

REPRODUCIBILIDAD DE DIFERENTES MÉTODOS QUE MIDEN VARIABLES FÍSICAS EN SUSTRATOS PARA PLANTAS

REPRODUCIBILITY OF DIFFERENT METHODS THAT MEASURE PHYSICAL PROPERTIES IN GROWING MEDIA

**Osvaldo Rubén Valenzuela^{1, 2*}, Claudia Susana Gallardo²,
María Celina Barrera², Lilia Beatriz Vence³**

¹INTA EEA San Pedro, Ruta Nacional 9, Km 170 (B 2930 ZAA), San Pedro, Buenos Aires, Argentina. Tel: 54-3329-424070/423321. Correo-e: valenzuela.osvaldo@inta.gov.ar

²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos. Laboratorio Sustratos. Ruta Provincial N° 11, Km 10, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina. Tel: 54-343-4975075 (int. 126). Correo-e: cgallard@fca.uner.edu.ar – ingcelinabarrera@gmail.com

³Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Cátedra de Jardinería. Laboratorio de Sustratos. Habana 3870. Tel. 4580-2825/2826. CP 1419. Ciudad de Buenos Aires, Argentina. Correo-e: vence@agro.uba.ar

*Autor para correspondencia.

RESUMEN

Conocer las propiedades de sustratos a través de la determinación de las principales características y con métodos confiables, es indispensable para la profesionalización del uso de los mismos en los cultivos intensivos en Argentina. Por otro lado, un laboratorio que realiza sus propias calibraciones, debe tener y aplicar procedimientos para estimar la incertidumbre de la medición para los análisis de rutina que realiza. El objetivo del trabajo fue determinar el error estándar máximo y el tamaño muestral para análisis de rutina en el laboratorio con diferentes métodos que miden la densidad del sustrato, la densidad de partícula y la porosidad total de materiales con distintas características físicas. Se aplicaron dos métodos

para determinar densidad del sustrato, dos para densidad de partícula y cinco para la obtención de porosidad total. La determinación de la densidad del sustrato por el Método de doble cilindro, la densidad de partícula por el método del cálculo desde la materia orgánica y cenizas y la porosidad total estimada a partir de estas variables, presentaron alta reproducibilidad, sencillez para las determinaciones de rutina y es accesible en cualquier laboratorio del país. Además, debido a su amplia difusión son útiles para comparar información de materiales caracterizados en Argentina con resultados de investigaciones internacionales.

Palabras clave: densidad de sustrato, densidad de partícula, porosidad total, estimación del error, sustratos hortícolas.

ABSTRACT

Know the properties of substrates through the determination of the main characteristics and with reliable methods, it is essential to the professionalization of their use in the soilless culture in Argentina. On the other hand, a laboratory that performs their own calibrations must have and implement procedures for estimating the uncertainty of the measurement to the analysis routine that performs. The objective of this work was to determine the maximum standard error and the sample size for routine analysis in the laboratory, using different methods to measure the density of the substrate, the density of particles and total porosity of materials with different physical characteristics. Two methods were applied to determine density of the substrate, two for particle density and five for obtaining total porosity. The determination of the density of the substrate by the method of double cylinder, the density of particles by the method of calculation from the organic matter and ash, and the total porosity estimated from these variables, showed high reproducibility, simplicity for the routine determinations and is accessible in any laboratory of the country. In addition, due to its wide dissemination are useful for comparing information of materials characterized in Argentina with results of international research.

Key words: *substrate density, particle density, total porosity, estimation of the error, potting media.*

INTRODUCCIÓN

Durante la década de 1990 se intensificaron en Europa los trabajos para lograr estandarizar los procedimientos que miden las propiedades físicas, químicas y biológicas de sustratos para planta, a pesar de las diferencias existentes entre los países que la conforman (Gabriëls *et al.*, 1991; Martínez-Farré, 1992; Gabriëls, 1995; Baumgarten, 2001). Como resultado de ese proceso han logrado a través de las

normativas del Comité Europeo de Normalización (CEN, 1999a, 1999b, 2001 y 2007) referenciar técnicas sobre el muestreo y determinaciones analíticas de las principales propiedades físicas y químicas de sustratos (Cooper, 2001), las cuales privilegiaron los fines comerciales y legales más que los agronómicos.

