



Los tensiómetros para la medida de la humedad de los sustratos y para la automatización del riego en los cultivos sin suelo, se ha visto limitada por las características de los tensiómetros convencionales con vacuómetro o con nivel de mercurio.

La aparición de transductores de presión permite una más precisa medida del potencial matricial en el rango específico de los sustratos hortícolas (0-100 cm de columna de agua).

La relación entre el potencial matricial y el potencial eléctrico de los transductores actualmente disponibles es lineal y, además se presentan compensados frente a las variaciones de temperatura. En la fotografía superior, detalle de un tensiómetro, con transductor de presión, de pequeñas dimensiones, apto para la correcta medida del potencial matricial del sustrato en contenedores. En la imagen inferior, registros del potencial matricial, de diferentes sustratos sometidos a diferentes frecuencias de riego, mediante tensiómetros con transductor de presión (O. Marfà).



La física de sustratos

Algunas perspectivas y desarrollos actuales

Dr. ORIOL MARFÀ

*Dept. de Tecnologia Hortícola del IRTA
Centre de Cabrils (Barcelona)*

En el estudio de la física de los sustratos se observan dos tendencias o modos de actuación: En un extremo la del mecanicismo y la modelización y en el otro la del empirismo. Cada uno de estos modos pueden conducir respectivamente o bien a una desconexión con la realidad práctica de las relaciones entre el sustrato y la planta (modo mecanicista) o a una limitación en la generalización de los resultados experimentales (modo empírico).

Con objeto de paliar estas dificultades se debería actuar

en las direcciones siguientes:

a) Trasladar al estudio de los sustratos conocimientos de la física de suelos tanto a nivel de los conceptos y de la relación entre conceptos, como de los procedimientos metodológicos.

b) Utilizar con criterios finalistas, es decir para resolver los problemas propios de los sustratos, métodos y técnicas desarrollados en y para otras especialidades como la mecánica, la electrónica, la matemática, etc. ...

c) Promover los estudios que relacionan las condiciones o las propiedades de los sustratos con la planta y su fisiología.

Para ilustrar cada una de estas orientaciones se exponen sucintamente algunos trabajos recientes desarrollados por el autor y colaboradores.

Descripción de la granulometría de los sustratos e interpretación de resultados

La descripción clásica de la granulometría de un sustrato se realiza mediante la representación gráfica o la tabulación de los contenidos relativos de las diferentes fracciones que corresponden a los intervalos establecidos según la secuencia de tamices utilizados. Naturalmente que los métodos gráficos son útiles pero no proporcionan parámetros unívocos y representativos de la composición granulométrica de un sustrato, y que ayuden a comparar

Cuadro 1:
Descripción de la granulometría de tres sustratos mediante intervalos granulométricos (a) y mediante estadísticos geométricos (b)

	Perlita A-13	Perlita B-6	Arena silíceas
Intervalos (mm)			
> 8	0	0	0
8-4	0.39	0	0
4-2	92.43	1.32	0.89
2-1	3.12	4.70	3.88
1-0.5	0.41	23.80	22.98
0.5-0.25	0.14	36.90	44.66
0.25-0.125	0.31	22.30	17.97
< 0.125	3.19	11.56	9.62
Estadísticos geométricos			
dg (mm)	2.55	0.33	0.35
σg	2.06	2.31	2.36

diferentes sustratos o variaciones de la granulometría de un mismo sustrato. Por ejemplo cómo interpretar en base a la descripción clásica, por lo menos con 8 datos por muestra, las variaciones granulométricas de un mismo sustrato debidas al uso?.

Si acudimos a la física de suelos veremos que este problema ya se planteó y que se aportaron soluciones: En efecto se trata de utilizar parámetros estadísticos de tipo geométrico cuyo cálculo es muy sencillo y que permiten resolver el problema planteado. Estos parámetros son:

dg : media geométrica del tamaño de las partículas, informa del tamaño medio de las mismas y representa al diámetro de partícula que corresponde a una probabilidad del 50% en la distribución.

σg : desviación estándar geométrica, informa de la dispersión de la distribución granulométrica en términos de probabilidad de forma que la mayoría de las partículas tendrán un diámetro comprendido entre dg x σg y dg/σg.

