

## MÉTODO DE DE BOODT PARA MEDIR LA RETENCION DE HUMEDAD EN SUSTRATOS EN EL RANGO DE 0 A 100 cm DE CABEZA DE AGUA.

*Por: Felipe Calderón Sáenz*

*Dr. Calderón Laboratorios*

*Bogotá D.C., Colombia*

[calderon@drcalderonlabs.com](mailto:calderon@drcalderonlabs.com)

*Rev. Nov 30 de 2021, Dic 5 de 2021, Dic 10 de 2021, Dic 20 de 2021, Dic 21 de 2021*

### INTRODUCCION

Esta prueba aplica a sustratos para cultivos Hidropónicos con el sistema radicular confinado en recipientes como materas, tubos, bolsas, camas etc.

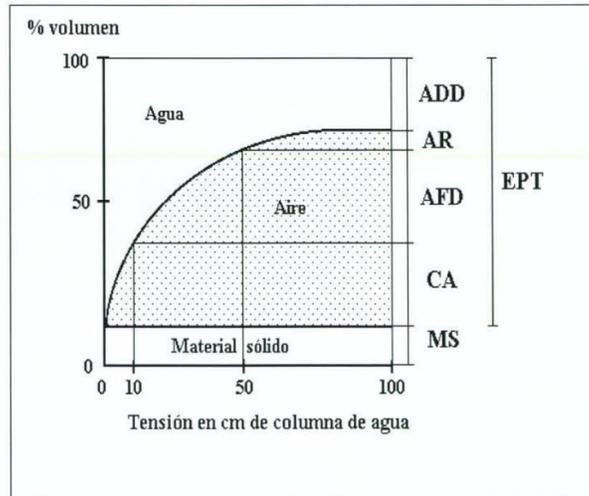
### ANTECEDENTES

De acuerdo con una publicación de la Dra. Silvia Burés, citando artículos de De Boodt & Verdonck, que a la letra dice:

..... De Boodt, Verdonck y Cappaert desarrollaron a principios de los años 70s en la Universidad de Gante (Bélgica) la "Curva de liberación de agua para sustratos orgánicos" basándose en establecer tensiones a sustratos situados en embudos mediante un sistema de vasos comunicantes. Ellos fijaron los límites de esta curva entre 0 y 100 cm de tensión y definieron la nomenclatura que todavía actualmente sigue vigente en numerosos laboratorios para clasificar el agua en el sustrato:

- Agua difícilmente disponible (ADO): es el agua, en tanto por ciento en volumen, que queda retenida en el sustrato tras aplicar una tensión de 100 cm de columna de agua.
- Agua de reserva (AR): es el porcentaje en volumen de agua que se libera entre 50 y 100 Cm de columna de agua de tensión sobre el sustrato.
- Agua fácilmente disponible (AFD): es el tanto por ciento en volumen de agua que se libera entre 10 y 50 Cm de tensión en columna de agua sobre el sustrato.
- Capacidad de aire (CA): es el porcentaje en volumen de agua que se libera entre 0 y 10 cm de columna de agua de tensión, o tanto por ciento de aire que queda en el sustrato a una tensión de 10 cm de columna de agua.
- Material sólido (MS): es el porcentaje en volumen ocupado por la materia sólida del sustrato.
- Espacio poroso total (EPT): es el espacio de aire y agua, formado por la suma de ADD, AR, AFD y CA y que puede ser determinado en caso de sustratos minerales como gravillas, arenas etc., a partir de las densidades real y aparente, según:  $EPT = (1 - DA/DR) \times 100$ . En el caso de sustratos orgánicos es preferible hacerlo por la suma de humedades al final del proceso.

La representación gráfica de la curva de liberación de agua según De Boodt y colaboradores se puede observar en la figura siguiente:



...”

En la cita anterior (gráfica) de la Dra. Burés, aparentemente la Capacidad de Aire está mal definida puesto que la capacidad de aire comprende todo el espacio poroso del sustrato desde la altura de este hasta la base del recipiente, al cual, algunos autores le suman el espacio ocupado por el agua extraída entre 0 y – 10 cm de tensión en cabeza de agua.