Por otro lado, cuando las decisiones se toman sobre la base de protocolos emitidos por un laboratorio, es importante considerar la calidad de los resultados y la extensión hasta donde estos pueden ser confiables para los propósitos del usuario (ISO/IEC 17025, 2005). Según el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2004), un laboratorio que realiza sus propias calibraciones, debe tener y aplicar un procedimiento para estimar la incertidumbre de la medición para los análisis de rutina. En ese sentido, los estudios de reproducibilidad son la base para estimar la adecuación de la metodología utilizada a fin de tener confiabilidad, por ende, validez de los datos obtenidos en el laboratorio (ISO/IEC 17025, 2005).

En Argentina, los grupos de investigación que trabajan en el tema, aún no han consensado cuales podrían ser los métodos a utilizar en el país, pero ya se han comenzado a discutir estos aspectos con suficiente profundidad (Valenzuela, 2005). Trabajos recientes entre laboratorios del país indican que se ha comenzado con un proceso de estandarización incipiente pero que es promisorio (Gallardo *et al.*, 2007; Bárbaro *et al.*, 2008; Vence *et al.*, 2012). Con este propósito se realizó un estudio de reproducibilidad de acuerdo a Noguera (1999) utilizando herramientas estadísticas sencillas para cada una de las determinaciones, con el fin de obtener resultados fiables. El objetivo del trabajo fue determinar el error estándar máximo y el tamaño muestral para análisis de rutina en el laboratorio con diferentes métodos que miden la densidad del sustrato, la densidad de partícula y la porosidad total de materiales con diferentes características físicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el Laboratorio de Sustratos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER, se analizaron cuatro materiales utilizados por los productores de la Región Pampeana, su elección se realizó sobre la base de las diferencias que presentan *a priori* en sus características físicas a fin de testear los métodos en un rango amplio de cada uno de los parámetros evaluados. Las mediciones se realizaron en cáscara de arroz *in natura* usada en un cultivo hidropónico de frutilla, un sustrato comercial importado de Canadá cuya formulación está basada en turba de musgo *Sphagnum* y usado en la producción de plántulas para el trasplante de especies hortícolas y ornamentales herbáceas, corteza de pino compostada utilizada por los viveros forestales para la producción de eucalipto y arena de construcción de origen fluvial, la cual comúnmente es un componente de los sustratos de plantas ornamentales en macetas mayores a cinco litros.

Se emplearon dos métodos para determinar la densidad del sustrato, otros dos métodos para medir la densidad de partícula y cinco procedimientos para la obtención de la porosidad total, los cuales se describen brevemente ya que no es objeto de este trabajo detallar métodos ampliamente difundidos, por lo cual se debe recurrir a la bibliografía de referencia para obtener los procedimientos en forma exhaustiva.

Métodos de medición para la densidad del sustrato (Ds)

1. *Método de la autocompactación:* Basado en los procedimientos de la Unión de las Entidades Alemanas de Investigaciones Agrícolas (VDLUFA) adaptado por Fermio (2003). Los cálculos se realizaron sobre la base de la siguiente ecuación:

$$D_s (kg m^{-3}) = \frac{M}{V} \times 1000 \quad [1]$$

Donde, (M): masa en gramos de la muestra seca y (V): volumen medido del sustrato en la probeta, en cm³. Se multiplicó por 1000 para su expresión en kg m⁻³.

2. *Método del doble cilindro:* todo el procedimiento se realizó basado en el método descrito por De Boodt *et al.* (1974). El cálculo de la densidad se obtuvo usando al gramo y el centímetro cúbico como unidades de medidas iniciales y se expresó en kg m⁻³ a través de la siguiente fórmula:

$$D_s (kg m^{-3}) = \frac{M_s - T_c}{V_c} \times 1000 \quad [2]$$

Donde: Ds: densidad del sustrato; (Ms): masa de la muestra seca del sustrato a 105 °C; (Tc): tara del cilindro inferior y; (Vc): volumen del cilindro inferior.

Métodos de medición para la densidad de partícula (Dp)

1. *Método del matraz aforado:* Se utilizó la muestra con la partícula inalterada y la humedad de recibo (Vence *et al.*, 2010a). Se calculó el volumen del sólido como el peso del volumen del líquido desalojado, el cálculo se hizo dividiendo la masa del sólido seco y el volumen del sólido; todo el procedimiento se realizó basado en el método descrito por Rowell (1994).

