

Elección y formulación adecuada de un sustrato y/o sus mezclas

Formulation and selection of an accurate substrate and/or soilless mixes

DOI: 10.53499/sfjeasv2n2-016

Received in: January 3rd, 2022

Accepted in: March 31th, 2022

Héctor Alejandro Svartz

M. Sc.

Profesor Asociado de la Cátedra de Jardinería de la Facultad de Agronomía de la
Universidad de Buenos Aires, Argentina
Correo electrónico: hsvartz@agro.uba.ar

Catalina Sol Raimondo

Ing. Agr.

Investigadora independiente egresada de la Facultad de
Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, Argentina
Correo electrónico: craimondo@agro.uba.ar

RESUMEN

El conocimiento de las características físicas de un sustrato, cómo influye su composición, la interacción de sus componentes y los distintos manejos, son cruciales en la etapa de planificación de cultivos sin suelo ya que no pueden ser modificadas una vez que el sustrato se encuentra en el contenedor. Por otro lado, las propiedades químicas si bien influyen en gran medida en el crecimiento del cultivo, pueden ser reguladas.

En Argentina, el estudio de sustratos en lo que respecta a investigación y divulgación de información constituye un área de conocimiento en desarrollo en comparación al ámbito internacional.

Frente a la importancia en la correcta elección y formulación de un sustrato y/o sus mezclas se desarrolla este trabajo con el objetivo de generar una revisión, con especial énfasis en las propiedades físicas, para la producción de cultivos sin suelo.

Permitirá así facilitar las actividades de formación de técnicos, favoreciendo la divulgación, en el proceso de formación de formadores.

Palabras clave: Elección de sustratos, producción organopónica, propiedades físicas y fisicoquímicas de un sustrato.

ABSTRACT

The knowledge of a substrate's physical characteristics, how the composition influences its behavior and the different ways of management are crucial when it is time to plan a soilless crop production. The reason why these are so important is that once the physical characteristics are defined, they cannot be modified during the crop cycle. On the contrary, although chemical characteristics influence the plant's growth, they can be modified during the crop cycle.

In comparison with the international scientific disclosures, Argentina is in the process of developing investigations and knowledge about substrates. This work is developed as a way to create a review with a special emphasis in the physical properties for soilless crop production providing activities for the capacitation of technicians and the disclosure of agricultural expertise during the training of trainers.

Keywords: Substrates election, soilless crop production, substrate physical and physicochemical properties.

1 INTRODUCCIÓN

La producción de plantas en contenedor surge con dos avances claves: el primero fue el conocimiento de los requerimientos nutricionales de las plantas durante el siglo XIX que culminó en el siglo XX con el desarrollo de las soluciones nutritivas en los años setenta, lo que permitió un ajustado control de la disponibilidad de nutrientes para las plantas que no pueden realizarse en suelo. El segundo fue el descubrimiento y divulgación en los años cincuenta y sesenta de la facilidad en el control de microorganismos patógenos mediante desinfección de los sustratos, mientras resulta muy difícil hacerlo en cultivos en suelo (Raviv y Lieth 2008). Se observa así la gran expansión de los sistemas de producción de los cultivos sin suelo, más específicamente cultivos en sustratos y en ambientes protegidos (Abad y Noguera 1997). Las causas de este impulso se deben a consideraciones tanto económicas como agronómicas: 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 donde los terrenos son caros y con suelos degradados (van Os 1999); avances tecnológicos en la industria plástica y en automatización de riego y control ambiental, reduciendo los costos de producción.

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 el sustrato está en el contenedor y la planta está creciendo en él (De Boodt y Verdonck 1971). En cambio, si bien la determinación a priori del contenido de nutrientes, el pH y la conductividad eléctrica permite establecer un adecuado manejo, estas variables se pueden modificar con facilidad y deben ser monitoreadas durante la etapa del cultivo. Las propiedades biológicas relacionadas a la presencia de microorganismos que viven de la materia orgánica afectan los procesos de descomposición modificando las condiciones de aireación y afectando las principales variables físicas relacionadas con la disponibilidad

de aire y flujos de agua. En el uso de sustratos es importante el mantenimiento de la estabilidad de las variables físicas (Vence 2012).

Se puede afirmar que en el ámbito internacional hay un gran desarrollo en lo que respecta a investigación y divulgación de información acerca de los sustratos. Se encuentran numerosos trabajos referidos a métodos para determinación de parámetros físicos en sustratos (Verdonck et al. 1978; Fonteno et al. 1981; Bunt 1983; Bragg y Chamber 1988; Kreij y de Bes 1989; Gabriëls y Verdonck 1991; Martinez-Farré 1992; Wallach et al. 1992 b; Wever 1995; Bohne

y Günther 1997; Kreij et al. 2001; Fermino 2003; Wever y van Winkel 2004; Fermino y Kämpf 2005; Caron et al. 2005). En Europa se han hecho importantes esfuerzos en el camino de la estandarización de métodos de análisis físicos (Schmilewski y Günther 1988; Verdonck y Gabriëls 1988; Gabriëls y Verdonck 1991; Martinez Farré 1992; Ansorena Miner 1994; Gabriëls 1995) y también trabajos de interlaboratorios (Verdonck et al. 1978; Gabriëls et al. 1991; Baumgarten 2001; Wever y van Winkel 2004) como para establecer límites confiables de reproducibilidad y repetitividad.

En Argentina el estudio de sustratos constituye un área de conocimiento en desarrollo y exige un trabajo interdisciplinario donde hay que consensuar algunos aspectos básicos para evitar interpretaciones erróneas. Uno es el uso de un lenguaje en común referido a definiciones de las propiedades y de los términos técnicos. Otro sería la elección de las metodologías analíticas para sustratos a ser tomadas como referencia y sobre todo una legislación apropiada, actualizada y específica a los tipos de materiales. La gran cantidad de información que se tiene de otros países es para nosotros una ventaja. A pesar de que nuestras necesidades son diferentes, si se hace un estudio crítico de sus avances y retrocesos, se podrán adaptar los conocimientos sobre las variables estudiadas y las metodologías de análisis a nuestra realidad (Vence 2008). Con respecto a los productos fabricados en el país, la calidad del sustrato se encuentra en desarrollo. Una de las problemáticas a resolver es el vacío legal que existe en términos de exigencias para el registro de los productos fabricados. 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. En la actualidad está muy difundida la práctica, de parte de los productores, de armar sus propios sustratos sin control de calidad. A lo largo del país se usan como materias primas distintos materiales regionales de los cuales no siempre se tiene el conocimiento de las propiedades físicas y químicas resultando su uso en prueba y error que hace perder demasiado tiempo y dinero (Valenzuela et al. 2008, Valenzuela

2009). Por otra parte, a menudo, estos materiales provienen de extracciones de recursos no renovables con el consiguiente perjuicio para el ecosistema.