Es de notar que la curva de tensión del sustrato no empieza en “Cero cm de cabeza de H<sub>2</sub>O” ya que cuando el sustrato está saturado, a la altura “A” que ocupa en el recipiente, la presión del agua sobre el fondo de este es positiva y corresponde a la altura de la columna de agua presente en el sustrato. El decrecimiento de la presión del agua en esta parte del diagrama, cuando el sustrato está parcialmente saturado es lineal. Cuando el agua presente en el sustrato hasta la altura “A” ha drenado, todo este espacio es ocupado por Aire y representa la mayor parte de la CA.

A las distintas zonas del mencionado diagrama hemos añadido la zona denominada Aefd – Agua Extra Fácilmente Disponible – que en la denominación original de De Boodt forma parte de la Capacidad de Aire -CA-.

Es importante resaltar que los límites establecidos por De Boodt de 10 cB (100 cm de H<sub>2</sub>O) como límite para el agua disponible en sustratos orgánicos como la turba y el coco peat no aplican estrictamente para todo tipo de sustratos. Para sustratos mezclados entre orgánicos y minerales, específicamente cascarilla de arroz con arcilla hemos encontrado que no obedecen a lo establecido por De Boodt. En estos sustratos mezclados, hemos encontrado disponibilidad de agua hasta tensiones de 60 cB (600 cm de Cabeza de agua).

Además de lo anterior, debemos considerar el grado de compresión del sustrato. Para sustratos compresibles, tales como Fibra de Coco, Turba y otros orgánicos, como Cascarilla de Arroz cruda o parcialmente quemada y también Vermiculita entre otros minerales, la capacidad de retención de humedad, así como la densidad aparente, la porosidad, la conductividad Hidráulica y otras propiedades físicas dependen del grado de compactación, tema que aparentemente no siempre ha sido tenido en cuenta en las curvas de retención de humedad establecidas por el método de De Boodt.

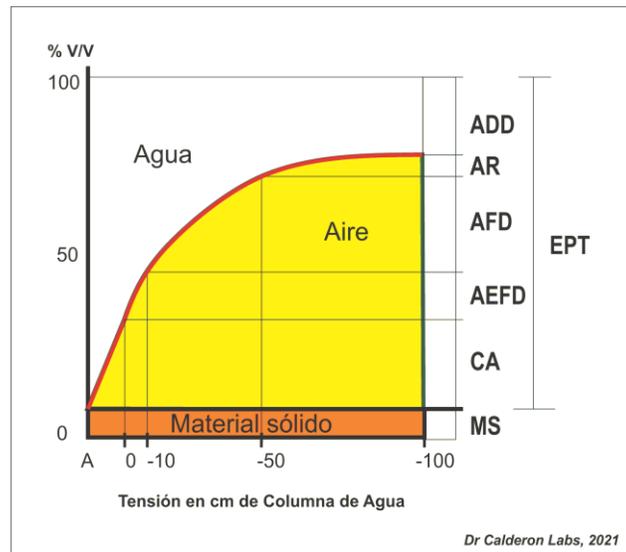
Es muy posible que, a medida que se comprime un sustrato, se vayan achiquitando los poros más grandes antes que los más pequeños, razón por la cual, primero se afectaría la Capacidad de Aire y en segundo lugar la retención de humedad a tensión de 0 a – 10 cm de H<sub>2</sub>O. Pero dependiendo del grado de compactación podría verse disminuida la retención de humedad a mayores tensiones.

Por la anterior razón es que debemos establecer un grado de compactación normalizado que permita comparar resultados de distintas pruebas de retención de humedad. En la actualidad, se encuentran grandes discrepancias en las curvas de retención de humedad para un mismo sustrato evaluadas en diferentes laboratorios y condiciones.

El grado de compactación que hemos propuesto para la realización de la Curva de Retención de Humedad por medio de estas pruebas es de 0.15 kgf/cm<sup>2</sup>

Para la realización de la prueba en un tubo de 3" (76.2 mm) de diámetro con 45.6 cm<sup>2</sup> de superficie, necesitamos una pesa de compresión de (45.6 x 0.15 = 6.84 kg).