2. *Método del cálculo desde MO y CZ:* La densidad de partícula fue calculada a partir del contenido en porcentaje de materia orgánica total (MO) y cenizas (CZ), considerando los coeficientes 1.45 y 2.65 que hacen referencia a la densidad de partícula de materiales puramente orgánicos y minerales respectivamente (Martínez-Farré, 1992), utilizando la siguiente ecuación:

$$Dp (g\ cm^{-3}) = \frac{1}{\frac{MO}{1.45\ g\ cm^{-3}} + \frac{CZ}{2.65\ g\ cm^{-3}}} \quad [3]$$

Donde: Dp: Densidad de partícula; MO: materia orgánica total y; CZ: cenizas.

Procedimientos para medir la porosidad total (Pt)

La porosidad total (Pt) se obtuvo en forma directa a través de la determinación a tensión cero, cuando todo el espacio poroso está lleno de agua (De Booot y Verdonck, 1972). Luego de saturado por 24 h el doble cilindro, se separó con cuidado el cilindro inferior y se colocó rápidamente en un recipiente. Se pesó inmediatamente, incluyendo el agua que se derramaba en el receptáculo pues corresponde a agua gravitacional de los macroporos (Fermino, 2003).

Los otros cuatro procedimientos correspondieron a los tratamientos B al E fueron estimaciones indirectas de la porosidad total (Cuadro 1), según la ecuación siguiente, expresando la Ds en g cm⁻³.

$$Pt (cm^3\ cm^{-3}) = 1 - \frac{Ds}{Dp} \quad [4]$$

Donde: Pt: porosidad total; Ds: masa de la muestra seca del sustrato a 105 °C; Dp: como se describe en el Cuadro 1).

A fin de utilizar léxico internacional, se aplicaron los términos descritos por la Oficina Nacional de Normalización de Cuba (1995), para estimar la media de una población con una precisión deseada se utiliza el cálculo del tamaño muestral (Steel y Torri, 1985), el cual es la base para definir el número de repeticiones necesarias de un análisis de rutina en laboratorio:

$$\eta = \left(\frac{CV \times t}{\varepsilon} \right)^2 \quad [5]$$

Dónde: η es el tamaño de la muestra; CV: el coeficiente de variación; t : es el valor obtenido de la tabla de Student para una probabilidad y grados de libertad definidos y; ε : el error máximo permitido y es un porcentaje de variación en torno de la media.

En la ecuación anterior: η es el tamaño de la muestra, CV: el coeficiente de variación de cada una de las propiedades físicas evaluadas en cada sustrato seis veces; t : es el valor obtenido de la tabla de Student para una probabilidad y grados de libertad definidos y ε , el error máximo permitido y es un porcentaje de variación en torno de la media, que puede elegirse arbitrariamente o puede calcularse despejándolo de la fórmula como fue hecho en este trabajo.

$$\varepsilon (\%) = \frac{CV \times t}{\sqrt{\eta}} \quad [6]$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se observa que el error máximo cometido con el *Método del doble cilindro* es siempre menor respecto del *Método de la autocompactación* cuando se mide la densidad de sustrato. La causa puede obedecer a que cuando se utilizó el *Método de la autocompactación* no se lo hizo exactamente como fuera diseñado originalmente ya que no se usó el riel de metal donde corre la probeta cuando se la deja caer de 10 cm y el paño colocado en el lugar del golpe tampoco fue colocado, por lo tanto el impacto sobre la superficie más dura y no siempre en forma exactamente perpendicular a la mesada, pueden ocasionar diferentes lecturas en la probeta graduada y por lo tanto aumentar la variabilidad de la medición, en especial en los materiales de baja densidad lo cual no ocurre en el método original (Vence et al., 2010b). Esta mayor variabilidad coincide con

lo expresado por Fermino (1996) que resalta que el método de autocompactación dificulta la determinación de la D_s en los materiales de baja densidad, como el residuo de algodón de la industria del hilo, viruta de pino sin compostar y residuos domiciliarios de cáscara de ananás. A pesar de estas limitaciones, según Kämpf (2005) el método es simple, práctico, rápido y su compactación se asemeja a lo que ocurre durante el enmacetado en producción y ha sido propuesto en la legislación de Brasil para la determinación de la densidad del sustrato, según la Instrução Normativa nº 17, 21/05/2007 del Ministerio de Agropecuaria, Pesca e Abastecimento (MAPA) de Brasil y su modificación IN 31 del 23/10/2008.

