

PROPIEDADES, USO Y MANEJO DE SUSTRATOS DE CULTIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTAS EN MACETA

R. I. Cabrera

Department of Plant Science, The State University of New Jersey, Rutgers. 59 Dudley Road, New Brunswick, New Jersey. USA.

RESUMEN

La producción exitosa de cultivos ornamentales en maceta (contenedor) de alta calidad, requiere de un conocimiento y comprensión del ambiente único encontrado en la maceta y como éste es afectado por las propiedades físicas y químicas de los sustratos utilizados. Los fundamentos básicos e importancia de las propiedades físicas y químicas más relevantes para un sustrato, incluyendo recomendaciones para su manejo en producción de cultivos ornamentales, son revisados en este artículo.

PALABRAS CLAVE: Características físicas y químicas, contenedor, cultivos ornamentales, nutrición.

PROPERTIES, USE AND MANAGEMENT OF GROWING MEDIA FOR CONTAINER PLANTA PRODUCTION

SUMMARY

The successful production of quality container ornamental crops requires knowledge and understanding of the unique environment found in a container, and how it is affected by the physical and chemical properties of the growing medium. The fundamental aspects and importance of the most relevant physical and chemical properties in growing media are covered in this review, along with recommendations for their management in the production of ornamental crops.

KEY WORDS: Container, nutrition, ornamental crops, physical and chemical characteristics.

INTRODUCCIÓN

La producción exitosa de plantas de alta calidad en macetas, conocidas también como recipientes o contenedores, requiere de una comprensión del ambiente único encontrado en la maceta y como éste es afectado por las propiedades físicas y químicas de los sustratos utilizados. Dada la complejidad de los distintos componentes, procesos y fenómenos que se encuentran en un sustrato, similar a lo que ocurre en un suelo mineral, y lo vasto de la literatura sobre el tema, la intención del presente artículo es cubrir sólo algunos de los fundamentos básicos más relevantes para un sustrato, incluyendo recomendaciones para su manejo en la producción de plantas ornamentales. Se pretende que la información que aquí se provee sirva de pauta o guía, y no como receta, en la elaboración de programas integrales de manejo para sustratos que se ajusten a las necesidades, experiencia y condiciones locales. Las referencias listadas en la literatura citada son consideradas de las más relevantes y significativas sobre sustratos.

Una planta que crece en el campo comparada con otra que crece en una maceta se expone generalmente a

un ambiente más estresante y de cambios constantes (Bowman y Paul, 1983; Cuadro 1). Los siguientes ejemplos ilustran esta condición. Una planta en plena actividad de crecimiento puede extraer toda el agua disponible en un recipiente común en uno o dos días. Después de un riego, el sustrato se satura desde el fondo del recipiente, y las raíces de esa zona permanecen sin aire. No es sino hasta que la planta utiliza suficiente agua, que se crean espacios a ocuparse por aire. A la vez, al secarse el sustrato, la concentración de sales en la solución de suelo puede aumentar a niveles altos.

CUADRO 1. Ambiente típico en la zona radical de una planta que crece en una maceta y en el suelo. Basada en Bowman y Paul (1983).

Factor	Maceta	Suelo
Retención de humedad	De capacidad de contenedor a marchitamiento en 1 a 3 días	De capacidad de campo a marchitamiento en 1 a 3 semanas
Aireación	De baja a alta en 1 día	De adecuada a alta la mayoría del tiempo
Nutrición	De alta a baja en 1 semana	De alta a baja a lo largo de la temporada
pH	Cambio de 1 a 2 unidades en 1 a 3 semanas	Relativamente constante a lo largo de la temporada
Salinidad	Problemas crónicos en 1 a 4 semanas	De baja a alta a lo largo de la temporada
Temperatura	Cambios de 10 a 30°C en un día	Relativamente constante a lo largo de la temporada

Algunos nutrimentos, tales como el nitrógeno y potasio se pierden por absorción de la misma planta y otra parte por lixiviación, pudiendo llegar a ser rápidamente abatidos si no son abastecidos periódicamente (Bowman y Paul, 1983; Bunt, 1988; Nelson, 1991). Por otro lado, las temperaturas de un sustrato en una maceta, particularmente aquellas de colores oscuros, pueden fluctuar a veces hasta en 30 °C entre el día y la noche (Davidson *et al.*, 1994).