En el país hay suficiente acuerdo para avanzar en los siguientes puntos: un lenguaje común de términos técnicos, calibración de métodos analíticos específicos para sustratos, legislación actualizada y adecuada a esta temática específica y evaluación agronómica de materiales alternativos (Valenzuela y Gallardo 2003, Valenzuela 2009).

2 OBJETO DEL TRABAJO

Desde las consideraciones realizadas se asume como objetivo de este trabajo, generar una revisión, con especial énfasis en las propiedades físicas, para la producción de cultivos *soilless* (cultivo sin suelo). Está dirigido a facilitar su divulgación en la formación de formadores para brindar el conocimiento de nuevas herramientas en las prácticas agrícolas.

3 DESARROLLO

Para la fabricación y manejo de un sustrato artificial, que permita el crecimiento óptimo de las plantas, se deben tener en cuenta distintos factores tales como: los tipos de insumos a utilizar, la combinación de los mismos, la porosidad resultante y la distribución por tamaños de poros. Influyen en forma directa en la exploración radicular y ésta en el desarrollo aéreo de la planta.

Existen distintos tipos de producciones *soilless* según lo estudiado por Valenzuela (Ediciones INTA 2019) y pueden subdividirse en cuatro tipos de cultivos:

- Cultivos en Sustratos Orgánicos (turba, fibra de coco, cáscara de arroz, compost).
- Cultivos Hidropónicos en matriz inerte (perlita, arenas, gravas, lana de roca, arcilla expandida).
- Cultivos en soluciones hídricas (lámina estática o lámina en movimiento).
- Cultivos aeropónicos.

Este trabajo se encuentra centrado en los cultivos en sustratos orgánicos que a su vez pueden ser combinados con productos inertes como perlita, arena, etc.

¿Qué es un sustrato para el crecimiento de las plantas?

Un sustrato para plantas es todo material poroso, usado solo o en combinación con otros que, colocado en un contenedor, proporciona anclaje y suficientes niveles de agua y oxígeno para un buen desarrollo de las plantas que crecen en él.

En primera medida, se debe definir qué es un Contenedor: Es un recipiente que tiene presión atmosférica en la parte inferior. Bajo esas condiciones se establece un fenómeno denominado “tabla de agua”.

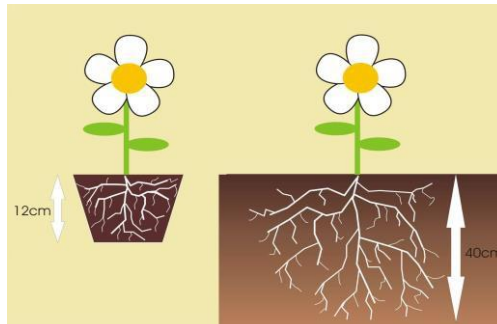
Los sustratos pueden ser puros o pueden estar combinados con diferentes insumos. Cuando el sustrato diseñado cumple con las características de los contenedores (forma, tamaño), la respuesta es un buen desarrollo de raíces que explora la totalidad del cepellón (Figura 1).

Figura 1: Cono de una planta de citrus de un año. Imagen obtenida durante una visita técnica en la provincia de Tucumán (2019).



El sustrato debe proveer las condiciones necesarias para el desarrollo óptimo de la planta: oxígeno, agua, nutrientes, anclaje. Es por eso que es fundamental el proceso de diseño del sustrato ya que debe garantizar una buena distribución del tamaño de poros (agua fácilmente disponible, poros de drenaje y aireación) y a su vez se debe tener en cuenta el anclaje de la planta, considerando las densidades del sustrato y el tiempo en que la planta se encontrará en el mismo. Para entender mejor el tema desarrollado y comprender la importancia de diseñar un sustrato con una buena distribución de tamaño de poros, debemos antes poner atención a las diferencias entre suelo y sustrato en la relación suelo-planta-atmósfera (Figura 2).

Figura 2: Crecimiento de las raíces en un ambiente con escaso volumen versus un ambiente ilimitado.



A través de la figura 2 se puede ver cómo varía el desarrollo radicular dependiendo del ambiente. La planta de la izquierda se encuentra creciendo en un sustrato cuyo volumen es limitado por el tamaño del contenedor mientras que la de la derecha se encuentra en un ambiente ilimitado como es el suelo. La demanda aérea es la misma en ambos casos, por lo tanto, los sustratos deben proveer de un sistema poroso donde los intercambios de fluidos (líquido/gaseoso) sean muy rápidos. Esto se logra con poros grandes. En cambio, en el suelo, donde el intercambio de fluidos es más lento, la planta satisface su demanda explorando sitios vecinos. En la tabla 1 se resumen las diferencias entre suelo y sustrato.

Tabla 1: Diferencias entre suelo y sustrato

	SUELO	SUSTRATO
Génesis	Natural	Artificial
Raíces	Volumen de exploración ilimitado	Volumen de exploración limitado
Drenaje	Lento	Rápido
Nutrición	Natural y se pueden incluir fertilizantes y enmiendas	Controlada y aportada
Poder Buffer	Alto/bajo dependiendo de la	Dependiente de la composición

Un sustrato es un “factor de producción” que se encuentra interrelacionado con otros factores conformando un sistema de cultivo. Los factores son los siguientes:

- Sustrato
- Tamaño del contenedor
- Riego
- Fertilización
- Estado o etapa del año
- Especie
- Clima
- Tecnologías
- Etapa del cultivo

¿Qué significa formular un sustrato adecuado?

Consiste en crear un ambiente adecuado al crecimiento de las raíces y la condición más importante, proveer suficiente agua para la planta y al mismo tiempo un buen volumen de aire.

