten, A. 2001. Statistical evaluation of the methods standardized by CEN. *Acta Hort.* 548: 647-653.
- Baumgarten, A. 2007. Advances in the standardisation of analytical techniques: the work of CEN TC 223, WG4. International Symposium of Growing media, Nottingham. *Acta Hort* (in press).
- Berenguer, JJ; M García Lozano; I Escobar & MM Téllez. 2004. Evaluación del volumen, tiempo de uso y geometría del contenedor en cultivos en fibra de coco. Acta VII jornadas de Sustratos de la SECH. 163-169.
- Bilderback, TE & W Fonteno. 1987. Container Modeling. *J. Environ. Hort.* 5(4): 180-182. *In: Handreck & Black.* 2002. Growing media for ornamental plants and turf. University of new South Wales press Ltd. Australia. 542 pp.
- Bilderback, TE & W Fonteno. 1993. Improving nutrient and moisture retention in pine bark substrates with rockwool and compost combinations. *Acta Hort.* 342: 265-272.
- Bilderback, TE. 2001. Environmentally compatible container plant production practices. *Acta Hort.* 548: 311-318.
- Blok, C. 1999. Air/Water management in rockwool slabs. *Acta Hort.* 481: 79-87.
- Blok, C; C de Kreij; R Baas & G Wever. 2008. Analytical methods used in soilless cultivation. (7) Pp 245-289. *In: Soilless culture: theory and practice.* M Raviv & JH Leith (ed) Elsevier. 587 pp.
- Bunt, AC. 1983. Physical properties of mixtures of peats and minerals of different particles size and bulk density for potting substrates. *Acta Hort.* 150: 143-153.
- Bunt, AC. 1991. The relationship of oxygen diffusion rate to the air-filled porosity of potting substrates. *Acta Hort.* 294: 215-224.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas. Madrid. 342 pp.
- Burés, S; O Marfà; T Pérez; JA Tébar & A Lloret. 1997. Measure of Substrates Unsaturated Hydraulic Conductivity (Refereed). *Acta Hort.* 450: 297-303.
- Burger, DW; TK Hartz & GW Forister. 1997. Composted green waste as a container medium amendment for the production of ornamental plants. *HortScience*, Vol. 32(1): 57-60.
- Bragg, NC & BJ Chambers. 1988. Interpretation and advisory application of compost air-filled porosity (AFP) measurements. *Acta Hort.* 221: 35-44.
- Cadahia, C. 2000. Fertirrigación. Mundi-Prensa Libros, SA (ed). España. 475 pp.
- Campos Motta, L; C Blok & U van Meeteren. 2007. Comparison of the physical properties of vermicompost from paper mill sludge and green compost as substitutes for peat base growing media. International Symposium of Growing media, Nottingham. *Acta Hort (in press).*
- Caron, J & VKN Nkongolo. 1999. Aeration in growing media: recent developments. *Acta Hort.* 481: 545-551.
- Caron, J; P Morel & LMR Rivière. 2001. Aeration in growing media containing large particles size. *Acta Hort.* 548: 229-234.
- Caron, J & D Elrick. 2005. Measuring the Unsaturated Hydraulic Conductivity of growing media with tension disc. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 783-793.
- Caron, J; DE Elrick; R Beeson & J Boudreau. 2005. Defining critical capillary rise properties for growing media in nurseries. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 794-806.
- Chong, C. 1999. Two industrial water-derived wastes as potential potting amendments. *Acta Hort.* 481: 165-172.
- De Boodt, M & O Verdonck. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Hort.* 26: 37-44.
- De Boodt, M; O Verdonck & J Cappaert. 1974a. Determination and study of the water availability of substrates of ornamental plant growing. *Acta Hort.* 35: 89-94.
- De Boodt, M; O Verdonck & J Cappaert. 1974b. Methods for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Hort.* 37: 2054-2062.
- Drzal, MS; WC Fonteno & D Keith Cassel. 1999. Pore fraction Analysis: a new tool for substrate testing. *Acta Hort.* 481: 43-54.