Algunas de estas condiciones estresantes pueden considerarse una consecuencia directa del volumen restringido del sustrato en la maceta, el cual tiene que suplir las necesidades de una planta que es relativamente grande para ese volumen. El problema no es que el sustrato no pueda suplir las necesidades de la planta, sino que el período en que deben de abastecerse esas necesidades siempre es corto. Es por ello que un programa adecuado de manejo es esencial para minimizar las condiciones estresantes que se pueden encontrar en macetas o contenedores.

Un buen sustrato es esencial para la producción de plantas de alta calidad. Dado que el volumen de una maceta es limitado, el sustrato y sus componentes deben de poseer características físicas y químicas que, combinadas con un programa integral de manejo, permitan un crecimiento óptimo (Cabrera, 1995). Las propiedades físicas son consideradas como las más importantes para un sustrato (Ansorena-Miner, 1994; Bowman y Paul, 1983; Bunt, 1988; Cabrera, 1995). Esto es debido a que si la estructura física de un sustrato es inadecuada, difícilmente podremos mejorarla una vez que se ha establecido el cultivo. En cambio, las propiedades químicas sí pueden ser alteradas posterior al establecimiento del cultivo. Por ejemplo, si un sustrato no posee un pH o el nivel nutricional adecuado, éstos pueden mejorarse añadiendo mejoradores o abonos. Similarmente, un exceso de sales solubles puede remediarse con un lavado (o lixiviado) con agua de baja salinidad.

PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUSTRATO

Un medio de cultivo bueno deberá de tener buenas propiedades físicas como son: aireación y drenaje, retención de agua y bajo peso húmedo por volumen (sinónimo de densidad aparente Cuadro 2). Cabe mencionar que la determinación de valores de las propiedades físicas indicadas son establecidos en sustratos que después de haber sido regados a saturación se han dejado drenar hasta alcanzar un equilibrio, condición conocida como capacidad de maceta o de contenedor (CC).

En general, el sustrato deberá tener una porosidad total de por lo menos 70% con base en volumen. Más importante aún es conocer como la porosidad total está repartida entre aquel espacio ocupado por agua y aire. La porosidad de aire o espacio ocupado por aire en el sustrato, es probablemente la propiedad física más im-

portante de los sustratos empleados en la horticultura ornamental. Aunque el valor mínimo recomendado de porosidad de aire es 10%, éste realmente debe ajustarse de acuerdo a la tolerancia de las plantas a niveles bajos de aireación (Cuadro 3).

CUADRO 2. Propiedades físicas de un sustrato "ideal" y de algunos sustratos comúnmente empleados en la producción de plantas ornamentales en maceta (Adaptado de Bowman y Paul, 1983 y Cabrera, 1995).

Sustrato	Porosidad total	Capacidad de retención de agua	Porosidad de aire	Agua disponible para la planta	Peso húmedo
	(% con base en el volumen total del sustrato)				kg-litro ⁻¹
"Sustrato Ideal"	70-85 ²	55-70	10-20	≥30	1.0 - 1.5
Turba ^y - Perlita	93	73	20	48	0.87
Turba - Vermiculita	94	81	13	60	0.99
Mezcla U. de C. ^x	73	62	11	44	1.14

² Todos estos valores fueron determinados en sustratos colocados en macetas de 15 cm y a capacidad de contenedor.

^y Se considera turba del musgo *Sphagnum*.

^x Mezcla compuesta de partes iguales de turba, arena y aserrín de madera de *Sequoia*.

Con respecto a la capacidad de retención de agua por el sustrato, un mínimo de 55% es deseable para una maceta o recipiente de 10 a 15 cm. Asimismo, se desea que el volumen de agua total disponible para la planta debe de ser por lo menos 30 % del volumen total del sustrato.

CUADRO 3. Requisitos mínimos de aireación radical para ciertas especies ornamentales, expresada en capacidad volumétrica de aireación (Bunt, 1988).

Requisitos de aireación	Muy altos	Altos	Intermedios	Bajos
	Porosidad de aire (% con base en el volumen)			
	20	20-10	10-5	5-2
Azaleas		Antirrhinum	Camellia	Claveles
Orquídeas (epifitas)		Begonias	Crisantemos	Coníferas
		Daphne	Gladiolas	Geranios
		Ericas	Hortensias	Hiedras
		Plantas de follaje	Lirios	Palmas
		Gardenia	Nochebuenas	Rosas
		Gloxinias		Ave del Paraíso
		Orquídeas (terrestres)		
		Podocarpus		
		Rhododendron		
		Violeta africana		

El peso húmedo (o densidad aparente a capacidad de contenedor) también debe ser considerado cuidadosamente, ya que puede resultar en aumentos significativos en el peso de las macetas, particularmente aquellas de tamaño grande (Cabrera, 1995). Esto es apreciable en labores de espaciamento y cargado, además de incrementar los costos de transporte. Sustratos ligeros suelen ser preferidos, aunque podrían ser no muy deseables en viveros expuestos frecuentemente a fuertes vientos. El reacondo de macetas volcadas en viveros puede ser una labor intensiva y costosa (Davidson *et al.*, 1994).