Como ya se mencionó anteriormente un sustrato puede estar formado por distintos componentes (Kämpf et al. 2006). Éstos pueden ser clasificados de la siguiente manera:

- 1) **Estructura básica:** Son los insumos que dan la estructura al sustrato y proporcionan el andamiaje para las plantas donde las raíces van a explorar el contenedor. Puede estar conformada por uno o varios insumos y generalmente componen el 60 – 70 % del volumen total del contenedor. (Turba de musgo Sphagnum H2-H3, H4-H6, turba subtropical, corteza de pino compostada, residuos de poda compostados, arena, etc).
- 2) **Complementos:** Son los materiales agregados para compensar alguna deficiencia de la estructura básica. (Por ejemplo, en el caso de que la estructura básica diseñada posea una escasa cantidad de poros destinados a la aireación de las raíces se agregaría en concepto de complemento perlita gruesa, 3-5 mm de diámetro). El complemento compone entre un 20-30% del volumen del contenedor. (Perlita, vermiculita, acículas de pino).
- 3) **Aditivos:** Son los componentes opcionales agregados en pequeña proporción (10% del volumen total del contenedor) tales como: fertilizantes, controladores de crecimiento, agentes humectantes, correctores de pH, biocontroladores.

Ejemplificando la organización propuesta por la investigadora, se presentan insumos con su respectiva clasificación teniendo en cuenta que el enfoque corresponde a las producciones de tipo *soilless* organopónicas de este trabajo.

A continuación, se pueden observar imágenes de algunos de los insumos ejemplificados.

Figura 3: Perlita gruesa



Figura 4: Perlita intermedia



Figura 5: Perlita fina



Figura 6: Turba fina de musgo Sphagnum H2 – H3 (escala Van Post).



Figura 7: Turba gruesa de musgo Sphagnum H4-H5 (escala Van Post).



Figura 8: Corteza de Pino fina compostada.



Figura 9: Corteza de Pino gruesa compostada.



¿Cómo se puede organizar el conocimiento de los diversos insumos?

Haciendo la caracterización de los materiales en sus propiedades físicas; fisicoquímicas, químicas y biológicas, siguiendo una serie de normas de reconocida precisión, reproducibilidad y repetitividad.

En este trabajo nos centraremos en las propiedades físicas y fisicoquímicas.

Propiedades físicas que caracterizan a un sustrato

- Densidad de sustrato (aparente) - DS: Densidad seca del sustrato, masa seca contenida en un centímetro cúbico de medio de cultivo. Se calcula relacionando el peso de las muestras secas con el volumen aparente.
- Densidad de partículas (real) - DP: Densidad del sólido que forma parte del sustrato, a diferencia de la densidad aparente no incluye el espacio poroso. Se calcula como el cociente entre la masa de las partículas del medio de cultivo y el volumen que ocupan. Su valor es propio del material.
- Porosidad total - PT: Es el porcentaje de volumen que no se encuentra ocupado por la fase sólida, es decir el sistema de espacios vacíos o poros. Se calcula como el cociente entre el volumen de poros y el volumen total que el medio ocupa en el contenedor (Ansorena Miner 1994).
- Economía hídrica:
 - Capacidad de retención de agua - CRA: El agua retenida en el sustrato luego de haber drenado toda el agua gravitacional. Se determina a una tensión equivalente a una columna de agua de 10 cm de espesor.
 - Porosidad de aire - PA: Son los poros que, en el estado anterior, se encuentran ocupados por aire.
 - Capacidad de contenedor - CC: Es el agua retenida en el sustrato luego de haber drenado el agua gravitacional y se calcula particularmente para cada tipo de contenedor. El mismo sustrato presenta distintos valores en contenedores con formas o alturas diferentes.
 - Agua fácilmente disponible - AFD: Agua retenida en los poros de 60-300 micrones. El agua retenida en poros de tamaño mayor a 300 micrones es liberada por la fuerza gravitatoria y se encuentran llenos de aire. Se determinan a un rango de tensiones equivalentes a una columna de agua entre 10 - 50 cm de espesor.
 - Agua difícilmente disponible - ADD: Agua retenida en los poros menores a 60-30 micrones. Por debajo de los 30 micrones el agua no se encuentra disponible para el vegetal. Se determinan a un rango de tensiones equivalentes a una columna de agua entre 50 - 100 cm de espesor.

- Curva de retención de agua: método que permite relacionar la variación en el contenido de agua volumétrico de un sustrato en un rango específico de tensiones. El Método de De Boodt (De Boodt et al. 1974 b) permite construir la curva característica de humedad en un rango de tensiones entre 0 y 100 cm de columna de agua (0-10 kPa).
- Granulometría: Distribución del tamaño de partículas de un material definiendo el tamaño de poros que se forman entre ellas. Es por esto que es una importante variable en la determinación de la relación agua-aire. El tamaño del poro se encuentra aproximadamente entre el 20-30% del diámetro de la partícula.
- Resistencia a la penetración: Zonas solidificadas que ofrecen resistencia a la penetración de las plantas. Puede deberse al tipo de insumos, uso y mal manejo del sustrato.

En la tabla a continuación se exponen distintos valores de referencia de las principales propiedades físicas de un buen sustrato (Abad et al. 1993). Considerando al sustrato como un factor de producción y recordando las interacciones con los demás factores, queda claro que no podemos generalizar los datos expuestos en la tabla 2 para la totalidad de las producciones.

Tabla 2: valores de referencia de las principales propiedades físicas de un buen sustrato.

Densidad de sustrato	<400 kg/m ³
Densidad de partícula	1550-2650 kg/m ³
Porosidad total	>85% v/v
Capacidad de retención de agua	55-70 % v/v
Contenido de aire	10-30 % v/v
Agua fácilmente disponible	20-30 % v/v
Agua de reserva (difícilmente disponible)	4-10 % v/v

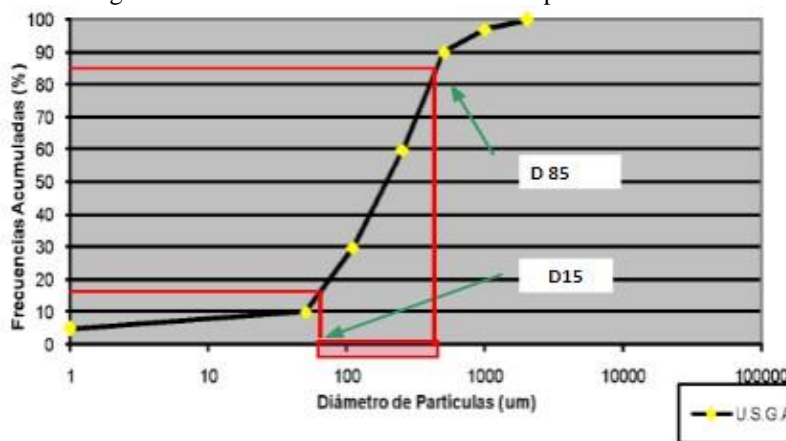
Abad et al. 1993. Metodología empleada según De Boodt 1974.

