

00381
12

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS - DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Crecimiento de raíces de *Quercus crassifolia*,
Q. crassipes y *Fraxinus uhdei*
en dos tipos diferentes de suelo urbano

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

DOCTORA EN CIENCIAS
(BIOLOGÍA)

PRESENTA

M. EN C. ALICIA CHACALO HILU

DIRECTOR DE TESIS: DR. ROBERT BYE BOETTLER

MÉXICO D.F.

2000

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A Elías

A Michelle

A Pepe

RESUMEN

El crecimiento de raíces de dos especies de encino: *Quercus crassifolia* Humb. & Bonpl y *Q. crassipes* Humb. & Bonpl se comparó con el del fresno: *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh durante un periodo de cinco meses. Las tres especies de árboles se plantaron en rizotrones cuyos suelos de textura gruesa y fina representaban dos condiciones edáficas diferentes de la Ciudad de México. Los rizotrones permitieron la observación repetida del sistema radical en forma no destructiva. El experimento se instaló en un cobertizo de plástico cuyas ventanas se abrían para disipar los extremos de temperatura cuando era necesario. El suelo se mantuvo a capacidad de campo durante todo el experimento. El crecimiento de las raíces y de la parte aérea de la plántula se registró semanalmente; a su vez, se dibujaron las raíces visibles en la retícula del vidrio del rizotrón y se anotó la altura y el número de hojas de la parte aérea. La cosecha de raíces se efectuó con la ayuda de 2 cribas. Después de la cosecha, se obtuvo información del peso seco de la raíz y la parte aérea y se cuantificó en un programa de análisis de imagen la longitud de la raíz contra el vidrio y la longitud real. El diseño experimental fue un factorial aleatorio completo balanceado. Los tratamientos fueron los dos tipos de suelo y las tres especies con 10 repeticiones de cada combinación.

Los resultados indicaron que la densidad aparente del suelo fue significativamente más alta y la porosidad significativamente más baja en el suelo de textura gruesa. La profundidad máxima de penetración de las raíces visible detrás del vidrio fue significativamente mayor en el suelo de textura fina para cada una de las tres especies, después de cinco meses. Las raíces del fresno *Fraxinus uhdei* penetraron a mayor profundidad que las raíces de ambas especies de encino *Quercus crassipes* y *Quercus crassifolia* en ambos suelos. El sistema radical de *F. uhdei* y el peso seco de la parte aérea fueron significativamente menores en el suelo de textura gruesa comparados con el suelo de textura fina, pero ni *Quercus crassifolia*, ni *Q. crassipes* resultaron afectadas por el tipo de suelo. En el suelo de textura fina, el peso seco de las raíces y de la parte aérea de *F. uhdei* fue significativamente mayor que el de ambas especies de *Quercus*, pero no así en el suelo de textura gruesa. Aunque la diferencia tomó 6 semanas más en el suelo de textura gruesa, al final del estudio las plántulas de *F. uhdei* en suelo de textura fina fueron más altas que las de *F. uhdei* en el suelo de textura gruesa y más altas que las dos especies de *Quercus* en los dos tipos de suelo.

El crecimiento vigoroso del sistema radical del fresno ayudó a comprender porqué esta especie es tan dominante en la Ciudad de México bajo prácticamente cualquier condición. La profundidad de penetración de las raíces de las dos especies de encino fue similar a la del fresno en el suelo fino, pero no así en las condiciones más limitantes del suelo grueso. Con base en estos resultados, las dos especies de encinos podrían desarrollarse bien en suelos buenos pero tener dificultades cuando las condiciones de suelo no son óptimas, como las que se presentaron en el de textura gruesa de este estudio.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar un profundo agradecimiento a mis directores del proyecto doctoral: Los Doctores Robert Bye Boettler, Gary Watson y Víctor Ordáz Chaparro. Este proyecto representó varios retos que se afrontaron gracias a su dirección, a su constante apoyo, a su confianza y a su interés por desarrollar este tema en nuestro país. Mi admiración por ellos y mi gratitud son infinitas.

A mi esposo Elías, a mi hija Michelle y a mi hijo Pepe quisiera poderles corresponder algún día toda su paciencia. Muchas jornadas de trabajo completas, días festivos, fines de semana y horas que no eran precisamente del horario laboral se dedicaron al proyecto doctoral.