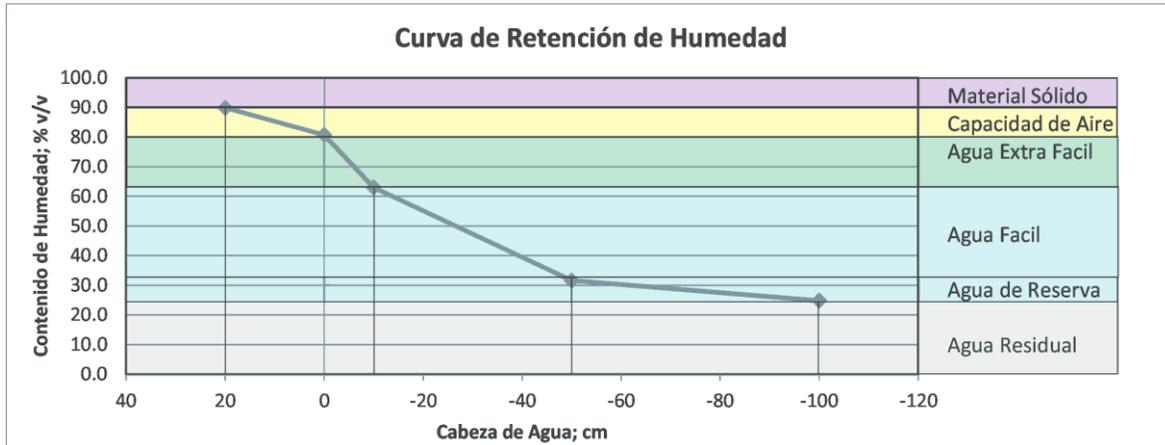
El anterior diagrama de De Boodt, con las modificaciones mencionadas entonces quedaría así:



En el cual "A" corresponde a la altura del sustrato con el grado de compactación establecido y "0" corresponde a la línea de fondo del sustrato. En la práctica lo que se hace es determinar las cantidades de agua que se extraen del sustrato a medida que se aplica tensión a la humedad por el fondo del sustrato (Nivel 0) y el resultado se expresa como sigue:



CURVA DE RETENCION DE HUMEDAD EN SUSTRATOS					
Sustrato:		Cáscara de Coco			
No. Laboratorio:		Afisuel No. 3388 R 5 Pts			
	Cabeza de Agua cm	Agua Drenada cm <sup>3</sup>	Resultados: % v/v	Agua Drenada acumulada % v/v	Agua Contenida remanente % v/v
Area del Recipiente; cm <sup>2</sup>	47.54				
Volumen del sustrato; cm <sup>3</sup>	1000.0				
Altura del Sustrato; cm	21.0				89.9
Retención de Humedad; VA-0; % v/v	0	91	9.1	9.1	80.8
Retención de Humedad a 10 cm C.A.; V0-10; % v/v	-10	178	17.8	26.9	63.0
Retención de Humedad a 50 cm C.A.; V-10-50; % v/v	-50	314	31.4	58.3	31.6
Retención de Humedad a 100 cm C.A.; V-50-100; % v/v	-100	68	6.8	65.1	24.8
Humedad Residual a Tension Infinita; V-100 - ∞; % v/v	-∞		24.8	89.9	0.0
Espacio Poroso Total; EPT; % v/v			89.9		

