

EL EFECTO DE MACETA Y EL RIZOTRÓN: UNA HERRAMIENTA PARA LA INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA

G. Guedea-Fernández; A. Arriaga-Frías, G. De la Cruz-Guzmán

Laboratorio de Ecofisiología y Control de Plagas Unidad de Morfología y Función. FES Iztacala UNAM. México.

RESUMEN

Las plantas cultivadas en maceta, ya sea en viveros o invernaderos, están en condiciones artificiales y poco comparables respecto a la condición de campo. Las dimensiones de la maceta deben estar en función de los requerimientos de espacio, considerando la arquitectura y la velocidad de crecimiento de las raíces, así como su desarrollo fenológico. Las macetas tradicionales no permiten evaluaciones morfofisiológicas de la raíz *in situ*, una alternativa es el uso de rizotrones, los cuales, por un lado permiten evaluar la dinámica y crecimiento radical *in situ* y por otro, disminuyen el efecto de maceta. En el presente trabajo se propone un modelo de rizotrófon con dimensiones 42 x 30 x 10.5 cm con paredes laterales deslizables, el cual permite colocarlo en tres diferentes posiciones, con una profundidad correspondiente a cada una de las dimensiones indicadas. El diseño permite abrir simultáneamente la cara correspondiente a la parte superior o punto donde se colocan las plantas y una lateral a través de la cual se puede realizar la toma de muestras de suelo o raíz, o bien el registro de variables como pH o humedad edáfica entre otras. Se propone este dispositivo para su uso en investigación y docencia.

PALABRAS CLAVE: crecimiento radical, raíces anudadas, configuración del sistema radical, dimensiones de contenedores.

THE EFFECT OF CONTAINER SIZE AND RHIZOTRON: A TOOL FOR INVESTIGATION AND TEACHING

SUMMARY

The plants cultivated in flowerpots or in breeding grounds or conservatories, are in artificial conditions and little comparable with respect to a condition of field. Dimensions of the flowerpot must be based on the space requirements, considering the architecture and the speed of growth of the roots, as well as its phenological development. The traditional flowerpots do not allow physiological evaluations by the root *in situ*, an alternative is the use of rhizotron, which, by a side allows to evaluate dynamics and radical growth *in situ* and by another one diminishes the flowerpot effect. In the present work a model of rhizotron with dimensions sets out 42 X 30 X 10,5 cm with curve-slide sidewalls which allow to place it in three different positions with a depth corresponding to each one from the indicated dimensions. The design allows simultaneously to open to the face corresponding to the superior part or point where the plants are placed and to lateral one through which the taking of ground samples or root or the registry of variable like pH or soil humidity among others. We propose this device for their use in investigation and teaching.

KEY WORDS: root growth, root circling, shoot/root rate, root system configuration, pot dimension.

INTRODUCCIÓN

El volumen y la cantidad de suelo disponibles en un contenedor, pueden crear condiciones artificiales para el desarrollo radical de la planta, limitando la disponibilidad de espacio para la exploración de un volumen extenso de suelo por parte de las raíces. En docencia o investigación es frecuente el cultivo de plantas utilizando bolsas o macetas angostas y de tamaño reducido, donde la arquitectura de la raíz se ignora o no se considera, constituyéndose esto en un factor de confusión para la interpretación debida al efecto de maceta

Una práctica común para determinar el grado de incidencia del efecto de maceta, consiste en cultivar plantas en recipientes de diferente tamaño buscando comparar el crecimiento de vástago y raíz a un tiempo definido. Las especies con crecimiento vigoroso en recipientes con espacio limitado no son la mejor recomendación para la realización de trabajos de investigación o docencia.

Para el conocimiento de las múltiples facetas de la expresión fenotípica de las raíces, se pueden recurrir a modelos deseados, como podrían ser macetas con profundidades de 30 cm, teniendo como justificación que

en la fase de plántula tanto en el ámbito agrícola como forestal, la profundidad de la denominada capa arable para el primer caso, o de transplante para el segundo, se considera una zona con elevada actividad radical.