¿Cómo influye el tamaño y forma de las partículas en las propiedades físicas de un sustrato?

Para la elección de los distintos materiales que componen a un sustrato, como ya se comentó previamente, es de suma importancia tener en cuenta la **granulometría** de los mismos. La interacción entre los distintos tamaños de partículas determinará la distribución de tamaño de poros del sustrato. Existen herramientas, como es el caso de las curvas de frecuencias acumuladas (DTP= Distribución del tamaño de partículas), que nos permiten conocer si ocurrirán los procesos de oclusión de poros por intrusión de

partículas finas en los poros que dejan las partículas grandes. Esta técnica se obtuvo de la antropología, usada para poder identificar cronológicamente a diversos tipos de sedimentos, y así poder datar restos encontrados en ellos.

Figura 10: Gráfico semilogarítmico de distribución de tamaños de partículas en frecuencias acumuladas.

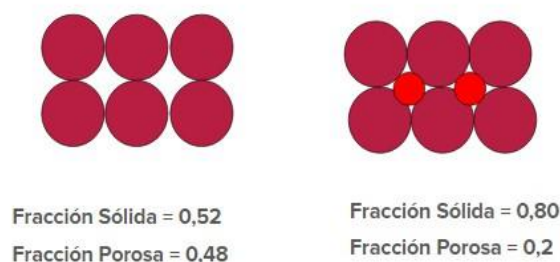


Adams et al. 1994.

A partir de la figura 10 se puede observar la cantidad de material expresado en forma acumulada y en porcentaje respecto al peso total de la muestra. Las clasificaciones de las separatas se grafican en función del diámetro menor de partículas (μm) separadas por el tamiz (muestra retenida en cada tamiz), en una columna de tamices que van desde su parte superior a la inferior, de los tamices más gruesos a los más finos.

Se determinan dos diámetros, ponderados por la cantidad de la muestra que ha pasado. Estos son D85 y D15. El D85 expresa el diámetro calculado por el que pasa el 85% de la muestra (partículas más gruesas), mientras que el D15 es el diámetro calculado por el que pasa el 15% de la muestra (partículas finas). Se recomienda que la diferencia entre estos sea de dos veces y medio, pudiéndose aceptar hasta 3 o 4 veces como máximo. De lo contrario, con diferencias mayores a 4 veces puede ocurrir el proceso denominado “translocación de partículas y colmatación de poros” donde las partículas más finas ocupan el espacio vacío generado entre las partículas más gruesas y producen una oclusión de poros (Figura 11) generando una reducción de la porosidad total efectiva.

Figura 11: Modelo con esferas que ejemplifica la oclusión de poros y reducción de la fracción porosa



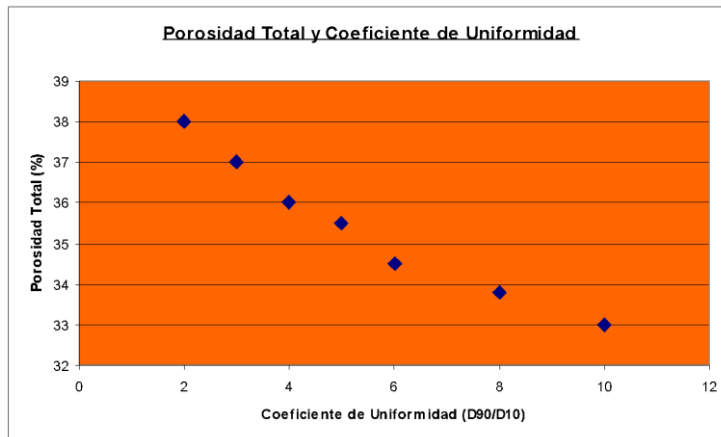
Adams et al. 1994.

Existen distintos tipos de interacciones entre los materiales. En un material que presenta poros ciegos (Ejemplo: perlita tiene una porosidad total efectiva del 65 - 70 % y tiene una porosidad total calculada del 95 %), al romperse (por ejemplo, a través de procesos de zarandeo en materiales como perlita y corteza) pueden aparecer poros intersticiales aumentando la porosidad total efectiva. En cambio, como ya se explicó, en materiales con alta dispersión de tamaño de partículas pueden aparecer poros ocluidos que disminuyen la porosidad total efectiva.

Las formas de las partículas y la combinación con materiales fibrosos dan lugar a interacciones referidas a distintos empaquetamientos (ordenamiento tridimensional de las partículas) que afectan también a la presencia de los poros, principalmente a los poros grandes. Éstos serán los de conducción rápida, destinados a eliminar los excesos de agua y por ende ser proveedores de aire para las raíces.

A través de la figura 12, se puede observar la variación de la porosidad total efectiva en función del coeficiente de uniformidad (D_{85}/D_{15}) (calculado como el cociente entre el diámetro ponderado de la partícula más gruesa y el de la más fina). Cuanto mayor es el coeficiente, menor es la uniformidad entre las partículas y por ende se reduce la porosidad.

Figura 12: Coeficiente de uniformidad de la mezcla y porosidad total efectiva alcanzada.

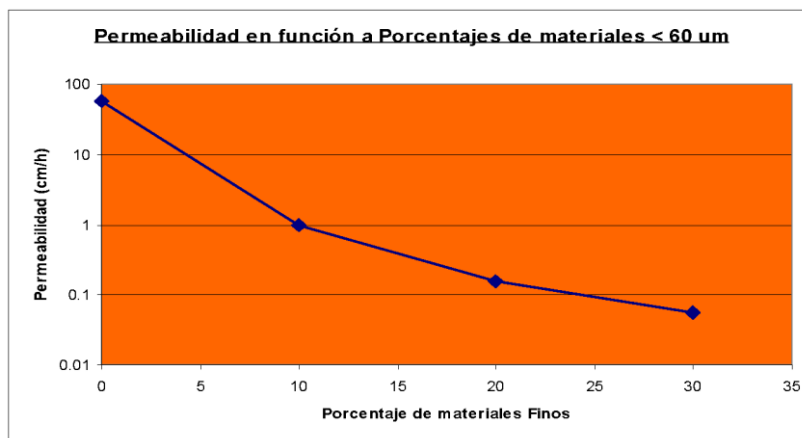


Adams et al. 1994.

Previo al uso de las curvas de liberación de agua se utilizaba el índice de grosor. Éste indica el porcentaje en peso de partículas iguales o mayores a 1mm y establece que los poros producto esas partículas, son muy útiles ya que permiten un rápido drenaje y suministro de oxígeno para las plantas. Se recomendaba que este índice no sea menor al 20 o 30 % para que el sustrato tenga un buen drenaje y capacidad de aire adecuada.