- Fernandes, C & JE Corá. 2002. Efeito da altura do anel volumétrico na determinação da curva de retenção de água em sustratos. Pp 84. *En: AMC Furlani (ed). Caracterização, manejo e qualidade de sustratos para produção de plantas.* Instituto Agronômico, Campinas. 122 pp.
- Fermino, H. 2003. Métodos de Análise para caracterização física de sustratos para plantas. Tesis de doutorado en Fitotenia. Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Fermino, H & A Kämpf. 2005. Considerations about the packing density of growing media prepared under increasing levels of humidity. *Acta Hort.* 697: 147-151.

- Fonteno, W; DK Cassel & RA Larsen. 1981. Physical properties of three container media and their effect on poinsettia growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106(6): 736-741.
- Fonteno, W. 1989. An approach to modeling air and water status of horticultural substrates. *Acta Hort.* 238: 67-74.
- Fonteno, W. 1993. Problems & considerations in determining physical properties of horticultural substrates. *Acta Hort.* 342: 197-204.
- Fonteno, W & T Bilderback. 1993. Impact of Hydrogel on physical properties of coarse-structured horticultural substrates. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118(2): 217-222.
- Fonteno, W. 1996. Growing media: Types and physical/chemical properties (5) Pp.93-122. In: David W. Reed (ed). Water, Media and Nutrition. Ball Publishing. Batavia, Illinois USA. 315pp.
- Gabriëls, R & O Verdonck. 1991. Physical and chemical characterization of plant substrates: towards a European Standardization. *Acta Hort.* 294: 249-259.
- Gabriëls, R; W van Keirsbulck & O Verdonck. 1991. Reference method for physical and chemical characterization of growing media: An international comparative study. *Acta Hort.* 294: 147-160.
- Gabriëls, R. 1995. Standardization of growing media analysis and evaluation: CEN/ISO/ISHS. *Acta Hort.* 401: 555-557.
- Gabriëls, R. 1998. Quality of compost and EC legislation. *Acta Hort.* 469: 187-193
- Gomez del Campo, M. 2007. Effect of water supply on leaf area development, stomatal activity, transpiration, and dry matter production and distribution in young olive trees. *Australian Journal of Agricultural Research* 58: 385-391.
- Handreck, K & N Black. 2002. Growing media for ornamental plants and turf. University of new South Wales press Ltd. Australia. 542 pp.
- Heiskanen, J. 1997. Air filled porosity of eight growing media based on Sphagnum peat during drying from container capacity. *Acta Hort.* 450: 277-286.
- Hillel, D. 1998. Environmental Soil Physics. Academic Press, San Diego, CA, USA. 771pp.
- Inbar, Y; Y Chen & Y Hadar . 1985. The use of composted slurry produced by methanogenic fermentation of cow manure as a growth media. *Acta Hort.* 172: 75-82.
- Kafkafi, U. 2008. Functions of the root system. (2) Pp 13-40. In: Soilless culture: theory and practice. Raviv, M & JH Leith (ed) Elsevier. 587 pp
- Kämpf, AN & M Jung. 1991. The use of carbonized rice hulls as an horticultural substrate. *Acta Hort.* 294: 271-283.
- Kämpf, AN; PA Hammer & T Kirk. 1999a. Effect of the packing density on the mechanical impedance of root media. *Acta Hort.* 481(2): 689-694.
- Kämpf, AN; PA Hammer & T Kirk. 1999b. Impedância mecânica em substratos horticólicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 34(11): 2157-2161.
- Kämpf, AN . 2005. Produção comercial de plantas ornamentais. 2da edn. Agrolivros. Guaíba, RS, Brasil. 254pp.
- Kämpf, AN; R Magalhaes & R Maltz. 2005. Comparação de métodos na caracterização básica de substrato para plantas e condicionadores de solo. II Forum Latinoamericano de Plantas Ornamentais. RS. Brasil. 96-97.
- Kämpf, AN; R Jun Takane & PT Vital de Siqueira. 2006. Floricultura, Técnicas de preparo de substratos. LK editora, Brasília, 132pp.
- Karlovich, PT & WC Fonteno. 1986. Effect of soil moisture tension and soil water content on the growth of chrysanthemum in 3 container media. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111(2): 191-195.
- Kipp, JA; G Wever & C de Kreij. 2000. International substrate manual. Elsevier. The Netherlands. 94pp.