En años recientes se han dirigido muchos esfuerzos para desarrollar y mejorar los métodos de estudios de las raíces. Debido a que las investigaciones frecuentemente realizadas son de naturaleza destructiva (biomasa) ello limita la posibilidad de saber más sobre su fisiología, ecología y estructura arquitectónica. Esto se ha ido corrigiendo con el desarrollo de herramientas como son los rizotrones o biotrones (Steen E, 1991), los cuales son dispositivos para el estudio de la dinámica de las raíces. Estos se han transformado en un método novedoso y práctico con un mínimo efecto de maceta.

El rizotróon es un instrumento o estructura que sirve para realizar mediciones y observaciones del sistema radical de las plantas, a través de superficies transparentes, siendo susceptible este sistema para practicar estudios de naturaleza experimental trátense de árboles o bien de herbáceas. Se puede utilizar para la obtención de información del desarrollo de raíces y brotes en función de los cambios de estación o bien para la medición del balance hídrico y de nutrientes. Por las razones expuestas es que el objetivo de este trabajo fue proponer un diseño multifuncional de rizotróon con aplicaciones tanto para docencia como para investigación.

ANTECEDENTES

Las plantas cultivadas en macetas difieren de las que se desarrollan en condiciones naturales por el volumen de suelo que limita su crecimiento radical, la disponibilidad de espacios porosos para una buena aeración y la distinta capacidad de retención de humedad asociada a enfermedades o plagas. A fin de disminuir estos efectos, al trabajar con macetas, es importante considerar las siguientes características:

Tamaño. Al contrastar el crecimiento de una raíz principal con ramificación de raíces secundarias y terciarias restringidas (Ej; *Quercus*) con otra especie con un crecimiento lateral abundante (Ej: *Eucalipthus*) se podría considerar a una maceta de mayor altura con menor diámetro y otra menos profunda pero con mayor diámetro respectivamente.

Forma. Las formas cilíndricas son las más apropiadas considerando que el crecimiento radical se realiza de manera radial a partir de un eje principal.

Color. Los colores claros pero opacos al paso de la luz comparados con colores oscuros disminuyen la temperatura del sustrato en función de su capacidad reflectante de la energía solar.

La distribución de las raíces (expresión fenotípica), está determinada por factores genéticos, ambientales, y por la interacción genotipo-ambiente y por ende puede estar determinada por las características de las macetas, las cuales, al tener una elevada capacidad de retención de agua, el crecimiento de las raíces diferirá de aquellas crecidas en el campo (Keever, *et al.* 1985).

El estudio de las raíces involucra diversos aspectos, entre otros y a modo de ejemplo: 1. Nutrición mineral (absorción e interacción iónica); 2. Efecto de estrés salino e hídrico en el crecimiento radical; 3. Factores edáficos (pH, fertilización, tipos de sustratos, drenaje etc.); 4. Comparación de eficiencia de crecimiento radical de distintas especies o cultivares; 5. Incidencia de plagas y/o enfermedades 6 Distribución de biomasa; 7. Interacciones bióticas microorganismo-raíz (micorrizas, bacterias fijadoras de N₂.)

En términos generales, las plántulas presentan una tendencia a una relación de proporcionalidad 1:1 entre el vástago y la raíz si el crecimiento se da en recipientes con un tamaño que no lo limite de forma significativa la expansión radical (Spomer, 1982). Cuando esta circunstancia no se cumple, la raíz se somete al denominado “**Efecto de maceta**” apareciendo, entre otras, algunas de las condiciones generales siguientes:

Estrés Hídrico. En función de las fluctuaciones de las tasas transpiratorias, puede presentarse un estrés hídrico cíclico si no se tiene un adecuado control de la humedad del sustrato, ya que se encuentra restringida la capacidad exploratoria de la raíz pudiendo traducirse esto en una menor confiabilidad y reproducibilidad de los resultados en ensayos experimentales.

Estrés Nutricional. Una alta tasa de crecimiento vegetativo puede redundar en un pronto agotamiento del aporte nutricional y de ahí la necesidad del control de la fertilización de las unidades experimentales.

Para considerar los requerimientos de espacio en un diseño experimental, debe considerarse la fase fenológica a evaluar en una especie determinada, a efecto de seleccionar el tamaño del recipiente que contendrá sus raíces. En teoría se deben definir con antelación los distintos tamaños y el estado fenológico que soporta una maceta. Por ejemplo, una planta de jitomate, requiere una cubeta de 14 litros como mínimo para llevarla hasta producción de fruto, mientras que una planta de maíz llevada hasta cosecha necesita al menos un recipiente de cinco litros.