Un medio de cultivo o sustrato debe diseñarse para aumentar al máximo su contenido de agua y aire, utilizando como referencia los valores listados anteriormente para un sustrato ideal. En general las propiedades físicas de un sustrato no pueden predecirse en forma sencilla a partir de sus componentes. La mezcla de dos o más componentes por lo general produce interacciones que hacen que las propiedades físicas de la mezcla final no sean la media óptima de las propiedades de los componentes (Bowman y Paul, 1983; Cabrera, 1995). Por ello, es necesario determinar en cada caso las propiedades de las mezclas resultantes. Una vez que éstas se han determinado, los ajustes en las proporciones de los componentes de la mezcla pueden hacerse hasta encontrar los requisitos mínimos deseados.

COMPONENTES DE UN MEDIO DE CULTIVO Y SU TAMAÑO DE PARTÍCULA

Hoy en día no se recomienda el uso de suelo mineral como un componente de sustratos para macetas, aun y cuando con un manejo cuidadoso puede dar excelentes resultados. Esta recomendación se debe particularmente a razones que incluyen: falta de una distribución uniforme de las partículas y consecuente pobre porosidad (diámetro pequeño de poros); un drenaje pobre; propiedades químicas variables; portador potencial de insectos, malezas y enfermedades (Bowman y Paul, 1983; Cabrera, 1995). Además, los suelos minerales pueden contener también residuos químicos (pesticidas, herbicidas) y niveles altos de sales o iones tóxicos.

CUADRO 4. Propiedades y características deseables de componentes orgánicos e inorgánicos para sustratos de cultivo.

COMPONENTES INORGÁNICOS

Características deseables:

- Alta capacidad de retención de agua y agua disponible (Cuadro 2).
- Tener una baja densidad de partículas.
- Tener buena distribución de tamaño de partículas (Cuadro 5).

Ejemplos:

- Vermiculita (tiene alta capacidad de intercambio catiónico (CIC), (alta capacidad de retención de agua, baja densidad de partículas).
- Perlita (porosa, inerte, débil mecánicamente).
- Arenas (alta densidad de partículas, baja CIC).
- Arcilla calcinada (porosa, baja CIC).
- Subproductos minerales (tales como óxidos metálicos).

COMPONENTES ORGÁNICOS

Características deseables:

- Alta capacidad de retención de agua y agua disponible (Cuadro 2).
- Bien compostados y/o tratados con nitrógeno.
- Tener un bajo contenido de sales solubles (conductividad eléctrica < 4 mmhos-cm⁻¹).
- Tener buena distribución de tamaño de partículas (Cuadro 5).
- Que no contengan compuestos tóxicos (como toxinas vegetales o químicos orgánicos).
- Que no sean portadores o vectores de plagas y/o enfermedades.

Ejemplos:

- Turba de pantano (Sphagnum peat moss) (excelente retención de agua, CIC, baja densidad de partículas).
- Materia orgánica compostada (hojas de árboles, césped, residuos de poda).
- Productos y subproductos de madera (corteza, aserrín, virutas, etc.).
- Lodos de tratadora o depuradora (debe tenerse cuidado con textura fina y metales pesados).
- Otros materiales (estiércol, pajas, bagazos, cascarillas, etc.).

La mayoría de los sustratos usados en la producción de plantas ornamentales consisten en una combinación de componentes orgánicos e inorgánicos (Cuadro 4). Algunos de los materiales inorgánicos comunes incluyen arena, vermiculita, perlita, arcilla calcinada, piedra pómez y otros subproductos minerales. Por otro lado, los componentes orgánicos más populares incluyen: turba (peat moss), productos de madera compostados (corteza, aserrín, virutas), composta de materia orgánica, lodos de depuradora, fango, estiércol, paja, cascarilla de arroz y de cacahuate, etc.

La adición de componentes orgánicos a sustratos ayudan a mejorar principalmente sus propiedades físicas y químicas, tales como capacidad de retención de agua, porosidad de aire, disminución de peso húmedo y mejora en la capacidad de intercambio catiónico (Ansorena-Miner, 1994; Bowman y Paul, 1983; Bunt, 1988; Handreck y Black, 1994). Sin embargo, para que estas mejoras surtan efecto, es necesario que los componentes del sustrato o mezcla tengan un tamaño deseable de partículas. La mayoría de las partículas para componentes orgánicos, así como inorgánicos, deseables para la elaboración de sustratos deberán encontrarse entre 0.5 y 4 mm, y con menos del 20% presente en partículas más finas que 0.5 mm (Bunt, 1988; Cuadro 5).