En el ejemplo del Cuadro 1 en lugar de manejar 24 = (8 x 3) datos correspondientes a la granulometría de dos tipos de perlita, A-13 y B-6 y una arena, bastará con 6 = (2 x 3) datos, o sea, dg, σg, para cada sustrato. Nótese que dg y σg se refieren al conjunto de cada composición granulométrica y por tanto permiten comparar las granulo-

metrías de diferentes sustratos entre sí.

Finalmente indicar que ambos parámetros hacen posible establecer una clasificación de texturas para los sustratos, como se ha hecho para suelos; pero esto merece una exposición más detallada.

Uso de tensiómetros con transductor de presión

La utilización de tensiómetros para la medida de la humedad de los sustratos y para la automatización del riego en los cultivos sin suelo se ha vis-

Los sustratos hortícolas, en general, tienen una granulometría más gruesa que los suelos naturales, cuando contienen la máxima cantidad de agua la conducen muy fácilmente, pero al desecarse la conductividad desciende bruscamente restringiéndose el flujo de agua hacia la planta.

to limitada por las características de los tensiómetros convencionales con vacuómetro o con nivel de mercurio. La aparición de transductores de presión permite una medida precisa del potencial matricial en el rango específico de los sustratos hortícolas (0 a 100 cm. de columna de agua). La relación entre el potencial matricial y el potencial (o intensidad) eléctrico de los transductores actualmente disponibles es lineal ; además se presentan compensados frente a las variaciones de temperatura y no suelen sufrir histéresis. Las señales eléctricas pueden recogerse en un sistema de adquisición de datos y/o enviarse a un autómata de riego. Así este parámetro puede utilizarse como parámetro único en la gestión del arranque del riego o bien como parámetro corrector de las derivas propias de los modelos basados en la evapotranspiración o en la radiación solar incidente. La fotografía adjunta muestra la evolución del potencial matricial de varios sustratos en ciclos de riego sucesivos medido con tensiómetros con transductor de presión.

El potencial matricial (ψ), y la conductividad hidráulica de los sustratos (K), y su relación con el estado hídrico, la fisiología y la productividad de las plantas

Con la mayoría de los sustratos se observa que para obtener producciones aceptables no se puede desecar por encima de un nivel que, en términos de tensión con la que el sustrato retiene el agua (potencial matricial, -ψ), es de 100 cm. de columna de agua (cm.c.a.). Pero también se ha observado, de forma bastante general que el comportamiento de una planta, cultivada en diferentes sustratos, es diferente aunque se riegue de tal forma que no se supere un mismo valor de ψ para todos ellos.

Esto significa que al margen de diferencias de naturaleza química, existen otros parámetros distintos de ψ, relacionados con el sustrato y con el agua que contiene, que condicionan tanto o más la respuesta de la planta. Naturalmente dos de estos parámetros son el contenido relativo de agua (θv) y el contenido absoluto

de agua en un determinado contenedor (Abs θ_v). Algunos autores han correlacionado positivamente el contenido absoluto de agua justo antes del riego con la respuesta productiva de la planta y con esta misma orientación se han empleado criterios de riego basados en un porcentaje de agotamiento del agua fácilmente disponible (AFD).

Además de estos parámetros de tipo estático (ψ , θ_v , Abs θ_v , AFD) para comprender las relaciones sustrato-agua-planta y para establecer las pautas de manejo del riego se deben considerar parámetros dinámicos. Esto significa conocer la capacidad de un sustrato con una determinada humectación, de conducir el agua. Esta capacidad se mide mediante un parámetro, común en hidrología y en edafología, denominado conductividad hidráulica, K.

Así en los sustratos hortícolas, que en general tienen una granulometría más gruesa que los suelos naturales, cuando contienen la máxima cantidad de agua (saturación) la conducen muy fácilmente; pero al desecarse, a partir de un determinado contenido de humedad específico para cada sustrato, la conductividad desciende bruscamente y se restringe "dramáticamente" el flujo de agua hacia la planta, ésta a su vez adopta estrategias para hacer frente a las condiciones de estrés hídrico. Esta situación es particularmente acusada en los sustratos en los que predominan las fracciones gruesas, como por ejemplo en la perlita tipo A-13 que usamos como ejemplo (Cuadro 1).