Los recipientes diseñados para crecer árboles son típicamente mucho más anchos que profundos en proporciones que fluctúan desde 1:1 hasta 1:10. Las bolsas muy estrechas con poca longitud (por ejemplo 1:3) impondrían restricciones mayores al crecimiento radical.

De la misma forma, una bolsa con 10 centímetros de ancho por 20 centímetros de altura (1:2) implica una cantidad de suelo insuficiente si la permanencia de la plántula será larga sobre todo si la especie es de rápido crecimiento o bien, adecuada si es de lento crecimiento. Es decir, es fundamental conocer la arquitectura de la raíz (por ejemplo, ramificada o pivotante) para escoger más allá del rendimiento de arbolitos por cama de propagación aquel contenedor que de una mejor correlación, entre tamaño de maceta y sobrevivencia posterior al trasplante a su sitio definitivo.

Otro caso a considerar es cuando las macetas contienen más de una planta; sin considerar los efectos de una interacción de esta naturaleza en cuanto a competencia por elementos nutritivos y por espacio, donde se desarrollen las especies a estudiar. No obstante, es posible realizar diseños donde sean justificables interacciones de este tipo. Por ejemplo, un estudio del efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento y productividad de un cultivo a nivel de invernadero sería manejable aceptablemente teniendo como modelo al trigo, en virtud de la elevada densidad de siembra manejada habitualmente. Tal situación no sería la misma con pino, encino o maíz. Sin embargo, en este último caso, se podría considerar un modelo de estudio maíz-maleza cuya asociación estrecha en campo es común al competir explorando el mismo volumen de suelo (agua, nutrientes) así como por luz.

A continuación reseñamos algunos trabajos que hablan sobre los tópicos anteriores: Con el objeto de evaluar el efecto de la aireación en plántulas de vivero, Biran y Eliassaf (1980), probaron tubos de aluminio multiperforados, llenos con esferas de poliestireno, los cuales fueron colocados en forma vertical dentro cada maceta donde se transplantaron pequeños árboles de *Ficus benjamina*. Entre los resultados relevantes se encontró una acumulación de hasta un 265 % más de peso seco total de planta con respecto a su control; en lo referente a su sistema radical este alcanzó un 251 % más. La altura de la planta fue, a su vez 142 % superior.

Spomer (1982) expuso que los contenedores de distintos tamaños dan acceso a un volumen finito de suelo; todo esto acompañado de un intervalo de profundidades y forma de partículas de suelo afectando así la retención de agua y los patrones de crecimiento radical y de la parte aérea. El autor señaló que otra forma de ver el problema es modificar el volumen de suelo sin alterar la profundidad, forma o relaciones hídricas y así demostrar la probable relación entre el volumen de suelo y el crecimiento de la planta. Su propuesta consistió en colocar cantidades crecientes de grava de río de tamaño de un chícharo (0.7 cm) y decrecientes de suelo dando por consiguiente, durante el proceso de sustitución, un menor volumen de este último. En un ensayo de laboratorio el autor demostró una relación inversamente proporcional entre cantidad de grava y crecimiento, es decir, a menor cantidad de suelo,

menor crecimiento. Un aspecto asociado es que entre menor sea el volumen de suelo las diferencias de evapotranspiración con macetas con mayor volumen se harán más evidentes complicando aún más su manejo.

Laiche y Kilby (1983) indicaron que la falla en el trasplante de *Carya illinoensis* puede ser resultado de un inadecuado desarrollo lateral de raíces las cuales al presentar un crecimiento circular dan como consecuencia una reducción en la conductividad del tallo además de la comunicación radial entre tejidos.

Keever *et al.* (1985) trabajando con *Rhododendron* (raíz fibrosa y poco profunda): *Llex cornuta* (raíz gruesa y profunda con ramificaciones laterales) y *Euonymus japonica* (*sistema radical extenso y fino*) encontraron correlaciones entre profundidad y diámetro con aumento en peso seco a medida que se incrementaban ambas variables no detectándose diferencias en diámetros y profundidades grandes, lo que hace presumir ausencia de efecto de maceta. Se sugiere que las raíces poco profundas crecen mejor en recipientes también poco profundos y anchos. A su vez, las raíces profundas requieren un contenedor más profundo que las macetas estándar de vivero.