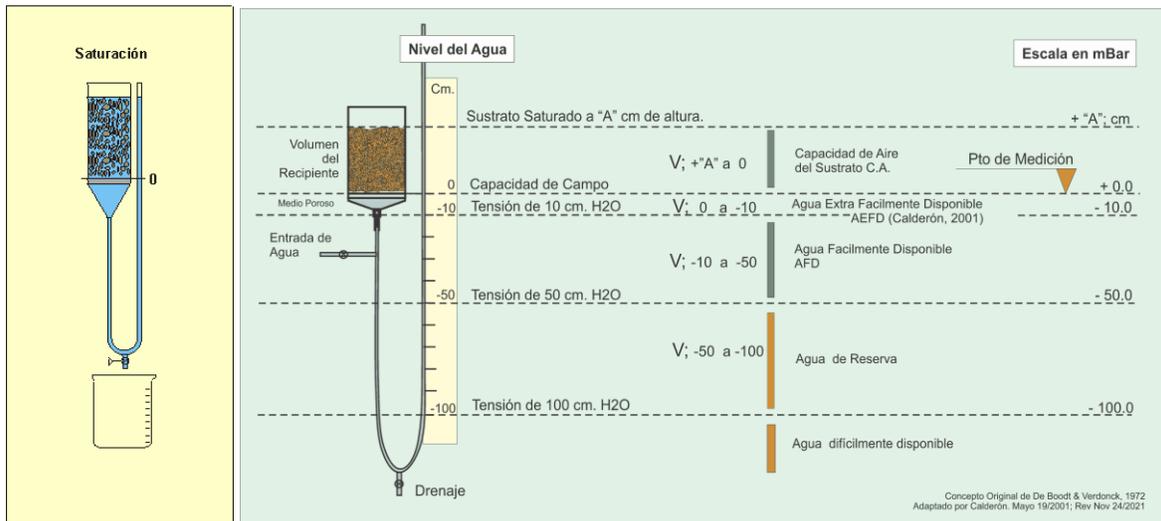


A partir de los datos anteriores, se reporta el resultado de la siguiente manera:

Parametros Reportados	
Compactación; kg/cm <sup>2</sup>	1.5
Capacidad de Aireación; CA; % v/v	9.1
Agua Extra Facilmente Disponible; Aefd; % v/v	17.8
Agua Facilmente Disponible; AFD; % v/v	31.4
Agua de Reserva; AR; % v/v	6.80
Agua Total Disponible Disponible; ATD; % v/v	56.0
Agua de Humedad Residual; AHR; % v/v	24.8
Espacio Poroso Total; EPT; %v/v	89.9

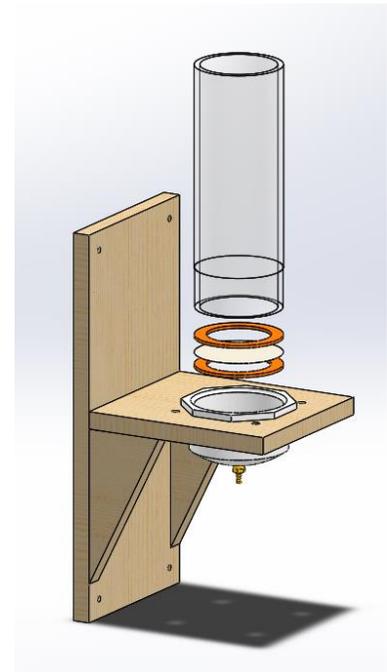
## MATERIALES Y METODOS

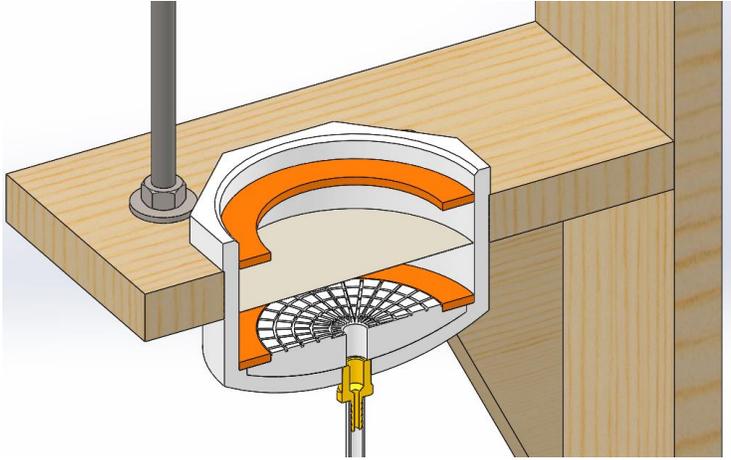
El equipo para realizar el ensayo consta de un tubo transparente de 3" x 10" acoplado mediante empaques de caucho a una copa PVC de 3" dotada de un falso fondo y un medio filtrante, membrana porosa o filtro, el cual permite el paso del agua, pero no del aire. En la parte inferior la copa va conectada a una manguera en "U" para el drenaje y para calibrar la tensión o altura de succión que ejerce la columna de agua sobre el sustrato. El medio filtrante debe garantizar que no entra aire hasta una tensión superior a la de realización de la prueba. Usualmente un medio filtrante con tamaño de poro de 2  $\mu\text{m}$  (Whatman 42) no deja entrar aire hasta más de 100 cm de cabeza de succión de agua, el cual se considera adecuado para este propósito (Ver Anexo 1). En la parte superior va dotado de una pesa, destinada a lograr la compactación del sustrato establecida para la prueba.