Respecto de la densidad de partícula, en el Cuadro 3 se muestra que el *Método de cálculo desde la MO y CZ* presenta un error muy bajo en todos los sustratos evaluados, aún con una $P \leq 0.05$, debido en parte a que su valor se obtiene del cálculo de solo una variable que es el porcentaje de materia orgánica y dos coeficientes que le dan menor

variabilidad (ecuación 3). El *Método del matraz aforado* presentó valores bajos solo cuando el sustrato fue la arena, ya que en los materiales de densidad mucho menor que el agua algunas partículas flotan dificultando mucho la lectura del menisco en el aforo del matraz. Estos valores coinciden con los presentados por Vence *et al.* (2010a) para perlita, turba de Tierra del Fuego, turba europea y sustrato a base de tierra-compost-turba subtropical, donde la mayor variabilidad se presentó en los materiales de baja densidad y hubo poca variabilidad en el sustrato a base de tierra.

Según el estudio de reproducibilidad de los procedimientos realizados para la medición de la porosidad total, en el Cuadro 4 se muestra que, independientemente del sustrato y del método utilizado, el error máximo cometido estuvo por debajo del 10% con una probabilidad de $P < 0,05$, lo que indica que todos ellos son adecuados para métodos de rutina y que a lo sumo con 4 repeticiones de laboratorio se obtienen resultados suficientemente confiables.

Cuadro 1: Procedimientos realizados para la obtención de la porosidad total (P_t), en forma directa (A) y a través del cálculo de la densidad del sustrato (D_s) y densidad de partícula (D_p) utilizando diferentes métodos y combinaciones posibles de ellos (B, C, D y E).

Tratamientos	Forma de obtención de la Porosidad Total
A	Tensión cero
B	$\frac{D_s}{D_p} = \frac{\text{Doble cilindro}}{\text{Cálculo desde la MO y CZ}}$
C	$\frac{D_s}{D_p} = \frac{\text{Autocompactación}}{\text{Matraz aforado}}$
D	$\frac{D_s}{D_p} = \frac{\text{Doble cilindro}}{\text{Matraz aforado}}$
E	$\frac{D_s}{D_p} = \frac{\text{Autocompactación}}{\text{Cálculo desde la MO y CZ}}$

MO: materia orgánica; CZ: cenizas.

Cuadro 2. Error máximo cometido (ϵ) calculado para distintas probabilidades ($P \leq 0.10$ y $P \leq 0.05$) y número de muestras necesarios (n) o repeticiones a realizar en el laboratorio calculadas para errores máximos del 15% y 5% respectivamente, obtenidos de dos métodos de medición de la densidad de sustrato y en cuatro sustratos para plantas.

Sustratos	Métodos Ds	CV (%)	ϵ (%)		n	
			$P \leq 0.10$	$P \leq 0.05$	$P \leq 0.10$ $\epsilon = 15\%$	$P \leq 0.10$ $\epsilon = 5\%$
Cáscara de arroz	<i>Doble cilindro</i>	0.62	0.88	1.13	1	1
	<i>Autocompactación</i>	15.38	12.65	16.14	4	38
Sustrato con turba	<i>Doble cilindro</i>	1.09	1.27	1.62	1	1
	<i>Autocompactación</i>	28.57	23.50	29.99	15	133
Corteza de pino	<i>Doble cilindro</i>	0.19	0.22	0.28	1	1
	<i>Autocompactación</i>	4.76	3.92	5.00	1	4
Arena	<i>Doble cilindro</i>	2.45	3.49	4.45	1	1
	<i>Autocompactación</i>	1.38	1.14	1.45	1	1

ϵ (%) = $CV \times t / \sqrt{n}$. Donde, CV: es el coeficiente de variación de la medición de cada método para los sustratos evaluados; t : es el valor obtenido de la tabla de Student para una probabilidad y grados de libertad definidos. Cada uno de los análisis fue repetido seis veces por material ($n = 6$).

Cuadro 3. Error máximo cometido (ϵ) calculado para distintas probabilidades ($P < 0.10$ y $P < 0.05$) y número de muestras necesarios (n) o repeticiones a realizar en el laboratorio calculadas para errores máximos del 15% y 5% respectivamente, obtenidos de dos métodos de medición de la densidad de partícula y en cuatro sustratos para plantas.