- Kreij, C de & SS de Bes. 1989. Comparison of physical analysis of peat substrate. *Acta Hort.* 238: 23-36.
- Lemaire, F. 1997. The problem of the biostability in organic substrates. *Acta Hort.* 450: 63-69.
- Maher, MJ; M Prasad & M Raviv. 2008. Organic soilless media components. (11) Pp 459-504. In: Soilless culture: theory and practice. Raviv, M & JH Leith (ed) Elsevier. 587 pp
- Marfà, O; A Martínez; R Orozco; L Serrano & FX Martinez. 1993. The use of fine-grade perlites in lettuce bag cultures. II. Physical properties, rheologic effects and productivity. *Acta Hort.* 342: 339-348.
- Marfà, O; R Savé; C Biel; M Cohen & R Lladó. 1998. Substrate hydraulic conductivity as a parameter for irrigation of carnation soilless culture. *Acta Hort.* 458: 65-74.
- Marfà, O. 2007. Cultivo de ornamentales en contenedor al exterior. Material del Curso "Técnicas de cultivo sin suelo y sustratos" de la Maestría de cultivos intensivos, UNL, Esperanza, Sta Fé, Argentina.
- Martínez, D; AM Landini; H Svartz; L Vence; L Bottini *et al.*, 2006. Propiedades físicas e hidráulicas de perlita en cultivo de rosas y sus variaciones temporales. *Ciencia del Suelo* (Argentina) 24(2): 177-182.
- Martínez, FX; S Burés; F Blanca; MP Yuste & J Valero. 1991. Experimental and theoretical air/water ratios of different substrate mixtures at container capacity. *Acta Hort.* 294: 241-248.
- Martínez Farré, FX. 1992. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Actas de las I Jornadas de Sustratos, SECH:* 55-66.
- Martínez, PF. 2002. Manejo de sustratos para horticultura. Pp 53-76. En: Instituto Agronómico (ed). "Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas" IAC 70, Campinas, Brasil. 122p.
- Michel, JC; P Morel & LM Rivière. 2004. The importance of hydric history on the physical properties and wettability of peat. *Acta Hort.* 644: 275-280.
- Michel, JC & S Charpentier. 2007. Physical properties of growing media: State of the art and future challenges. International Symposium of Growing media, Nottingham. *Acta Hort* (in press).
- Michel, JC & K Dollmayer. 2007. Effects of wetting agents on hydro-physical properties of peat growing media. International Symposium of Growing media, Nottingham. *Acta Hort* (in press).
- Michiels, P; R Hartmann & C Coussens. 1993. Physical properties of peat substrates in an ebb/flood irrigation system. *Acta Hort.* 342: 205-219.
- Milks, R; W. Fonteno, R Larson. 1989a. "Hydrology of horticultural substrates: I. Mathematical models for moisture characteristics of horticultural container media." *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 114(1): 48-52.

- Milks, R; W. Fonteno & R Larson. 1989b. "Hydrology of horticultural substrates: II. Predicting physical properties of media in containers." *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 114(1): 53-56.
- Milks, R; W. Fonteno & R Larson. 1989c. "Hydrology of horticultural substrates: III. Predicting air and water content of limited-volume plug cells." *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 114(1): 57-61.
- Molitor, HD; A Faber; R Marutzky & S Springer. 2004. Peat substitutes on the basis of recycled wood chipboard. *Acta Hort.* 644: 123-130.
- Nelson, PV; YM Oh & DK Cassel. 2004. Changes in physical properties of coir dust substrates during crop production. *Acta Hort.* 644: 261-268.
- Nemati, MR; JP Fortin; MC Lussier & MJ Prince. 2007. Development of a rapid and accurate determination of particle size distribution in organic substrates. International Symposium of Growing Media. ISHS, Nottingham. *Acta Hort.* (in press).
- Nkongolo, NV & J Caron. 1999. Bark particle sizes and the modification of the physical properties of peat substrates. *Can.J.Soil Sci.* 79: 111-116.
- Noguera, P. 1999. Caracterización y evaluación agronómica del residuo de fibra de coco: un nuevo material para el cultivo en sustratos. Tesis doctoral en Química. Universidad Politécnica de Valencia. 228 pp.