Desde 1873, se han utilizado cajas llenas de tierra, con una ventana de vidrio para la observación del crecimiento radical (Merrill, 1992). Actualmente existen diversos tipos de rizotrones, uno de ellos consistente de una gran estructura subterránea construida para estudiar el desarrollo de raíces y sus movimientos, en árboles frutales; la cual ha sido mencionada desde hace varios años. Su construcción fue a base de paneles de vidrio verticales, para determinar el crecimiento y proliferación de raíces, y fauna del suelo (Mc.Crimmon, Karnok, 1992)

En la actualidad y sobre la base de lo anterior, se han diseñado y construido diversos rizotrones de grandes dimensiones para numerosos propósitos, todos ellos relacionados con el área radical de los vegetales, algunos son: el de "Aurbum", "Ames", y "National Soil Tilth Laboratory" (NSTL), el cual es un rizotrón con ambiente controlado. También se han creado otros tipos de estructuras menores que, llevan los mismos propósitos, acceder rápidamente y sin dañar a las raíces de las plantas en el suelo; a los cuales se les conoce como Minirrizotrones, Cortes de Suelo, Trincheras de Perfiles y Unidades S.P.A.R (Soil - Plant- Atmosphere - Resaerch) (Dubach, Russel, 1995; Fogel, Lussenhop, 1991; Mackie-Dawson, Atkinson, 1991; Stanke, Shea, Tupy, *et al.*, 1991)

Los minirrizotrones son tubos transparentes colocados dentro del suelo para permitir la observación del sistema radical con fibras ópticas o videocámaras, se pueden instalar en posiciones relativamente definidas en los sembradíos y en cualquier tiempo durante el periodo de crecimiento o en cilindros aislados del suelo.

Con el método de cortes del suelo o trincheras de perfiles, se permite el acceso destructivo de uno o dos planos verticales a un solo punto del sistema: raíz - suelo, en las cosechas anuales; pero esto puede convenir posteriormente, si se le coloca una pared transparente y se transforma en una ventana miniatura (Makie-Dawson, 1991) para realizar observaciones continuas no destructivas. Este tipo de rizotrones es usado especialmente, para el estudio de comunidades vegetales naturales.

Las unidades SPAR son estaciones únicas, con gabinetes, designados para el uso de exteriores. Estas unidades proveen el control de temperatura y composición de gases de un área ambiental cerrada y un control de temperatura independiente de la superficie en un contenedor de suelo metálico, con una pared transparente para la colocación de sensores.

A continuación se reseñan brevemente algunas investigaciones realizadas con el apoyo del uso de rizotrones con objetivos y magnitud diversa. En estas se aprecia que son estudios donde se evalúan factores tales como tipo de sustrato, humedad, salinidad, pH, temperatura, fertilidad, relaciones iónicas, interacciones raíz- microorganismo y comparación de especies vegetales. De esta forma se aprecian algunas de las posibilidades de los rizotrones como herramienta que arroja una mejor analogía con el comportamiento del sistema radical en condiciones de campo, Cuadro 1.

Propuesta de un modelo de Rizotrón

En este apartado se propone un tipo de rizotrón compuesto de paredes acrílicas, deslizables y con drenaje,

CUADRO 1. Ejemplos de investigaciones realizadas con ayuda del Rizotrón y sus subtipos