Además de los requisitos de granulometría, un componente orgánico deberá ser estable con respecto a su descomposición, es decir, deberá haber pasado por un proceso de composteo con añejamiento. Esto eliminará fijaciones de nitrógeno por microorganismos encargados de la descomposición, fenómeno que típicamente origina reducciones en la disponibilidad de este nutrimento para las plantas (Ansorena-Miner, 1994; Bunt, 1988).

CUADRO 5. Recomendaciones de granulometría para la selección de materiales orgánicos e inorgánicos a usarse en la preparación de sustratos para producción en maceta. Basado en Bunt (1988) y Cabrera (1995).

Diámetro de partícula (mm)	Proporción deseada (% con base en peso)
10 - 2	< 20
2 - 0.5	> 60 (100% ideal)
< 0.5	< 20

La descomposición del componente orgánico de un sustrato durante el período de crecimiento de un cultivo, además de causar problemas como reducciones en el volumen total de sustrato disponible para las plantas, puede alterar significativamente las propiedades físicas obtenidas originalmente (al inicio del cultivo).

Resultados de investigaciones indican que para permitir cambios importantes y benéficos en las propiedades físicas de un sustrato, los componentes orgánicos deben utilizarse en los sustratos por lo menos en un 40 % con base en el volumen (Bowman y Paul, 1983).

Las arenas son comúnmente usadas como componente inorgánico de sustratos, particularmente aquellas utilizadas en viveros (Davidson *et al.*, 1994). Aquí se busca especialmente incrementar la densidad del sustrato para reducir el riesgo de volcado de macetas por el viento (que puede resultar en costos altos de mano de obra). Sin embargo, este objetivo subestima el impacto potencial que la arena puede tener sobre las propiedades físicas del medio (Bowman y Paul, 1983). Al igual que para el resto de los componentes de una mezcla, la arena también requiere una evaluación de su distribución y de tamaño de partícula. Las arenas naturales se componen de partículas que oscilan en diámetros que van desde 2 a 0.05 mm, y que se han subdividido en cinco clases, como se aprecia en el Cuadro 6.

Una arena deseable para la producción de plantas en maceta deberá contener principalmente partículas de tamaño mediano y grueso, por lo menos un 70 % con base en el peso. El uso de arenas con una distribución amplia (dispersa) de tamaños de partícula es indeseable, ya que podría resultar en un sustrato con baja capacidad de aireación. Debe de evitarse por ejemplo el uso de arenas con porcentajes similares para cada clase de partículas (como 20 % para cada una). El uso de arena deberá restringirse a menos de una tercera parte del volumen total del sustrato, ya que puede resultar en un alto peso por volumen (densidad aparente), lo que no es recomendable.

CUADRO 6. Granulometría ideal para arenas de uso hortícola. Adaptado de Bowman y Paul (1983).

Categoría	Tamaño (mm)	Proporción deseada (% con base en peso)
Grava	< 2	0
Arena muy gruesa	2 – 1	0 – 5
Arena gruesa	1 – 0.5	70 – 80 ^z
Arena mediana	0.5 – 0.25	
Arena fina	0.25 – 0.1	0 – 20
Arena muy fina	0.1 – 0.05	0 – 2
Limo + Arcilla	< 0.05	0

^z Una fracción dominante de arena gruesa es deseable para macetas de perfil bajo, mientras que una fracción dominante de arena mediana tiene un mejor uso en macetas de perfiles altos.

Las recomendaciones de granulometría hechas aquí no son para seguirse al pie de la letra, sino que sirven como guía en la selección y evaluación de materiales a usarse en un sustrato. Sin embargo, estas recomendaciones no garantizan la obtención de un sustrato ideal. Como ya se mencionó previamente, únicamente una evaluación de las propiedades físicas del sustrato o mezcla resultante puede confirmar si se cumplen los requisitos mínimos requeridos para la producción exitosa de plantas en maceta.

PROPIEDADES QUÍMICAS

Es importante que al momento de plantar un sustrato provea no sólo un ambiente físico favorable, sino también uno químico (Bowman y Paul, 1983). Por tanto, adiciones de ciertas enmiendas químicas y fertilizantes son necesarias previas a la plantación (Cuadro 7).