A continuación, se puede observar el efecto que posee el incremento de materiales finos y arenas en las mezclas de sustratos.

Figura 13: Variación de la permeabilidad del sustrato en función del porcentaje de materiales finos (<60 μm) en la mezcla.



Reed 1996.

En la figura 13 se muestra como varía la permeabilidad del sustrato en función del aumento del porcentaje de partículas finas en la composición del mismo. Sin partículas finas se puede observar como la permeabilidad es cercana al 100 cm/hora y a medida que aumenta el porcentaje de materiales finos en la mezcla, la permeabilidad decrece reduciendo el oxígeno disponible para las plantas. Por lo tanto, cuando a la estructura

básica se le incorporan los complementos se tiene que tener en cuenta el tamaño de partícula del mismo y el coeficiente de uniformidad para evitar la reducción de la porosidad total efectiva.

¿Cómo se crea la estructura de un sustrato?

El sustrato en bolsas o en pilas no posee una estructura. Si bien fue diseñado teniendo en cuenta el tamaño de partículas, los arreglos particulares entre éstas y la arquitectura de poros resultante, la estructura final del sustrato es determinada por el consumidor final. Dependiendo del manejo que éste realice a la hora del llenado de los contenedores y del asentamiento del sustrato en los mismos, se restablecerá o no la arquitectura de poros que se diseñó para el sustrato, creando su estructura definitiva.

Para crear una estructura se podrían resumir tres pasos:

- Mezclar los componentes
- Colocar el sustrato en su contenedor final
- Irrigar el sustrato y permitir la acomodación final.

Sólo después de estos pasos existe la estructura del sustrato que va a permitir el crecimiento de la planta.

En productos elaborados con materiales finos, tierra como también sustratos expuestos a un mal manejo pueden aparecer zonas masificadas o apelmazamientos generando una impedancia mecánica. Se produce una resistencia del sustrato al desplazamiento de las partículas sólidas por parte de las raíces impidiendo la penetración y su correcto crecimiento. El crecimiento de las raíces depende del arreglo de las partículas dentro del contenedor y determina la relación entre la masa del sustrato y el volumen de llenado: densidad de empaquetamiento. Si se produce una compactación del sustrato al llenar las bandejas (compactación con las manos, al apilar bandejas una arriba de otra sin ponerlas de forma oblicua) se altera el empaquetamiento original para el cuál fue diseñado.

La compactación trae como consecuencia un aumento en la resistencia a la penetración. Como ya se explicó anteriormente ocurre una densificación que genera resistencia al desarrollo de las raíces.

La resistencia a la penetración se encuentra condicionada por:

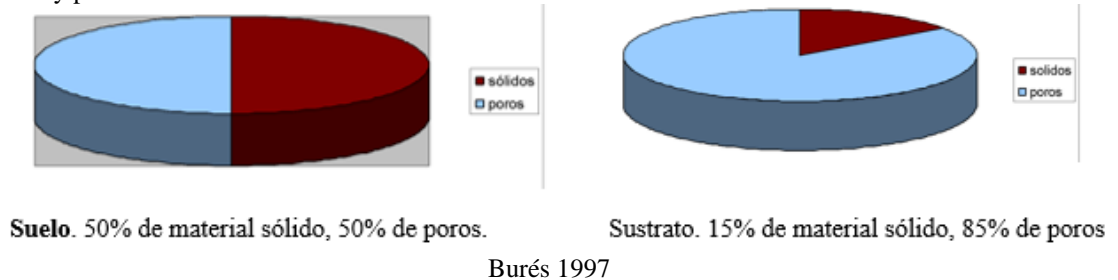
- Los componentes del sustrato: determinada por el fabricante.
- La forma y el tamaño de la maceta: Determinada por el productor.
- El manejo del sustrato (llenado): Interviene el operador, influye la humedad del sustrato y la forma en que se llena el contenedor.
- Las prácticas de riego: Tamaño de las láminas, frecuencia de riego. Este punto dependerá del sustrato y cuál es la cantidad de agua fácilmente asimilable (AFA) para la planta.

Se aconseja llenar los contenedores con el sustrato húmedo (entre un 50-55% de humedad), no compactar el mismo dentro del contenedor, no apilar las macetas o bandejas llenas de sustrato.

¿Cómo influye la distribución de tamaño de poros en el funcionamiento del sustrato en la relación sustrato-planta-atmósfera?

Los sustratos artificiales poseen una mayor porosidad total que un suelo mineral (Figura 14).

Figura 14: Comparación entre un suelo y sustrato de la proporción de volumen que es ocupado por material sólido y poros.



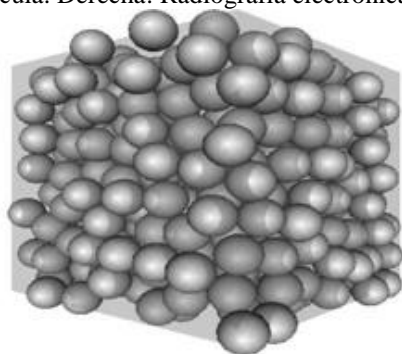
Existen distintos tipos de poros:

Poros externos o interpartícula: son poros que se forman entre las partículas, dedicados al drenaje rápido y suministro de aire. Los sustratos tienen poros de mayor tamaño cuando las partículas son de mayor tamaño.

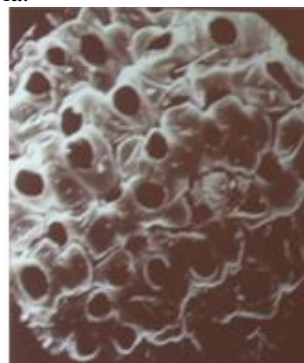
Poros internos o intrapartículas: poros característicos de cada material, que pueden ser abiertos u ocluidos (conectados o no con el exterior). Son los poros que diferencian al suelo de un material que puede ser usado como sustrato.

En la figura 15 a la derecha se puede observar una radiografía electrónica de una turba rubia con poros de alrededor de 16/30 micrones. Éstos están encargados de retener agua, por eso las turbas retienen casi 9 veces su peso en agua.

Figura 15: Izquierda: Modelo de esferas de vidrio que ejemplifican a la disposición de los poros externos o interpartícula. Derecha: Radiografía electrónica de una turba rubia.



Poros externos o interpartículas



Poros internos o intrapartículas

Vence et al. 2010 b.