AÑO Y AUTOR	OBJETIVOS	ESPECIES USADAS
1990 Gilliespie y Pope	Determinar la tasa y magnitud de acidificación de la rizósfera con base en el desarrollo de una planta fijadora de nitrógeno	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.
1992 Daneels, Vyvey, Vervalcke y Van Cotthem	Observación de la influencia de las condiciones del suelo y fertilizantes sobre el crecimiento y morfología de raíces.	<i>Pisum sativum</i> L. y <i>Oenothera parviflora</i>
1992 Mc.Crimmon y Karnok	Determinación de los efectos del nitrógeno en forma de nitratos y amonio sobre las raíces (longitud, número y color)	<i>Agrostis palustris</i> Huds
1993 Glenn y Welker	Determinar la interacción del potencial de presión del suelo y la presencia de competidores sobre las raíces del durazno.	<i>Prunus persica</i> L. y <i>Féstuca auridinaceae</i>
1993 Reid, Sorensen y Petrie	Estudio de la demografía radicular fina en planta madura de Kiwi.	<i>Actinia deliciosa</i>
1993 Andren, Hansson y Vegh	Medición de humedad en el suelo, así como del numero y longitud de raíces. Medición de iones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio.	Cebada
1994 Snapp y Shennan	Investigación de los efectos de la salinidad y del ataque de <i>Phithophtora</i> en raíz sobre el crecimiento y senescencia del tomate.	<i>Lycopersicon esculatum</i> Mill
1994 Ball, Oosterhuis y Mauromoustakos	Evaluación de la respuesta de crecimiento diferencial de raíces y brotes, en condición de déficit hídrico, para la obtención de un modelo de crecimiento vegetal para resistencia a la sequía.	<i>Gossypium hirsutum</i>
1994 Wilson, Gunn y Cherrett	Efecto de dos pesticidas en las interacciones entre invertebrados del suelo, crecimiento de raíz y producción de pastizal.	
1996 Halter, Sands, Nambiar y Ashton	Estudio sobre la fisiología de la raíz de 2 especies de eucaliptos con relación a temperaturas de suelo bajas y variaciones día-noche que influyen en el alargamiento de las raíces.	<i>Eucalyptus pauciflora</i> Sieber ex Spengel; subespecie <i>pauciflora</i> y <i>Eucalyptus nitens</i>
1997 Smith, A. L.	Establecer el papel que juega el uso del Rhizolab" en la investigación "in situ" como un Inter.-mediario entre un experimento de campo y laboratorio. Creación de un diseño para medir el transporte y degradación biológica de un suelo contaminado por queroseno.	
1997 Waipar, Di mena, Skipp, y Cole	Empleo de un sistema de minirrizotrón para medir directamente los efectos de 2 hongos patógenos de sobre raíces de <i>Lolium</i> y <i>Trifolium</i>	<i>Cylindrocladium scoparium</i> ; <i>Fusarium crookwellense</i> , <i>Trifolium repens</i> L. y <i>Lolium perenne</i>
1998 Authokelting, Harris, Fanelli y Appleton	Se probaron tres distintos tipos de bioestimulantes como auxiliares del establecimiento vegetal sobre crecimiento radicular y flujo de savia en árboles de maple rojo.	<i>Acer robrum</i> L.
2000 Diefenbach, y Matzner	Estudios de campo de la estabilidad de los gradientes in situ de la concentración de cationes y de aniones en la solución del suelo alrededor de raíces del árbol.	<i>Picea abies</i> L. Karst

para uso didáctico y de investigación, que por sus características (tamaño y forma) se puede usar, en una cámara de crecimiento, en un invernadero o en un vivero, el material utilizado consiste en acrílico con un espesor de 0.5 cm, ángulo de aluminio de 2/8" de pulgada y riel del mismo material con 7 mm de ancho de la canaleta (Figura 1).

Descripción en detalle:

- 1.- Paredes Frontales 30 X 42 cm.
- 2.- Paredes Laterales 10.5 X 42 cm.
3. - Base: A) Sin perforaciones 10 X 30 cm. B) Con Perforaciones para drenaje: Mismas dimensiones que A; Perforaciones de 0.63 cm (2/8 de pulgada) de diámetro, con separaciones laterales de 2 cm y longitudinales de 2.5 cm.

Las dimensiones del rizotrón propuesto se basaron principalmente en su facilidad para el manejo y transporte, además de que su profundidad fuese mayor a los 30 cm como indicador de la capa arable para plantas de cultivo o para poder observar el crecimiento de plántulas de árboles las cuales alcanzan proporciones raíz/vástago altas como es el caso del encino (*Quercus* sp).