- Orozco, R & O Marfá. 1995. Non saturated hydraulic conductivity of perlites: some effect on pepper. *Acta Hort.* 401: 235-242.
- Orozco, R; O Marfá & S Burés. 1995. Water status of graded perlites. *Acta Hort.* 401: 137-143.
- Papadopoulos, A; A Bar-Tal; A Siver; U Saha & M Raviv. 2008. Inorganic and synthetic organic components of soilless culture and potting mixes. (12)Pp 505-543. In: M Raviv & JH Leith (ed). Soilless culture: theory and practice. Elsevier. 587 pp.
- Penninck *et al.*, 1985.
- Prasad, M & MJ Maher. 1993. Physical and chemical properties of fractionated peat. *Acta Hort.* 342: 257-264.
- Prasad, M & B Carlile. 2007. Practical experiences with the use of composted materials in growing media. International Symposium of Growing Media. ISHS, Nottingham. *Acta Hort.* (in press).
- Pérez Buenafuente, A; CM Regalado & MC Cid Ballarín. 2004. Consecuencias hidrológicas de la compactación en fibra de coco. Actas de las VII Jornadas de la SECH. Madrid.: 71-76.
- Puustjärvi, V. 1974. Physical properties of peat used in horticulture. *Acta Hort.* 37: 1922-1929.
- Raviv, M; A Krasnovsky & S Medina. 1997. Minimal water discharge growing system: characteristics at a steady-state situation. *Acta Hort.* 450: 133-138.
- Raviv, M; R Wallach; A Silber; Sh Medina & A Krasnovsky. 1999. The Effect of Hydraulic Characteristics of Volcanic Materials on Yield of Roses Grown in Soilless Culture. *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 124: 205-209.
- Raviv, M & TJ Blom. 2001. The effect of water availability and quality on photosynthesis and productivity of soilless-grown cut roses. *Scientia Horticulturae* 88(4): 257-276.
- Raviv, M; JH Lieth; DW Burger & R Wallach. 2001. Optimization of Transpiration and Potential Growth Rates of 'Kardinal' Rose with Respect to Root-zone Physical Properties. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126: 638-643.
- Raviv, M; R Wallach; A Silber & A Bar-Tal. 2002. Substrates and their analysis (2) Pp. 25-101. In: D Savvas (ed). Hydroponic production of vegetables and ornamentals. Embryo publications. Atenas. 463 pp.
- Raviv, M; R Wallach & TJ Blom. 2004. The effect of physical properties of soilless media on plant performance- A review. *Acta Hort.* 644: 251-259.
- Raviv, M; S Medina; A Krassnovsky; H Canaan; Y Laor *et al.*, 2007. Production of olive mill waste compost and its use in growing media: challenges and solutions. International Symposium of Growing Media. ISHS, Nottingham. *Acta Hort.* (in press).
- Raviv, M & JH Leith. 2008. Soilless culture: theory and practice. Elsevier. 587 pp.
- Raviv, M; JH Lieth; A Bar-Tal & A Silber. 2008. Growing plants in soilless culture operational conclusions. (13) Pp.545-567. In: Soilless culture: theory and practice. Raviv, M & JH Leith (ed) Elsevier. 587 pp.
- Rivière, LM & J Caron. 2001. Research on substrate: state of the art and need for the coming 10 years. *Acta Hort.* 548: 29-41.
- Röber, R. 2000. Gärtnerische Substrate: Möglichkeiten und grenzen ihrer herstellung und verwendung; beispiele aus forschung, industrie und anwendung. Pp 105-138. En: Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes. AN Kämpf, & MH Fermio (eds). Genesis. Porto Alegre. 312 pp.
- Salvador, ED; K Minami & SO Jadoski. 2005. Evaluation of different substrates on african violet (*Saintpaulia ionantha* Wendl.) growth. *Acta Hort.* 697: 125-132.
- Savvas, D. 2007. Modern development in the use of inorganic media in greenhouse vegetable and flower production. International Symposium of Growing Media. ISHS, Nottingham. *Acta Hort.* (in press).