Según el tamaño, los poros se pueden clasificar en:

Macroporos: en sustratos granulares pueden ser mayores a 0,3 mm, corresponden aproximadamente al espacio entre partículas mayores a 1 mm. Son los que proveen una adecuada capacidad de aireación.

Mesoporos: Poros entre 0,3 - 0,06 mm, ofrecen el agua que la planta puede tomar fácilmente.

Microporos: generalmente son poros internos de las partículas sólidas. Son los que se encuentran con agua fuertemente retenida siendo dificultosa para que la absorban las raíces y con la fracción de agua no útil para los vegetales.

¿Qué significa el término capacidad de contenedor?

Es el volumen de agua relativo al volumen total, que queda retenido en el sustrato en un contenedor de altura h , una vez saturado y dejado drenar libremente sin sufrir evaporación, se expresa en % volumétrico (v/v) (cm^3 agua/ cm^3 total del contenedor). Representa la máxima cantidad de agua que ese sustrato puede retener en ese contenedor.

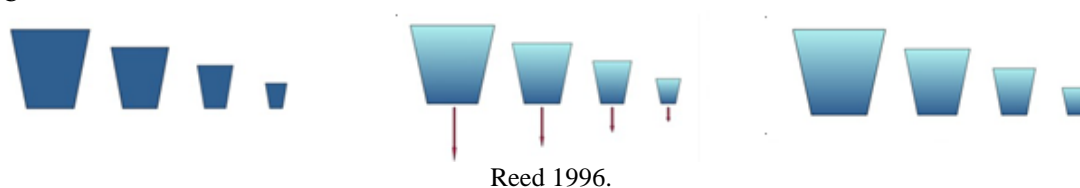
A ese valor de capacidad de contenedor (CC) le corresponde una porosidad de aire, denominado también como capacidad de aire (CA), que es el mínimo volumen de aire que tendrá ese sustrato en ese estado de capacidad de contenedor.

En la figura 16 se pueden ver 4 contenedores de distintos tamaños. En la figura del extremo izquierdo el sustrato se encuentra totalmente saturado, todos los poros están llenos de agua. Debido a la fuerza gravitatoria comienza el drenaje rápido, los poros que drenan agua se van llenando de aire (estado no saturado) hasta que el estado energético del sustrato llega al equilibrio, el drenaje cesa y el sustrato se encuentra a **capacidad de contenedor** (figura del extremo derecho).

En la figura del medio se ve cómo la altura del contenedor influye en el drenaje y por ende en el contenido de aire que quedará en el sustrato. A mayor altura de contenedor, mayor es el peso de las columnas de agua (debido a la fuerza gravitacional) y por ende mayor es el drenaje hasta igualarse con la presión atmosférica y llegar al equilibrio.

Por lo tanto, los contenedores de mayor altura tienen una proporción de agua menor y más aire por unidad de volumen en comparación a los de menor altura.

Figura 16: Distintos tipos de contenedores y su efecto en el comportamiento del agua luego de ser saturados. Izquierda: Contenedores totalmente saturados. Medio: Contenedores drenando. Derecha: Contenedores a CC



¿Cómo influye el tamaño y forma del contenedor en la economía del agua y aire?

Si bien ya se vio que la altura del contenedor influye en la economía del agua y aire también el tamaño y forma del mismo pueden afectarla.

En la siguiente figura se pueden observar dos tipos de contenedores, cilíndrico y tronco-cónico.

Figura 17: Contenedores de distinta forma, cilíndrico (izquierda) y tronco-cónico (derecha).



En el caso de los contenedores cilíndricos, estando el sustrato a CC la distribución de aire y agua varía, pero no predominan volúmenes elevados de porosidad de aire. En cambio, en los troncocónicos el volumen de aire es mayor en la parte superior del contenedor.

Propiedades físico-químicas y químicas

¿Cómo afecta el pH en los sustratos?

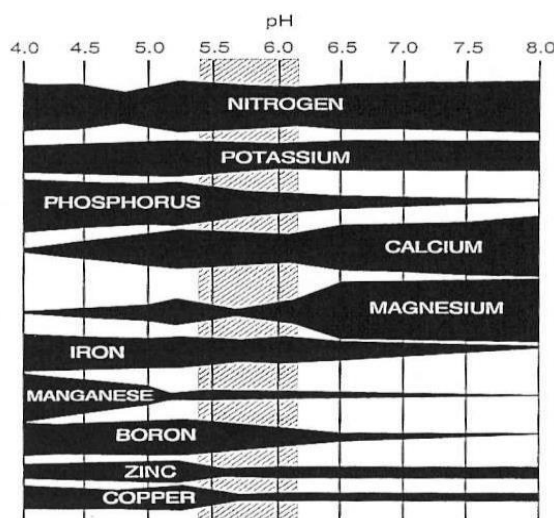
El pH es una medida de la concentración de iones hidrógenos en una solución y tiene una implicación absoluta en todo lo que es material vivo, tanto por su efecto en los distintos grupos bacterianos (acidófilos, neutrófilos, basófilos) como en la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

En general el pH de un sustrato se puede corregir mediante el uso de aditivos como la dolomita ($CaMg(CO_3)_2$) y calcitas ($CaCO_3$) que permitirán elevar el pH en caso de utilizar insumos muy ácidos.

El pH de la solución del sustrato afecta la solubilidad de los compuestos y por lo tanto la disponibilidad de los nutrientes en solución y en algunos casos afecta también procesos fisiológicos de la planta.

En el esquema de la figura 18 se observa el grado de disponibilidad de los distintos nutrientes representado por el ancho de banda negra. La franja rayada en segundo plano es el rango de pH adecuado para la mayoría de los cultivos y representan los valores de pH en que se ofrecen los sustratos por parte de los fabricantes.

Figura 18: Grado de disponibilidad de distintos nutrientes indicados según el ancho de la banda negra en función del pH del sustrato. La franja rayada en color gris indica el rango de pH en el que se entregan los sustratos.



Reed 1996.

Los valores de referencia para los pH de los sustratos orgánicos están entre 5,2 - 6,3 (medidos por el método de extracto de saturación, SME). En suelos se consideran valores adecuados de pH en el rango 6,3 - 7,3.

En suelos, los rangos corresponden a pH un poco mayores en comparación a los sustratos orgánicos. Esto es debido a que en general hay una fracción inorgánica importante representada por arcillas con un grado de saturación relevante de bases y con fracciones orgánicas que no superan el 4 o 5% en peso. En cambio, en los sustratos orgánicos, con una reserva ácida importante, la fracción es de un 85% en peso determinando valores de pH más ácidos.