Sustratos	Métodos Dp	CV (%)	ϵ (%)		n	
			$P \leq 0.10$	$P \leq 0.05$	$P \leq 0.10$ $\epsilon = 15\%$	$P \leq 0.10$ $\epsilon = 5\%$
Cáscara de arroz	<i>Cálculo desde MO y CZ</i>	0.59	0.8	1.1	1	1
	<i>Matraz aforado</i>	17.12	14.1	18.0	5	48
Sustrato con turba	<i>Cálculo desde MO y CZ</i>	0.54	0.6	0.8	1	1
	<i>Matraz aforado</i>	7.76	6.4	8.1	1	10
Corteza de pino	<i>Cálculo desde MO y CZ</i>	0.58	0.7	0.9	1	1
	<i>Matraz aforado</i>	15.15	13.7	17.4	4	37
Arena	<i>Cálculo desde MO y CZ</i>	0.38	0.4	0.6	1	1
	<i>Matraz aforado</i>	3.24	2.7	3.4	1	2

ϵ (%) = $CV \times t / \sqrt{n}$. Donde, CV: es el coeficiente de variación de la medición de cada método para los sustratos evaluados; t : es el valor obtenido de la tabla de Student para una probabilidad y grados de libertad definidos. Cada uno de los análisis fue repetido seis veces en cada material ($n = 6$).

CONCLUSIONES

La determinación de la densidad del sustrato por el *Método de doble cilindro*, la densidad de partícula por el *Método del cálculo desde la MO y CZ* y la porosidad total calcula a partir de estas variables, cuyos procedimientos fueron descritos por De

Boodt *et al.* (1974); presentaron alta reproducibilidad, sencillez para las determinaciones de rutina, muy bajo costo y es accesible en cualquier laboratorio de suelos del país. Además, es útil para comparar los materiales relevados en nuestro país con otras investigaciones internacionales debido a su amplia difusión.

Cuadro 4. Error máximo cometido (ε) y número de muestras necesarios (η), obtenidos con cinco procedimientos que miden la porosidad total (Pt) en cuatro sustratos para plantas.

Sustratos	Métodos Pt	CV (%)	ε (%)		η	
			$P \leq 0.10$	$P \leq 0.05$	$P \leq 0.10$ $\varepsilon = 15\%$	$P \leq 0.10$ $\varepsilon = 5\%$
Cáscara de arroz	A	1.82	2.1	2.7	1	1
	B	0.04	0.1	0.1	1	1
	C	1.88	1.6	2.0	1	1
	D	1.37	1.6	2.0	1	1
	E	1.70	2.4	3.1	1	1
Sustrato de turba	A	3.02	3.5	4.5	1	2
	B	0.12	0.1	0.2	1	1
	C	3.03	2.5	3.2	1	2
	D	1.33	1.6	2.0	1	1
	E	3.37	3.9	5.0	1	2
Corteza de pino	A	1.59	1.9	2.4	1	1
	B	0.12	0.1	0.2	1	1
	C	3.04	2.5	3.2	1	2
	D	1.17	1.4	1.7	1	1
	E	0.26	0.3	0.4	1	1
Arena	A	1.15	1.3	1.7	1	1
	B	4.73	6.7	8.6	1	4
	C	3.76	3.1	4.0	1	2
	D	4.77	6.8	8.7	1	4
	E	0.02	0.1	0.1	1	1

A: Tensión cero; B: Ds/Dp = Doble cilindro/Cálculo desde MO (Materia Orgánica) y CZ (Cenizas); C: Ds/Dp = Autocompactación/Matraz aforado; D: Ds/Dp = Doble cilindro/Matraz aforado; E: Ds/Dp = Autocompactación/Cálculo desde MO y CZ.

LITERATURA CITADA

Bábaro, L., M. Karlanian, J. González, O. Valenzuela, C. Gallardo, C. Del Pardo, L. Balcaza, M. Mizuno, H. Fernández, R. Fernández y D. Morisigue. 2008. Caracterización de sustratos de siembra utilizados en Escobar, Moreno y La Plata para el cultivo de especies ornamentales. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 13 al 16 de mayo 2008. Potrero de Funes, San Luis. Resumen p. 26.

Baumgarten, A. 2001. Statistical evaluation of the methods standardized by CEN. Acta Horticulturae 548: 647-653.

CEN. 1999a. Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Toma de muestras. (Comité Europeo de Normalización) UNE-EN 12579. 13 pp.