El volumen de suelo explorado por las raíces depende de la posición en que se coloque el rizotrón, como se muestra en la Figura 2. Cada una de ellas modifica principalmente la profundidad pudiendo hacer analogías por ejemplo con el desarrollo de raíces en condiciones de suelo somero con 10.5 cm de profundidad (inciso b) o con mayor profundidad (42 cm, inciso c). Debido a que el diseño permite deslizar dos caras del rizotrón a la vez siendo una de ellas la parte superior donde se colocarán las plantas a evaluar y una cara frontal de las paredes de acrílico es posible realizar evaluaciones directas de la biomasa radical.

El que la pared frontal sea deslizable, permite evaluar por intervalos el peso seco de las raíces a diferentes

profundidades o bien, el tomar muestras de raíz para determinaciones de orden fisiológico como potencial hídrico, contenido relativo de agua, concentración de solutos o contenido nutrimental entre otros.

Otro aspecto que facilita el uso del rizotrón es la posibilidad de marcar el crecimiento de aquellas raíces que se ubican entre las paredes del acrílico y el sustrato con colores distintos en cada fecha de evaluación. Una alternativa a esto consiste en colocar un pliego de papel celofán o albanene sobre la pared del acrílico trazando sobre él el contorno de las raíces para que al final del estudio se transfieran los mapas radicales a papel bond o bien realizar el "escaneado" para su análisis posterior.

Adicionalmente, la combinación de varios tipos de sustratos a diferentes profundidades permite evaluar el comportamiento de las raíces ante estratos con características fisicoquímicas variadas. Por ejemplo, la colocación de un sustrato arenoso de 15 cm en la parte superior, seguido por otro del mismo espesor pero de tierra negra, sería similar a una condición de suelo con elevado drenaje y por tanto, baja retención en los estratos superiores para un diseño sobre sequía edáfica donde se compare la capacidad de penetración de las raíces de distintos cultivares, hasta estratos profundos. Otra modalidad a considerar consiste en la inclusión de estratos progresivamente más duros para evaluar la capacidad de impedancia mecánica en la penetración de suelo por las raíces.

Las posibilidades en el plano didáctico, son amplias ya que pueden realizarse diseños sobre fertilización, sequía, desórdenes nutrimentales, salinidad y micorrización con ácidos fúlvicos entre otros. Se pueden hacer analogías con las condiciones de campo al comparar este dispositivo contra el crecimiento de plantas en recipientes tradicionales de plástico tanto rígidos como flexibles con distinto grado de efecto de maceta.