La mayoría de los componentes orgánicos de un sustrato son ácidos y contienen niveles bajos de nutrientes disponibles (Bunt, 1988). Se recomienda agregar una cantidad suficiente de cal dolomítica al sustrato para elevar el pH a un nivel adecuado (usualmente 5.5 a 6). Además la cal suplirá calcio y magnesio que son esenciales para un buen crecimiento radical. Estos elementos (Ca y Mg) son retenidos (adsorbidos) por el sustrato; no son fácilmente lixiviables, por lo que quedarán disponibles a la planta por periodos largos (Farnham *et al.*, 1985).

CUADRO 7. Niveles típicos de enmiendas químicas a incorporarse en sustratos antes de plantar el cultivo. Las recomendaciones están basadas para un sustrato constituido por 1/3 arena: 2/3 componente orgánico (como turba, corteza o aserrín compostado).

Fertilizante o mejoradores	Análisis	Tasa de incorporación (kg·m ⁻³)
Nitrato de Potasio (KNO ₃)	13 – 0 - 46	0.6
Superfosfato de Ca Simple	0 – 20 - 0	1.2
Cal dolomítica		3.0
Micromax [®]	12 % Fe, 2.5 % Mn, 1 % Zn, 0.5 % Cu, 0.1 % B, 0.005 % Mo.	1

NOTA: Para plantas que prefieren sustratos ácidos, usar un 100 % de componente orgánico (como turba, aserrín compostado, corteza compostada, o una combinación de éstas). Además las tasas de incorporación de superfosfato de Ca y cal dolomítica deben de ser reducidas a la mitad.

El fósforo es también incorporado al sustrato o mezcla en pre-plante, ya sea como superfosfato simple o triple (Bunt, 1988; Handreck y Black, 1994; Wright y Niemiera, 1987). Estos compuestos solubles son rápidamente convertidos a formas menos solubles. Una menor solubilidad los hace menos susceptibles a ser lixiviados, además de extender su período de disponibilidad para las plantas.

El potasio es también comúnmente agregado en pre-plante, aun y cuando ciertos componentes del sustrato (como arena o inclusive suelo mineral) contengan algo de K disponible. Este elemento es agregado en forma de una sal soluble como KNO₃ o K₂SO₄. El potasio no es adsorbido fuertemente al sustrato por lo que puede ser susceptible a pérdidas por lixiviación (Bunt, 1998; Wright y Niemiera, 1987). Debe por tanto, ser suplido periódicamente durante el ciclo de cultivo, ya sea por medio de fertigación (Bowman y Paul, 1983; Nelson, 1991; Wright y Niemiera, 1987) o con fertilizantes de liberación lenta (Cabrera, 1996a).

Para satisfacer el requerimiento de hierro (Fe) por las plantas, se debe de agregar al sustrato ya sea una sal de Fe (como sulfato ferroso) o un quelato de Fe (Nelson, 1991). Se sugiere el uso periódico de una solución nutritiva (ferrigación) conteniendo aproximadamente 1 mg·litro⁻¹ de quelato de hierro tal como Sequestrene 138 (Fe-EDDHA), el cual es la fuente más recomendable para este elemento. Esta forma quelatada le confiere más estabilidad y solubilidad del elemento Fe sobre una gama de pH más amplio (Bunt, 1988; Cuadro 8).

Además del hierro, otros micronutrientes deben aplicarse en pre-plante, ya sea en forma de sales solubles (sólidas o en solución) o con formulaciones de liberación lenta. Estas últimas son las más comúnmente usadas, y en lo particular formulaciones comerciales fertilizantes como Micromax (Cuadro 7), Perk y Fritts 503 ó 505 (Bunt, 1988; Handreck y Black, 1994).

Dependiendo de la capacidad de intercambio catiónico del sustrato, los micronutrientes son generalmente retenidos (adsorbidos) fuertemente por el sustrato, supliendo las necesidades del cultivo por períodos largos de tiempo. Una aplicación en pre-plante de las mencionadas formulaciones comerciales es por lo comun suficiente para un ciclo normal de producción en cultivos de maceta (Bunt, 1988; Handreck y Black, 1994; Nelson, 1991).

CUADRO 8. Quelatos de hierro y su efectividad como fuentes de hierro para la producción de plantas en maceta. Adaptado de Bunt (1988).