- Shinohara, Y; T Hata; T Maruo; M Hohjo & T Ita. 1999. Chemical and physical properties of the coconut fiber substrates and the growth and productivity of tomato plants. *Acta Hort.* 481: 145-149.
- Schmilewski, G & J Günther. 1988. An international comparative study on the physical and chemical analysis of horticultural substrates. *Acta Hort.* 221: 425-441.
- Schmilewski, G. 2007. Growing medium constituents used in the EU. International Symposium of Growing Media. ISHS, Nottingham. *Acta Hort.* (in press).
- Spomer, L Art. 1974. Two classroom exercises demonstrating the pattern of container soil water distribution. *HortScience* 9(2): 152-153.
- Spomer, L Art. 1982. The effect of container soil volume on plant growth. *HortScience* 17(4): 680-681.
- Taiz L & E Zeiger. 2006. Fisiología Vegetal. Publicaciones Universidad Jaume I. España. 1338 pp.
- Terés, V; A Beunza & A Artetxe. 1997. Substrate saturation by vacuum application. *Acta Hort.* 450: 381-388.
- Terés, V; A Artetxe; A Beunza; E Sainz de la Maza & M Leuzaun. 2001. Physical properties of the substrates. *Acta Hort.* 559: 663-668.
- Urrestárazu, M; M Guzmán; A Sánchez; MC Salas; S Quero & G Carrasco. 1999. A comparison of qualitative and quantitative productivity parameters between a sweet pepper crop growing on "enarenado almeriense" and in rockwool. *Acta Hort.* 481: 63-69.

- Valenzuela, O & C Gallardo. 2003. Los sustratos: un insumo clave en los sistemas de producción de plantines. *IDIA XXI* Año III (4): 25-29.
- Valenzuela, O; FNicolau; MRode; HSchund & C Gallardo. 2003. Respuesta de *Tagetes patula* a sustratos formulados con compost y perlita. *Revista Científica Agropecuaria* 7(1): 57-61.
- Valenzuela, O; C Gallardo & A Kämpf. 2008. Regional components used as growing media in Argentina. *Acta Hort* 779: 643-648.
- van Genuchten, MT. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Soc. Amer. Journal* 44: 892-898.
- van Os, EA. 1999. Closed soilless growing systems: a sustainable solution for dutch greenhouse horticulture. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 39, N° 5: 105-112.
- Verdonck, O; IM Cappaert & M de Boodt. 1978. Physical Characterization of horticultural substrates. *Acta Hort.* 82: 191-200.
- Verdonck, O. 1983. New developments in the use of graded perlite in horticultural substrates. *Acta Hort.* 150: 575-581.
- Verdonck, O & R Penninck. 1985. The composting of bark with soy scrap sludge. *Acta Hort.* 172: 183-190.
- Verdonck, O & R Gabriëls. 1988. Summary of discussion on "standardization of analytical methods". *Acta Hort.* 221: 443-444.
- Verdonck, O & P Demeyer. 2004. The influence of the particle size on the physical properties of growing media. *Acta Hort.* 644: 99-101.
- Wallach, R; F Da Silva & Y Chen. 1992a. Unsaturated hydraulic characteristics of composted agricultural wastes, tuff and mixtures. *Soil Sci.* 153(6): 434-441.
- Wallach, R; F Da Silva & Y Chen. 1992b. Hydraulic Characteristics of Tuff (Scoria) used as a container medium. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(3): 415-421.
- Wallach, R & M Raviv. 2005. The dependence of moisture-tension relationship and water availability on irrigation frequency in containerized growing media. *Acta Hort.* 697: 293-300.
- Wallach, R. 2008. Physical characteristics of soilless media. (3) Pp 41-116. *In: Soilless culture: theory and practice.* Raviv, M & JH Leith (ed) Elsevier. 587 pp.
- Wever, G: 1995. Physical analysis of peat and peat-based growing media. *Acta Hort.* 401: 561-567.
- Wever, G & van Winkel. 2004. Interlaboratory study CEN-Methods for the analysis of growing media and soil improvers. *Acta Hort.* 644: 597-601.
- White, JW & JW Mastalerz. 1966. Soil moisture as related to "container capacity". *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 89: 758-765.