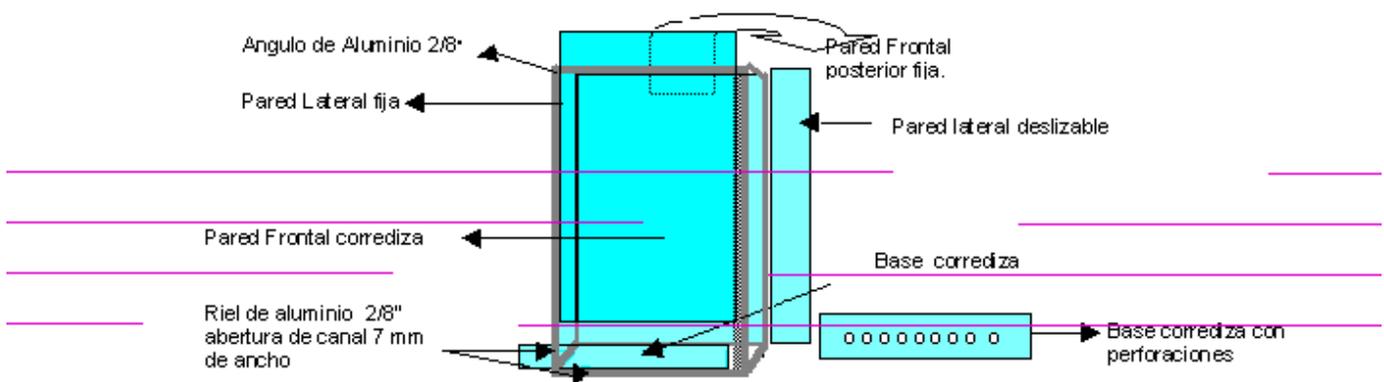


Figura 1. Modelo de Rizotron propuesto

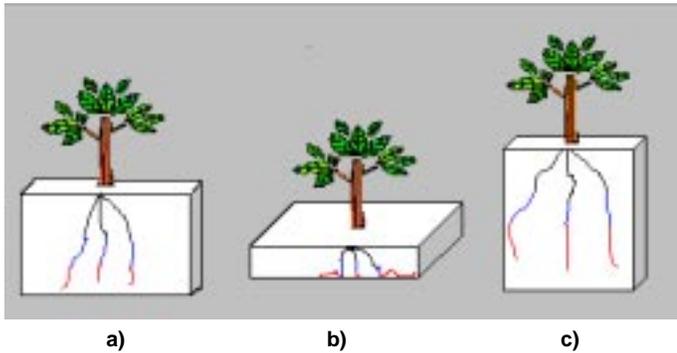


Figura 2. Cambios en la profundidad radical alcanzada dependiendo la posición del rizotrón.

Entre los objetivos prácticos de utilización se tienen el comparar el crecimiento de pequeños árboles crecidos en rizotrones con macetas de distintos tamaños a efecto de definir aquel recipiente cuyas dimensiones mejoren la probabilidad de un mejor establecimiento posterior al trasplante a un sitio definitivo en el caso, por ejemplo de plantas de vivero.

A su vez, otra alternativa interesante es la evaluación de la capacidad competitiva de los cultivos en estado de interacción como la conocida maíz x frijol o bien maíz con malezas que frecuentemente regulan su capacidad productiva. Diseños didácticos de tipo demostrativo sobre interacción entre especies, por ejemplo, de trigo x maleza en diferentes proporciones 2:1 o 2:2 etc., pueden constituirse en indicadores de capacidad competitiva de buen valor didáctico en el proceso de enseñanza en el aula.

El rizotrón es útil porque se pueden medir propiedades del suelo y raíces sin provocar disturbios en el resto de la planta, además de que se facilita un acceso horizontal en la interacción suelo-raíz para la obtención de muestras y determinación de humedad, pH o actividad microbiológica en estrato profundo. Otro aspecto muy importante es la posibilidad de poder observar los efectos relativos a la compresión en función de la profundidad, asociados con la expresión fenotípica de las raíces en los horizontes medios y bajos.

CONCLUSIONES

1) El estudio del efecto de maceta y el manejo de rizotrones se sustentan en que al determinar la arquitectura de las raíces es posible definir la dimensión adecuada de una maceta a efecto de aumentar el nivel de extrapolación de resultados de experimentos de vivero o invernadero a condiciones de campo.

2) La comparación de los resultados del uso del rizotrón con macetas de diferentes tamaños ayuda a precisar el punto donde la calidad de una evaluación puede estar más afectada por el efecto de maceta.

3) El rizotrón es una herramienta adecuada para la realización de estudios *in situ* sobre fisiología, bioquímica y morfología de raíces.

4) El modelo de rizotrón propuesto de paredes deslizables puede ser una alternativa didáctica para prácticas demostrativas o estudios de investigación sobre fisiología, bioquímica y morfología de raíces.