Quelato	Gama efectiva de pH	Recomendación
Fe-HEEDTA	Menor a 4.4	Baja solubilidad que empeora al incrementarse el pH. No es recomendable.
Fe-DTPA	4.5 a 6	Buena solubilidad a pH < 6; pierde estabilidad al combinarse con otros microelementos (Cu). No es recomendable.
Fe-EDTA	4.5 a 6	Solubilidad alta a pH < 6, estable con otros microelementos. Recomendable en sustratos con pH < 6.
Fe-EDDHA	5.5 a 8	Alta disponibilidad a pH > 5.5; estable con otros microelementos. Recomendable para la mayoría de los sustratos.

Finalmente y para asegurar un buen comienzo al cultivo, el nitrógeno (N) debe ser incorporado al sustrato en pre-plante (Bunt, 1988; Nelson, 1991; Wright y Niemiera, 1987). Formas solubles de N (ejemplos: Ca(NO₃)₂ o KNO₃) o fuentes nitrogenadas de liberación lenta (ejemplos: formaldehídos o metilenos de urea, o urea capeada con azufre) pueden ser utilizadas (Cabrera, 1996a). El N en la forma nítrica (NO₃⁻) es altamente lixiviable y debe por tanto ser proveído frecuentemente en forma líquida (fertigación) o con fertilizantes de liberación lenta (Cabrera, 1996a; Nelson, 1991; Wright y Niemiera, 1987).

REVISIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUSTRATO

Aunque existen varios métodos para determinar las propiedades químicas de sustratos para maceta hay dos que se han popularizado: extracto de sustrato saturado (ESS) y el de lixiviado (LX). El método ESS se usa ampliamente en laboratorios universitarios y comerciales de suelos y sus guías generales de interpretación están basadas en numerosos estudios y ensayos de fertilidad (Warnecke, 1986). Las recomendaciones generales dadas en el Cuadro 9 pueden usarse para hacer interpretaciones preliminares de los resultados obtenidos con el método ESS. Recuérdese, sin embargo, que los niveles deseables de pH, sales solubles y nutrimentos varían con respecto a la especie de planta ornamental, prácticas culturales y su manejo específico. Por ejemplo, se sabe bien que en general plantas ornamentales leñosas son más sensibles a salinidad que plantas herbáceas. El procedimiento ESS es descrito detalladamente por Waarnecke (1986).

CUADRO 9. Normas de interpretación general para propiedades químicas de sustratos analizados por el método de Extracto de Sustrato Saturado (Warnecke y Krauskopf, 1983).

Análisis	Bajo	Adecuado	Alto
Sales solubles (CE en ds·m ⁻¹)	0 - 1.0	1.0 - 2.0	3.0+
pH	3 - 4	5 - 6	7+
NO ₃ ⁻ N µg·g ⁻¹	0 - 50	50 - 200	200+
Fósforo µg·g ⁻¹	0 - 3	5 - 10	10+
Potasio µg·g ⁻¹	0 - 100	100 - 200	250+

^z Las siguientes unidades de CE son equivalentes: ds·m⁻¹ = ms·cm⁻¹ = mmhos·cm⁻¹

El método de lixiviado (LX) se originó recientemente a partir del programa de investigación en cultivos de vivero en el Instituto Politécnico y Universidad Estatal de Virginia, Estados Unidos (Wright, 1986). El método es mucho más rápido para ejecutar que el ESS y no requiere de equipo especializado. A grandes rasgos, un volumen limitado de agua destilada es agregado a la superficie del sustrato que se encuentra a capacidad de contenedor, y desplazando (drenando) un volumen equivalente de solución del suelo. Se asume que la solución desplazando (drenando) un volumen equivalente de solución del suelo. Se asume que la solución desplazante (agua destilada) actúa como un pistón, y que no se mezcla considerablemente con la solución desplazada, es decir aquella que originalmente residía en la zona radical (Wright, 1986). Se presume pues que la solución desplazada representa la composición química de la fase líquida del sustrato.

Las ventajas prácticas del método LX sobre el de ESS son: a) el sustrato no es manipulado en forma alguna; b) no hay peligro de dañar partículas fertilizantes de libera-

ción lenta que podrían ocasionar lecturas altas de salinidad; c) no se requiere de ningún equipo especializado para extraer la solución de suelo; d) el tiempo requerido para extracción y análisis es menor que para el método ESS. Los resultados obtenidos por el método LX son más representativos de las condiciones nutritivas y de salinidad presentes en la zona radical, inmediatamente después de lograrse la capacidad de maceta. Sin embargo, y en contraste al método ESS, las normas de interpretación con las que se cuentan actualmente para el método LX (Cuadro 10) se han establecido para un número limitado de especies ornamentales leñosas y sustratos (principalmente aquellos basados en corteza de pino). Se recomienda por tanto, ser cauto al momento de interpretar resultados obtenidos bajo condiciones particulares de manejo.