En la práctica esto quiere decir que cuando cultivamos en sustratos de granulometría gruesa deberemos regar muy frecuentemente, con dosis bajas, si deseamos que el sustrato conduzca agua hacia las raíces sin excesiva dificultad (resistencia) y así lograr una buena cosecha.

Resumiendo, las plantas, en mayor o menor medida, son sensibles no solamente al contenido de agua en el sustrato y a la fuerza con que éste la retiene sino además, independiente a la conductividad hidráulica, K, del sustrato du-

Cuadro 2:
Productividad de un cultivo de lechuga en dos tipos de sustratos regados cuando el potencial matricial alcanzó -20 cm.c.a. y valores de la conductividad hidráulica a -20 cm.c.a.

	Conductividad hidráulica -20 cm.c.a. (cm/min)	Peso fresco por lechuga (g)	Peso seco por lechuga (g)	Superficie foliar por lechuga cm ²
A-13	1.84 10 ⁻⁶	355 A	11.0 A	5199 A
B-6	0.89 10 ⁻³	648 B	16.9 B	7696 B

Cuadro 3:
Productividad de un cultivo de pimientos en dos tipos de sustratos y cuatro tamaños de contenedor

	Sustratos		Tamaños contenedor *			
	Perl. A-13	Perl. B-6	1	2	3	4
Peso seco hojas/planta (g)	4.20 a	5.72 b	5.45 a	5.57 a	4.62 ab	3.87 b
Superficie foliar/planta (cm ²)	1088 a	1523 b	1496 a	1387 a	1149 a	1025 b

* Tamaño 1) 1800 ml, 2) 1350 ml, 3) 900 ml, 4) 450 ml.

rante el cultivo (Cuadro 3); K depende de las características físicas del sustrato y del manejo del riego.

El Cuadro 2 muestra la productividad de lechugas cultivadas en sacos en dos tipos de perlita (gruesa: A-13, fina: B-6) regadas, ambas, cuando se alcanzan -20 cm.c.a. de potencial, obsérvense las diferencias de conductividad hidráulica, a -20 cm.c.a., para cada sustrato y las diferencias respectivas de productividad.

El Cuadro 3 muestra la productividad de plantas de pimiento, en estadio vegetativo, regados diariamente, cultivados en los dos tipos de perlita utilizados como ejemplos de sustratos físicamente diferenciados, y en cuatro tamaños de contenedor. El efecto de los tipos de sustrato y el efecto del tamaño del contenedor fueron independientes entre sí.

Bibliografía

- Orozco, R., Marfà, O. 1993. Granulometric alteration, air-entry potential and hydraulic conductivity in perlites used in soilless cultures. Int. Seminar "Updating the soilless cultivation technology for protected crops in mild winter climates". Crete, Grecia, Acta Hortic. (en prensa).
- Marfà, O., Serrano, L., Martínez, A. 1992. Uso de tensiómetros con transductor de presión en sustratos. Actas de Horticultura 11:87-96.
- Marfà, O., Orozco, R. 1994. Non saturated hydraulic conductivity of perlites: Some effects on pepper. Symposium on growing media and plant nutrition in horticulture. Naaldwijk. Holanda. Acta Hortic. (en prensa).

Durante las segundas jornadas del Grupo de Trabajo de Sustratos de Cultivo de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas, que tuvieron lugar en Catarroja (Valencia) del 28 al 30 de junio de 1994, los Dres. Oriol Marfà y Silvia Burés, del Departamento de Tecnología Hortícola del IRTA, Cabrils (Barcelona), presentaron una ponencia sobre el tema de la física de los sustratos vista desde una perspectiva actual. Oriol Marfà presentó los últimos avances en la gestión del manejo del riego en sustratos en base al conocimiento de su comportamiento hidráulico, mientras que Silvia Burés presentó nuevas técnicas aplicables a la caracterización micromorfológica de sustratos, incluyendo el análisis de imágenes y la simulación mediante ordenador. El artículo anterior, resumía dicha ponencia de la Dra. Silvia Burés, y el presente trabajo es el resumen correspondiente a la del Dr. Oriol Marfà.