Las turbas de musgo *Sphagnum*, que crecen en Tierra del Fuego, con climas muy fríos y precipitaciones importantes, son Ombrotróficas. Presentan una baja cantidad de nutrientes teniendo pH ácidos. En cambio, las turbas subtropicales (mal llamadas resacas), sobre todo las provenientes desde Entre Ríos, Corrientes y hacia el norte en algunos humedales, están sometidas a temperaturas mayores manteniendo una significativa actividad microbiológica que induce a un aumento de pH al liberarse elementos básicos por procesos de liberación y, además por escorrentía del entorno, reciben arcillas del suelo que poseen bases retenidas en sus estructuras debido a su alta CIC. Esto hace que las turbas subtropicales, a diferencia de las *Sphagnum*, tengan pH mayores.

Las cortezas de especies arbóreas como los pinos, suelen ser ácidas, pero durante el proceso de compostaje, el pH puede aumentar hasta 6 – 6,5 aproximadamente por la liberación de bases durante el proceso de mineralización biológica. Con respecto a los mantillos, sobre todo los provenientes de restos de especies arbóreas del NOA, pueden registrar estos valores de pH o mayores.

De acuerdo al pH de los distintos insumos y sus interacciones, se obtendrá el pH final del sustrato. En caso de tener que corregirlo debido a pH muy ácidos, se debe hacer una vez combinados todos los insumos sobre la producción final del sustrato.

¿Qué puede hacer variar el pH de un sustrato orgánico?

- Calidad del agua de riego
- Efecto de los fertilizantes usados
- Efecto del material de encalado
- Efecto de las raíces de las plantas
- Capacidad buffer de los sustratos

El pH de un cultivo debe monitorearse regularmente, dependerá de la capacidad buffer del sustrato la respuesta a las variaciones de pH.

El efecto del agua de riego es muy importante ya que aguas muy duras pueden generar que el pH del sustrato aumente generando problemas en el cultivo. Esto ocurre de forma muy habitual en Buenos Aires ya que el agua proviene del acuífero Puelche cuya concentración de carbonatos y bicarbonatos es muy elevada produciendo que el pH de los sustratos evolucione a 8.1-8.2. En general se puede corregir el agua de riego utilizando ácidos (ácido fosfórico o nítrico) como también realizar un tratamiento de ósmosis inversa o utilizar agua de lluvia.

Por otro lado, los fertilizantes usados también son un factor importante en la variación del pH. Los nitrogenados tienden a disminuir el pH y los que son a base de calcio, potasio y magnesio tienden a subirlo. De acuerdo a la etapa ontogenética de la planta hay fases de crecimiento donde se tienden a consumir más nitratos quedando las bases en solución y por ende aumenta el pH del sustrato. En otras etapas, la tendencia es a absorber más las bases y al quedar los Nitratos en solución se acidifica el sustrato.

¿Qué efectos produce un pH fuera de rango?

- Deficiencia de nutrientes
- Toxicidad por exceso
- Retardo en el crecimiento
- Aumento en el riesgo de las enfermedades
- Estrés
- Muerte de la planta

El pH adecuado para un sustrato dependerá de la especie que será cultivada y de sus distintos requerimientos y tolerancias. Hay especies que son más susceptibles al pH del sustrato donde son cultivadas que otras. A su vez la interacción entre sustrato y planta también es un factor que se debe tener en cuenta ya que las plantas pueden producir variaciones como es el caso de, por ejemplo, los geranios y pensamientos que tienden a elevar el pH del medio.

¿Cómo afecta el contenido de sales en la solución del sustrato?

El contenido de sales afecta al potencial osmótico de la solución del sustrato por lo tanto a mayor cantidad de sales menor capacidad del agua para moverse hacia la raíz. A través de la conductividad eléctrica, medida con un conductímetro, se puede calcular el potencial osmótico de la solución del sustrato mediante la siguiente fórmula:

$$\Psi_o \text{ (kPa)} = - 36 \times \text{CE (dS/m)}$$

(Richards 1954).

Cuando la concentración de sales en la solución aumenta, aumenta la CE y disminuye el Ψ_o . El término “salinidad” o “tenor de sales solubles” (TSS), se refiere a los compuestos inorgánicos capaces de disolverse en agua. Se tienen en cuenta todos los iones presentes, sean nutrientes o no. La sensibilidad a la concentración salina varía con las especies y con la edad de la planta, cuanto más joven más sensible es. En general los sustratos que son utilizados para germinar y producir plantines poseen un suministro de nutrientes para los primeros 15 días con un contenido de sales bajo. Luego el productor será el que se encargue de la fertilización para los estadíos posteriores. Dentro del contenedor, la salinidad final está determinada por la cantidad de sales solubles que aporta el sustrato (siendo bajo en la mayoría de los sustratos fabricados teniendo valores entre 0,25 - 0,60 mS/cm), las aportadas por el agua de riego, y la aportadas por la solución con la que se está fertilizando. Un agua de riego considerada como “buena” debe tener hasta 0,75 mS/cm de conductividad eléctrica.

Una carga de fertilizante puede llegar a tener aproximadamente 0,5 o 0,7 y hasta 1 mS/cm. El rango de salinidad total esperada habitualmente se sugiere de mantenerla en un rango entre 1,6 - 2,4 mS/cm.

¿Cuál es la relación entre el agua fácilmente disponible y el contenido de sales?

Si regamos un sustrato que tiene una buena cantidad de agua fácilmente disponible (AFD) la raíz podrá absorber agua sin gasto de energía. Pero si el agua de riego posee una alta concentración de sales, esto reducirá el movimiento del agua hacia las raíces y la planta deberá realizar un gasto de energía. Esto ocurre debido a que el potencial agua será afectado por el potencial osmótico, cuyo valor será menor cuanto mayor sea el contenido de sales solubles

¿Cómo se puede monitorear al cultivo?

Existe una metodología denominada “*Pour Thru*” que permite monitorear a los cultivos en contenedores. La misma consiste en realizar sucesivos riegos con agua destilada y recolectar el volumen lixiviado para poder medir su conductividad eléctrica y determinar el estado nutricional del cultivo.

4 CONCLUSIÓN

En un país como Argentina, con una superficie tan amplia y con una gran variedad de zonas de producción y disponibilidad muy diversa de insumos, se cree meramente importante establecer ciertos criterios en el conocimiento local frente a la cantidad de información que se recibe del exterior que, si bien son herramientas útiles, también pueden generar confusión.