CUADRO 10. Niveles óptimos de propiedades químicas deseables en sustratos analizados por el método de Lixiviado^z.

Análisis	Nivel en el lixiviado
Sales solubles $\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$	0.6 – 2.0
Nitrógeno $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	75 – 100
Fósforo $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	10 – 15
Potasio $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	30 – 50
Calcio $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	10 – 15
Magnesio $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	10 – 15

^z Estos niveles han sido establecidos únicamente para cultivos ornamentales leñosos que son crecidos en sustratos basados en corteza de pino.

MANEJO DE LA SALINIDAD (SALES SOLUBLES) EN SUSTRATOS

El mantenimiento de niveles nutrimentales altos en sustratos es un objetivo común en la producción de plantas ornamentales, ya que se desea mantener una tasa alta de crecimiento (Cabrera, 1996b). Sin embargo, el uso excesivo de sales fertilizantes puede restringir severamente el crecimiento de las plantas (por inducción de estrés hídrico o toxicidad específica de ciertos iones), ocasionar daños indeseables al follaje (quemaduras) e inclusive la muerte de las plantas (Bunt, 1988).

Tales situaciones pueden ser prevenidas al hacer aplicaciones de fertilizantes adecuadas a las demandas reales del cultivo y tomando en cuenta las condiciones ambientales durante producción (Nelson, 1991; Wright y Niemiera, 1987). Si condiciones de alta salinidad se presentan durante la producción, normalmente se recurre a prácticas de lixiviación con agua (Bunt, 1988; Handreck y Black, 1994; Cabrera, 1996b; Nelson, 1991).

La concentración más alta de sales solubles – expresada en unidades de conductividad eléctrica (CE)– en la solución del sustrato se encuentra en el momento anterior a un riego. La solución residente en el sustrato

es entonces desplazada hacia el fondo de la maceta por el agua o solución nutritiva con que se está regando. Si suficiente agua o solución nutritiva de baja salinidad es aplicada, cierto volumen de la solución residente con salinidad más alta será lixiviada. La reducción de sales solubles en la solución del sustrato depende pues de la salinidad del agua o solución de riego y el volumen utilizado.

Una fracción lixiviada de 10-30% es normalmente suficiente para mantener niveles adecuados de salinidad cuando se utilizan agua o soluciones típicas de riego ($\text{CE}=0.5\text{-}2.0\text{ mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}$).

$$\text{Fracción Lixiviada (FL)} = \frac{\text{Volumen de solución lixiviada (drenaje)}}{\text{Volumen de agua o solución de riego}} \times 100$$

También se puede estimar que tanta agua o solución nutritiva de cierta salinidad se requiere para mantener un nivel dado de salinidad en el sustrato. Por ejemplo, si la CE del agua de riego es $0.5\text{ mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}$ y se desea mantener una salinidad de $1.5\text{ mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}$ en la solución del sustrato, el requerimiento de lixiviación (RL) será:

$$\text{RL} = \frac{\text{CE del agua o solución de riego}}{\text{CE del agua drenada (lixiviada)}} = \frac{0.5\text{ mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}}{1.5\text{ mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}} = 0.33=33\%$$

Esto es, un 33 % de agua o solución de riego con una salinidad de $0.5\text{ mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}$ tendrá que ser drenada para mantener una CE de $1.5\text{ mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}$ en la zona radical. Si una solución más salina es utilizada para regar, entonces se tendrá que aumentar la fracción lixiviable.

La eficacia con la que las sales solubles residentes en la solución del sustrato son desplazadas o lixiviadas depende de ciertas características físicas del sustrato, principalmente su granulometría. Estudios efectuados al respecto indican que la mayoría de las sales son removidas con tan solo aplicar 1.5 veces la cantidad de agua retenida por el sustrato a capacidad de contenedor (Bunt, 1988). En la práctica y asumiendo que se utilice agua de buena calidad ($\text{CE} \leq 0.5\text{ mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}$; ver Cuadro 11), el lixiviar un volumen de agua equivalente al volumen total de la maceta o contenedor será suficiente para corregir problemas comunes de salinidad. Otras medidas que pueden ayudar a mitigar los efectos de salinidad son: mantener el sustrato húmedo, nunca hacer aplicaciones de fertilizante granular o soluciones nutritivas concentradas cuando el sustrato esté seco, y reduciendo la demanda evaporativa usando malla sombra y/o elevando la humedad relativa (Cabrera, 1996b; Nelson, 1991).