## PASO A PASO PARA LA REALIZACION DE LA PRUEBA

1. Instale el equipo tal como se aprecia en la figura siguiente: Coloque la regla de medición adyacente al equipo. Instale el medio filtrante apropiado (ver Anexo 1) en medio de los dos empaques de caucho (Neopreno Rojo) encima de la pieza ranurada de fondo. Esto con el fin de que el agua pase rápido en estas etapas de la prueba. Llene el equipo con el sustrato a utilizar. Compáctelo hasta la presión de 0.15 kg/cm<sup>2</sup>. Mida la altura resultante. (21 cm corresponde a 1 dm<sup>3</sup> de sustrato). La cantidad mínima de sustrato que se puede utilizar es de 200 cm<sup>3</sup> que corresponden a una altura de 4.2 cm.





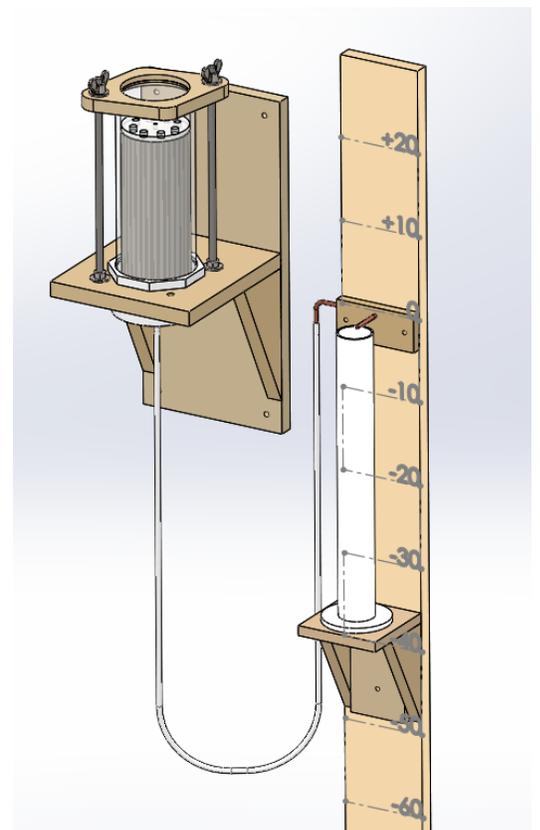
Coloque el pisón y descargue el contrapeso para asegurar una compresión del sustrato de  $0.15 \text{ kgf/cm}^2$ . Asegure en esta posición el pisón para evitar que el sustrato se suba cuando el tubo se esté llenando de agua.

Conecte la manguera a la fuente de agua y abra levemente la llave hasta que el agua aparezca en el tubo transparente y vaya subiendo lentamente hasta llegar a la altura o nivel superior del sustrato ("A" cm). El caudal de llenado no deberá exceder de  $5 \text{ ml/min}$ , ya que a mayor caudal se puede perforar el papel y destruir el resultado de la prueba. Así que para  $1 \text{ dm}^3$  de sustrato con capacidad de aire del  $60 \%$ , este caudal representa un tiempo de llenado de aproximadamente 2 horas. Retire la manguera de la fuente de agua y verifique la altura capilar del agua en la misma. Para  $1 \text{ dm}^3$  de sustrato, deberá ser de 21 cm.