Este trabajo permite aportar una revisión y ordenamiento en los criterios a seguir a partir de las propiedades físicas y fisicoquímicas, para la elaboración y manejo de los sustratos puros o combinados, en la producción de cultivos sin suelo (*soilless*). A su vez, permite lograr una amplia difusión sobre este tema uniformando criterios a la hora de formular y utilizar sustratos o mezclas para la producción en contenedores y brinda información de gran valor para la formación de formadores profesionales que se encargaran de transmitir dichos conocimientos al sector.

Estas prácticas tecnológicas abordadas generan un beneficio para los productores de cultivos y a su vez sirven de guía para dar lugar a la planificación de ensayos en ambientes académicos, red de estaciones experimentales y empresas productoras de sustrato para el desarrollo de nuevos productos y el correcto uso de los ya existentes.

REFERENCIAS

- Abad, M.**, Martinez-Herrero, M.D., Martinez-Garcia, P.F. y Martinez-Corts, J. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Acta de Horticultura*, 11:141- 154, Madrid.
- Abad, M.** y Noguera, P.1997. Los sustratos en los cultivos sin suelo. Pp 101-150 en Urrestarazu, M. (ed.). *Manual de cultivo sin suelo*, Universidad de Almería, Almería.
- Adams, W.A.**, Gibbs, R.J. 1994. *Natural turf for sport and amenity science and practice*. Editorial CAB International, Cambridge University. I.S.B.N 0-85198-720-6. 404 páginas.
- Ansorena Miner, J.** 1994. *Sustratos, propiedades y caracterización*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Baumgarten, A.** 2001. Statistical evaluation of the methods standardized by CEN. *Acta Hort.* 548:647-653.
- Bohne, H.** y Günther, C. 1997. Physical properties of peat determined with different methods. *Acta Hort.* 450:271-276.
- Bragg, N.C.** y Chambers, B.J. 1988. Interpretation and advisory application of compost air-filled porosity (AFP) measurements. *Acta Hort.* 221:35-44.
- Bunt, A.C.** 1983. Physical properties of mixtures of peats and minerals of different particles size and bulk density for potting substrates. *Acta Hort.* 150:143-153.
- Burés, S.** 1997. *Sustratos*. Editorial Agrotécnicas s.l, España. I.S.B.N 84-87480-75-6. 342 páginas.
- Caron, J.**, Elrick, D., Beeson, R. y Boudreau, J. 2005. Defining critical capillary rise properties for growing media in nurseries. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:794-806.
- De Boodt, M.** y Verdonck, O.1971. Physical properties of peat and peat-moulds improved by perlite and foam-plastics in relation to ornamental plant-growth. *Acta Hort.* 18:9-25.
- Fermino, M.H.** 2003. *Métodos de Análise para caracterização física de sustratos para plantas*. Tesis doctoral en Fitotecnia. UFRGS Porto Alegre.
- Fermino, M.H.** y Kämpf, A. 2005. Considerations about the packing density of growing media prepared under increasing levels of humidity. *Acta Hort.* 697:147-151.
- Fonteno, W.C.**, Cassel, D.K. y Larson, R.A. 1981. Physical properties of three container media and their effect on poinsettia growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106(6): 736- 741.
- Gabriëls, R.**, van Keirsbulck, W. y Verdonck, O. 1991. Reference method for physical and chemical characterization of growing media: An international comparative study. *Acta Hort.* 294:147-160.
- Gabriëls, R.** 1995. Standarization of growing media analysis and evaluation: CEN/ISO/ISHS. *Acta Hort* 401:555-557.
- Martinez Farré, F.X.** 1992. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Actas de las I Jornadas de Sustratos, SECH:* 55-66.

- Raviv, M.** y Leith, J.H. 2008. *Soilless culture: theory and practice*. Elsevier.
- Reed, D.Wm.** 1996. *Water, Media, and Nutrition for Greenhouse Crops: A Grower's Guide*. Ball Publishing, Batavia, Illinois, USA. ISBN 1-883052-12-2; (314 pag).
- Richards, L.A.** 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils*. Salinity Laboratory, USDA Handbook 60. Government Printing Office. Washington. (Traducción castellana: Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Editorial Limusa, México, 1973. 172 pp).
- Schmilewski, G.** y Günther, J. 1988. An international comparative study on the physical and chemical analysis of horticultural substrates. *Acta Hort.*221:425-441.
- Valenzuela, O. R.** y Gallardo, C.S. 2003. Los sustratos: un insumo clave en los sistemas de producción de plantines. *IDIA XXI Año III (4) : 25-29*.
- Valenzuela, O. R.,** Gallardo, C. y Kämpf, A. 2008. Regional components used as growing media in Argentina. *Acta Hort* 779:643-648.
- Valenzuela, O.R.** 2009. *Caracterización y evaluación agronómica de materiales regionales usados en la formulación de sustratos para plantas*. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario. 153p.
- Valenzuela, O.R.** 2019. *El cultivo sin suelo y la sustentabilidad de las producciones intensivas*. Boletín de Divulgación Técnica N° 24; ISSN 0327- 3237. Ediciones INTA, San Pedro 1ra edición. 16p.
- Van Os, E.A.** 1999. Closed soilless growing systems: a sustainable solution for dutch greenhouse horticulture. *Water Sci.Techol.* 39:105-112.
- Vence, L.,** Valenzuela, O. y Svartz, H. 2010b. Caracterización física de sustratos con fines comerciales: densidad y capacidad de retención de agua medidas por diferentes métodos. En actas “V ENSUB, Encontro Nacional de Substratos para Plantas”, Goiania, GO, Brasil.
- Vence, L.B.** 2012. *Métodos de determinación de parámetros que estiman la disponibilidad de agua- aire en sustratos para plantas y su relación con la respuesta vegetal*. Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires, Área Ciencia del Suelo.
- Verdonck, O.,** Cappaert, I.M. y De Boodt, M. 1978. Physical characterization of horticultural substrates. *Acta Hort.* 82:191-200.
- Verdonck, O.** y Gabriëls, R. 1988. Summary of discussion on “standardization of analytical methods”. *Acta Hort.* 221:443-444.
- Wallach, R.,** da Silva, F, y Chen, Y. 1992b. Hydraulic characteristics of tuff (scoria) used as a container medium. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(3):415-421.
- Wever, G.** 1995. Physical analysis of peat and peat- based growing media. *Acta Hort.* 401:561-567.
- Wever, G.** y van Winkel, A. 2004. Interlaboratory study CEN-Methods for the analysis of growing media and soil improvers. *Acta Hort.* 644: 597-601.