Cabe resaltar que la calidad del agua de riego, es decir su composición química, está íntimamente vinculada al manejo de las propiedades químicas en un sustrato, y en gran manera afecta el pH del sustrato, la disponibili-

dad de nutrimentos, la presencia de toxicidades específicas, y los niveles totales de sales solubles (Farnham *et al.*, 1985). El Cuadro 11 resume las propiedades químicas más importantes que deben de ser evaluadas en aguas de riego a usarse en la producción de plantas ornamentales.

CUADRO 11. Propiedades a considerar en la evaluación de calidad de aguas de riego a ser usadas en la producción de plantas ornamentales. Adaptado de Farnham *et al.*, 1985^z.

Tipo de Problema	Grado de Problema	
	Ninguno a Insignificante	Moderado a Alto
Salinidad:		
CE (mmhos·cm ⁻¹ ó ds·m ⁻¹)	Menos de 0.5	0.75 – 3.0
Permeabilidad:		
Contenido de Sodio adsorbido con relación a Ca y Mg.	Menos de 3.0	6.0 – 9.0
Toxicidades específicas debido a absorción foliar y/o radical:		
Boro µg·g ⁻¹	0.3 – 0.5	0.5 – 2.0
Cloro µg·g ⁻¹	Menos de 110	140 – 360
Fluoruro µg·g ⁻¹	Menos de 1.0	Más de 1.0
Sodio µg·g ⁻¹	Menos de 70	70 – 210
Depósitos foliares indeseables:		
Bicarbonato µg·g ⁻¹	Menos de 120	180 – 360
Hierro µg·g ⁻¹	Menos de 1.0	Más de 1.0
Manganeso µg·g ⁻¹	Menos de 1.0	Más de 1.0
Mantenimiento del pH del suelo:		
Alcalinidad (en µg·g ⁻¹ de CaCO ₃)	60 – 120	180 – 360
pH	5.0 – 8.0	Más de 8.0

^z Plantas leñosas son por lo general más susceptibles que las herbáceas a niveles altos de salinidad, así como a altas concentraciones de elementos tóxicos como cloro, boro y sodio.

LITERATURA CITADA

- ANSORENA-MINER, J. 1994. Sustratos: Propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.
- BUNT, A.C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. Unwin Hyman Ltd., Great Britain. 309 p.
- BOWMAN, D.C.; PAUL, J.L. 1983. Understanding of container media vital knowledge for growing successful plants. Pacific Coast Nurseryman and Garden Supply Dealer. March Issue.
- CABRERA, R.I. 1997. Fundamentals of container media management, Part 2. Measuring physical properties. Rutgers Cooperative Extension Factsheet No. 881. 2 p.
- CABRERA, R.I. 1996a. Using slow-and controlled-release fertilizer in container nursery crops. Rutgers Cooperative Extension Factsheet No. 847. 4 p.
- CABRERA, R.I. 1996b. Monitoring and management of soluble salts in ornamental plant production. Rutgers Cooperative Extension Factsheet No. 848. 4 p.
- CABRERA, R.I. 1995. Fundamentals of container media management, Part. 1. Physical properties. Rutgers Cooperative Extension Factsheet No. 950. 4 p.
- DAVIDSON, H.; PETERSON, C.; MECKLENBURG, R. 1994. Nursery Management: Administration and Culture. 2nd. Ed. Prentice Hall Career & Technology, New Jersey, USA. 486 p.
- FARNHAM, D.S.; HASEK, R.F.; PAUL, J.L. 1985. Water quality; Its effects on ornamental plants. Cooperative Extension Leaflet No. 2995. University of California, USA. 15 p.
- HANDRECK, K.A.; BLACK, N.D. 1994. Growing Media for Ornamental Plants and Turf. New South Wales Univ. Press, Australia. 448 p.
- NELSON, P.V. 1991. Greenhouse Operation and Management. 4th Edition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA. 611 p.
- WARNECKE, D.D. 1986. Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. HortScience 21(2): 223-225.
- WARNECKE, D.D.; KRAUSKOPF, D.M. 1983. Greenhouse growth media: Testing and nutrition guidelines, Extension Bulletin E-1736. Cooperative Extension Service, Michigan State University.
- WHITOCOMB, C.E. 1984. Plant Production in Containers. Lacebark Publications, Stillwater, OK, USA. 638 p.
- WRIGHT, R.D.; NIEMIERA, A.X. 1987. Nutrition of container-grown woody nursery crops. Horticultural Reviews 9: 75-101.
- WRIGHT, R.D. 1986. The pour-through nutrient extraction procedure. HortScience 21(2): 227-229.