CEN. 1999b y 2007. Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación de las propiedades físicas: densidad aparente seca, volumen de aire, volumen de agua, valor de

contracción y porosidad total. (Comité Europeo de Normalización) EN N° 13041. 9 pp.

CEN. 2001. Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Extracción de elementos solubles en agua regia. (Comité Europeo de Normalización) UNE-EN 13650. 21 pp.

Cooper, B. 2001. Standardization of substrate analysis, activities by CEN. Acta Horticulturae 548:643-646.

De Boodt, M. and O. Verdonck. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. Acta Horticulturae 26:37-44.

De Boodt, M.; Verdonck, O. and L. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. Acta Horticulturae 37: 2054-2062.

Fermino, M. 1996. Aproveitamento de resíduos industriais e agrícolas como alternativas de substratos hortícolas. Tesis de Maestrado en Fitotecnia. UFRGS Porto Alegre.

- Fermino, M. 2003. Métodos de análise para caracterização física de sustratos para plantas. Tese Doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil. 89 pp.
- Instrucción Normativa nº 17. 21/05/2007. Anexo: Métodos para análise de sustratos para plantas e condicionadores de solos. Ministério da Agricultura, Pecuaria e Abastecimento (MAPA), Brasil y su modificación IN 31 del 23/10/2008.
- Gabriëls, R. W. van Keirsbulck, and O. Verdonck. 1991. Reference method for physical and chemical characterization of growing media: An international comparative study. *Acta Horticulturæ*. 294:147-160.
- Gabriëls, R. 1995. Standarization of growing media analysis and evaluation: CEN/ISO/ISHS. *Acta Hort*. 401:555-557.
- Gallardo, C., J. González, L. Balcaza, H. Fernández, M. Mizuno, R. Fernández, L. Bárbaro, M. Karlanian, D. Morisigue, O. Valenzuela, L. Martínez y C. del Pardo. 2007. Calidad de sustratos de siembra empleados en el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) para el cultivo de especies ornamentales en bandejas multiceldas. 30° Congreso Argentino de Horticultura y 1° Simposio Internacional sobre cultivos protegidos. 25 al 28 de setiembre 2007, La Plata, Argentina. Resumen p. 137.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). 2004. Esquema 1 de Norma IRAM 301 ISO/IEC 17025. Evaluación de la conformidad: Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración. 36 pp.
- ISO/IEC International Standard 17025. 2005. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. International Organisation for Standardisation (ISO), ISO Central Secretariat, 1 rue de Varembé, Case Postale 56, CH-1211, Geneva 20, Switzerland.
- Kämpf, A. N. 2005. Produção comercial de plantas ornamentais. *Agrolivros*. Guaíba, RS, Brasil. 254 pp.
- 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.
- Matínez-Farré, F. 1992. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. I Jornadas de Sustratos de la Sociedad Española de las Ciencias Hortícolas. *Actas*: 55-66.
- Oficina Nacional de Normalización de Cuba. 1995. International vocabulary of basic and general terms in metrology. Norma cubana OIML V2. Ciudad Habana, Cuba. 69 pp.
- Rowell, D. 1994. *Soil Science: Methods and Applications*. New York, Longman. 350 pp.
- Steel, R. and J. Torri. 1985. *Bioestadística: principios y procedimientos*. Mc Graw-Hill Inc. Bogotá, Colombia. 622 pp.
- Valenzuela, O. 2005. Protocolos en la Argentina: problemática actual y propuestas. Mesa debate sobre protocolos e interpretaciones de los análisis de sustratos. Seminario Internacional Preparación y Manejo de Sustratos en Plantas Ornamentales y Florales. 24 al 26 de noviembre 2005. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. (Conferencia).
- Vence, L., O. Valenzuela, H. Svartz y E. Gandolfo. 2010a. Densidad de partícula en sustratos para plantas: métodos y su incidencia en el cálculo de la porosidad total. Pp 32 en: XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, ISBN: 978-987-24771-1-0, resumen expandido en versión electrónica ISBN 978-987-24771-3-4,
- Vence, L., O. Valenzuela y H. Svartz. 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 Sustratos para Plantas", Goiania, GO, Brasil
- Vence, L., M. Conti, H. Svartz, y O. Valenzuela. 2012. Métodos de medición de densidad en sustratos para producción de plantas. XIX Congreso latinoamericano de la ciencia del suelo, XXIII, Congreso argentino de la ciencia del suelo. Mar del Plata, Argentina – 16 al 20 de abril de 2012.