A partir de este punto conecte la manguera al nivel 0 y deje drenar libremente el agua en una probeta graduada hasta que el agua del tubo con sustrato haya descendido al nivel "0" y ya no salga más agua.

Usualmente el tiempo de drenaje en esta etapa es de 24 horas. El volumen drenado  $V_{A-0}$  corresponde a la capacidad de aire del sustrato. Anote este valor.

2. Baje la manguera al nivel -10 cm y reciba el nuevo drenaje en la probeta graduada. Al finalizar este drenaje, anote el valor que corresponde a  $V_{0-10}$ . Para algunos autores, este volumen también corresponde a la Capacidad de Aire. Nosotros lo hemos denominado Agua Extra Fácil. (Tiempo de drenaje = ....?)
3. Baje ahora la manguera a nivel -50 cm y reciba el nuevo drenaje en la probeta graduada. Al final de este período anote el valor correspondiente a  $V_{-10-50}$ . Este volumen



corresponde al Agua Fácilmente Disponible -AFD-. (Tiempo de drenaje = ....?)

4. Baje nuevamente la manguera hasta -100 cm reciba este último drenaje en la probeta graduada. Este corresponde a V-50-100 llamado Agua de Reserva -AR-. (Tiempo de drenaje = ....?)
5. Una vez terminada la prueba, desarme el equipo, retire y homogenice el sustrato y tome una muestra representativa de sustrato de 100 ml, para hacer una prueba de humedad residual en estufa de secado. El valor de esta Humedad expresado en % v/v corresponde al agua residual o Agua Difícilmente Disponible ADD o Agua de Humedad Residual AHR. Esta agua está ligada fuertemente al sustrato y según De Boodt, por lo general no es disponible para la planta.

## REFERENCIAS

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.

Vence, Lilia Beatriz; Disponibilidad de Agua-Aire en sustratos para Plantas. 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](mailto:vence@agro.uba.ar) 16/10/08

Burés, Silvia; Manejo de Sustratos, Curso de Gestión de Viveros Forestales, 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas. Madrid. 342 pp. Barcelona, [silja@sct.ictnet.es](mailto:silja@sct.ictnet.es)

Calderón Sáenz F., Cevallos F., Dr. Calderón Laboratorios Ltda., Mayo 18 de 2001; Rev. Dic 1 de 2021 en [www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Curso\\_Hidroponia/Sustratos/Los\\_Sustratos.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Curso_Hidroponia/Sustratos/Los_Sustratos.htm). Avda. Cra 20 No. 87-81, Bogotá D.C., Colombia S.A. [calderon@drcalderonlabs.com](mailto:calderon@drcalderonlabs.com)

## ANEXO 1

Filtros Whatman aptos para la prueba de Retención de Humedad en Sustratos.

	Ref.	Grado	Description	Typical Particle Retention in Liquid at 98 % efficiency um	Thickness um	Typical Water Flow Rate For 9 cm dia ml/min
Cualitativos		5		2.5	200	5
	1006-090	6		3	180	22
	10312609	602 h	Slow, dense	<2		
		602 eh	Very slow, very dense	2		
Cuantitativos	1442-090	42	Finest particle retention	2.5	200	5
	1444-090	44	Thin version of Grade 42	3	176	11
	10300210	589/3	Slow	2	160	
Hardened	1450-090	50	The thinnest of all Whatr	2.7	115	10
	1542-090	542	Slow flow rate. Very hard	2.7	150	13
Wet strengthened grades	10314915	1575	Slow filter paper with hig	<2	140	
General Purpose		2589 d	Medium to slow, wet stre	2 - 6	1000	
Glass Fiber	1822-090	GF/C	Combines fine particle re	1.2	260	105
	1823-090	GF/D	Considerably faster in flo	2.7	675	681
	1841-090	GMF 150 1	Whatman GMF 150 is a n	1	730	222
	1842-090	GMF 150 2		2	750	887
TCLP	1810-090	acid Treated TC	The Whatman TCLP Filter	0.6-0.8	420	60