El presente trabajo se realizó gracias al apoyo de las siguientes Instituciones: la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, el Colegio de Posgraduados (Montecillos, México), el Morton Arboretum (Lisle – Illinois) y el Jardín Botánico del Instituto de Biología UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). Se obtuvo un financiamiento adicional de la Sociedad Internacional de Arboricultura, programa Research Trust, del programa PADEP-UNAM # 003330 y 002355, así como de CONACYT.

Quisiera agradecer a Patrick Kelsey del Morton Arboretum, al Dr. Josué Kohashi (Colegio de Posgraduados) y a Silvia Romero (ENEP-IZTACALA), por la valiosa dirección que nos brindaron en suelos urbanos, fisiología vegetal y en la selección de especies nativas de encinos (*Quercus*).

El Dr. Kohashi revisó el capítulo de raíces en dos ocasiones, resolvió numerosas dudas a lo largo del proyecto experimental, de la redacción del artículo y de la tesis; participó en el comité de examen predoctoral y en el jurado del examen de grado. Considero que fue muy generoso al compartir con sencillez su sólida formación.

Los Doctores Hermilo Quero Rico y Margarita Collazo participaron en el comité tutorial y fueron miembros del jurado, señalando interesantes observaciones y correcciones. Les agradezco su visión objetiva de este tema y su preocupación constante por los lineamientos científicos del proyecto.

El Dr. Héctor Javier Vázquez y el Maestro Alejandro Aldama brindaron gran apoyo en la parte estadística y en el diseño del experimento.

El M. en C. Jaime Grabisky y el Dr. Martin Ricker revisaron el capítulo del rizotrópico en varias ocasiones. Como miembro del jurado de examen de grado, el Doctor Martin Ricker leyó además toda la tesis. La Lic. Georgina Gutiérrez López realizó el trabajo de corrección de estilo. Considero que los tres aportaron comentarios muy valiosos.

Este estudio no hubiese sido posible sin el apoyo de los asistentes de investigación y los técnicos que participaron activamente en diferentes etapas de este estudio: Felipe Arreguín, Daniel Aldana, Mario Medina, Alfredo Murguía (UAM - A); Juan Sabino (Jardín Botánico - UNAM); Mario García, Angel Sánchez, Eligio Jiménez, Raúl Valencia y Monica Liset Maylen Mejía Perea (Colegio de Posgraduados); Susan Milauskas, Patty Sauntry, Thomas Hanzely y Joni Marzalik (Morton Arboretum).

Deseo señalar un agradecimiento especial para la Institución en la que trabajo, la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. Fue un gran privilegio haber gozado de una beca para realizar mis estudios de doctorado gracias a su política de formación de profesores. El apoyo del Rector, Lic. Edmundo Jacobo Molina, de los jefes de Departamento, los Doctores Silvie Turpin y Rubén Dorantes y el Maestro Saúl Alcantara; así como del director de la División, Doctor Mario Romero, fueron decisivos en las diferentes etapas de este proceso.

En fin, a mis compañeros de trabajo, amigos y colegas que siempre preguntaban: ¿cómo va el doctorado? Muy especialmente a los miembros de la mesa directiva de la Asociación Mexicana de Arboricultura, por la oportunidad de compartir con ellos el gusto por los árboles y por el entusiasmo de llevar a cabo diversas actividades para promover la arboricultura en México.

CONTENIDO

Resumen	i
Agradecimientos	ii
Introducción	1
Objetivos	5
Capítulo 1.- El sistema radical	6
1.1.- Crecimiento y desarrollo	6
1.2.- Tipos de sistemas radicales	7
1.2.1.- Sistema radical axonomorfo o pivotante con crecimiento primario	7
1.2.2.- Sistema radical fibroso	8
1.2.3.- Raíces de crecimiento plagiotrópico	8
1.2.4.- Raíces finas	8
1.2.5.- Raíces descendentes	9
1.2.6.- Pelos radicales	9
1.3.- Distribución del sistema radical	10
1.4.- Profundidad del sistema radical	10
1.5.- Funcionamiento del sistema radical	10
1.6.- Factores ambientales que influyen en el crecimiento de las raíces	11
1.7.- Desarrollo del sistema radical en condiciones ideales	12
1.8.- Desarrollo del sistema radical en condiciones de estrés	12
1.8.1.- Desarrollo del sistema radical en condiciones de estrés nutricional	12
1.8.2.- Desarrollo del sistema radical en condiciones de espacio limitado	15
- Referencias bibliográficas	18
Capítulo 2.- El suelo urbano	20
2.1.- Principales procesos que se presentan y sus implicaciones	21
2.2.- Criterios de clasificación del suelo urbano	23
2.3.- Importancia de desarrollar estudios del suelo urbano	25