LITERATURA CITADA

- ANDREN, O.; HANSSON, A.C.; VEGH, K. 1993. "Barley nutrient uptake, root growth and depth distribution in two soil types in a rhizotron with vertical and horizontal minirhizotrons", Swedish Journal of Agricultural Research 23 (3): 115-126.
- AUTHOKELTING, M.; HARRIS, J.R.; FAHELLI, J.; APPLETON, B. 1998. "Humate – base bioestimulants affect early post transplant growth and sapflow of balled and burlapped red maple.", Hort. Science 33(2): 342-344.
- BALL, R.A.; OOSTERHUIS, D. M.; MAUROMOUSTKOS, A. 1994. "Growth dynamics of the cotton during water - deficit stress". Agronomy Journal 86 (5): 788-795.
- BIRAN, I.; ELIAASSAF, E. 1980. The effect of container size and aeration conditions on growth of roots and canopy of woody plants. Scientia Horticulturae 12:385-394.
- DIEFENBACH, A.; MATZNER, E. 2000. "In situ soil solution chemistry in the rhizosphere of mature norway spruce (*Picea abies* L)", Plant and Soil 222(1) 149-161 www.bitoe.k.uni-bayreuth.de/FPublikationen/Foo2627/FDE.html.
- DUBACH, M.; RUSSELLE, M.P. 1995. "Reducing the cost of estimating root turnover with horizontally installed minirhizotrons". Agronomy Jour. 87 (2): 258-263*
- FOGEL, R.; LUSSENHOP, J. 1991. "The University of Michigan Soil Biotron: a construction and establishment". Plant Root Growth an Ecological Perspective., British Ecological Soc., Special pub. No. 10: 61-69., Blackwell Scientific Pub. Oxford.
- GILLIESPIE, A.R.; POPE, P.E. 1990. "Rhizosphere acidification increases phosphorus recovery of black locust: I Induced acidification and soil response." Soil Science Soc. of America journal 54(2): 533-537.*
- GLENN, D.M.; WELKER, W-V. 1993. "Water transfer diminishes root competition between peach and tall fescue"; Journal of The American Soc. for Hort. Science 118 (5):570-574.
- HALTER, R. R.; SANDS, E.K.; NAMBIAR, D. H.; ASHTON. 1996: "Elongation of Eucalyptus roots during day and night" Tree Physiology 16: 877-881 (www.heronpublishing.com/tree/files/domain/data/vol16/16-877.pdf.)
- KEEVER, G.J.; COBB, G.S.; REED, R.B. 1985. Effects of container dimension and volume on growth of three woody ornamentals. Hort Science 20(2): 276-278.
- LAICHE, A. J. JR.; KILBY, W.W. 1983. Root and Shoot growth of field and container-grown pecan nursery trees five years after transplanting. Hort Science 18(3): 328-329.
- MACKIE-DAWSON, L.A.; ATKINSON, D. 1991. "Methodology for the study of roots in field experiments and the interpretation of results", Plant Root Growth and Ecological Perspective, British Ecological Soc, Special Pub. No. 10: 25-47, Blackwell Scientific Pub. Oxford.
- Mc. CRIMMON, J.N.; KARNOK, K.J. 1992. "Nitrogen form and the seasonal root and shoot response of creeping bentgrass." Communication in Soil Science and Plant Analysis 23 (9-

- 10): 1071-1088.*
- MERRIL, S.D. 1992 "Pressurized-wall minirhizotron for field observation of root growth dynamics", *Agronomy Journal* 84(4) 755-758.*
- REID, J.B.; SORENSEN, I.; PETRIE, R.A. 1993. "Root demography in Kiwifruit (*Actinia deliciosa*).", *Plant Cell and Environment* 16(8): 949-957*.
- SMITH, A.L. 1997. Process monitoring of soil air ventilation under controlled conditions at semi-field scale (www.bartztechnology.com/tubular%20tips.htm)
- SNAPP, S.S.; SHENANNAN, C. 1994. "Salinity effects on roots growth and senescence in tomato and the consequence for severity of *Phytophthora* root rot infection". *Journal American Society Hortic. Science*. 119 (3): 458-463.
- SPOMER, L.A. 1982. The effect of container soil volume on plant growth. *Hort Science* 17(4): 680-681.
- STAHNKE, G.K.; SHEA, P.J.; TUPY, D.R.; STOUGAARD, R.N.; SHEARMAN, R.C. 1991. "Pedimethalin dissipation in Kentucky bluegrass turf". *Weed Science* 39(1):97-103.
- STEEN, E. 1991. "Usefulness of the mesh bag method in quantitative root studies.", *Plant Root Growth an Ecological Prespective.* *Plant Root Growth and Ecological Prespective.*, British Ecological Soc, Special Pub. 1982-1991. No. 10: 75-86. Blackwell Scientific Pub. Oxford.
- WAIPAR, N.W.; DI MENA, M. E.; SKIPP, R. A.; COLE, A.L.J. 1997. "In situ examination of whitw clover and perinnial reygrass roots inoculated with fungal patogens"; *Proc.50th NZ. Plant Protection onf.19977* 78-83 www.hornet.co.nz/publications/nzpps/procedings/197/77-78.pdf
- WILSON, K.; GUNN, A.; CHERRETT, J.M. 1994. "The implication of as rhizotron to study the subterranean effects of pesticides" *Pedobiología* 39 (2): 132-143.