2.4.- Compactación del suelo _____	26
2.4.1.- Causas _____	26
2.4.2.- Relación con la textura y estructura del suelo _____	26
2.4.3.- Efectos en la retención de humedad del suelo _____	27
2.4.4.- Efectos en las plantas _____	27
2.4.5.- Métodos de evaluación _____	28
2.4.6.- Corrección de la compactación _____	28
- Referencias bibliográficas _____	31
Capítulo 3.- Impedancia mecánica y sus efectos en el sistema radical _____	33
3.1.- Efecto de la impedancia mecánica en la ramificación y en la tasa de elongación de la raíz _____	33
3.2.- Efecto de la impedancia mecánica en el grosor de corteza con relación al cilindro central de la raíz y con relación al diámetro _____	34
3.3.- Efecto de la impedancia mecánica en la relación raíz – vástago _____	34
3.4.- Efecto de la impedancia mecánica en la fisiología de la raíz _____	35
- Referencias bibliográficas _____	36
Capítulo 4.- Site limitations to tree growth _____	37
Capítulo 5.- Los árboles nativos e introducidos utilizados en la reforestación de la Ciudad de México _____	52
Capítulo 6.- Root growth of <i>Quercus crassifolia</i>, <i>Quercus crassipes</i> and <i>Fraxinus uhdei</i> in two different urban soil types _____	67
Capítulo 7.- Evaluación del sistema radical a través de la inspección de las raíces observadas contra el vidrio del rizotrófon _____	78
Consideraciones finales _____	98
Conclusiones _____	103

INTRODUCCIÓN

Los árboles en el paisaje urbano son uno de los principales bienes que una ciudad puede tener. Sin embargo, hacerlos crecer exitosamente en el ambiente de las ciudades modernas es extremadamente problemático, ya que un gran número de árboles no sobrevive siquiera los primeros dos años y, si lo logran, su promedio de vida estimado es tan sólo de diez años. Entre las principales razones de tan baja tasa de supervivencia está el ambiente adverso que rodea a las raíces, común en la mayoría de los sitios urbanos.

Muchos fracasos de las plantaciones se deben a la ignorancia sobre el crecimiento radical de los árboles y a la influencia de los factores ambientales en ellos. Mientras que un árbol saludable tiene un vigoroso sistema de raíces, uno enfermo tiene un sistema radical limitado.

Un problema importante en las ciudades es la compactación del suelo. Si bien hay causas naturales que la propician, el fenómeno se ha incrementado notablemente por la acción del hombre y sus efectos tienen relación directa con la textura del suelo y con su estructura, así como con la retención de agua. Existen métodos indirectos y directos para evaluarla; una vez que se diagnostica, su corrección es muy costosa y se tiene que hacer en forma periódica, por lo que es mejor evitarla. En la actualidad se prueban diversos métodos con el fin de disminuir los efectos de este problema, que tiene gran impacto en zonas urbanas y recreativas.

Para hacer crecer árboles en la Ciudad de México hay que afrontar varios desafíos. Algunos son: factores ambientales, de carácter regional, como la elevada contaminación del aire; que la ciudad se encuentra rodeada de montañas y presenta una altitud de 2240 m sobre el nivel de mar y que la precipitación ocurre principalmente entre mayo y octubre; sin embargo, éstos no son la principal razón que explica la pobre diversidad de especies arbóreas en las calles ni de los problemas que presentan los árboles.

La calidad variable de los sitios urbanos de plantación, la carencia de cuidados apropiados a los árboles, la dificultad de producir algunas especies en los viveros y la carencia de conocimiento sobre la existencia de nuevas especies o de especies diferentes a las que usualmente se manejan, son factores que también limitan el uso de árboles deseables en paisajes urbanos (Gilman et al. 1996; Gilman 1997; González 1993; Romero 1993; Ware 1993).

El presente trabajo es un proyecto de investigación sobre arboricultura pues se relaciona con el crecimiento de las raíces de los árboles en el ambiente urbano.

Para desarrollarlo se eligieron los rizotrones porque permiten la observación repetida de la raíz en forma no destructiva. Este método se ha usado extensivamente en la agricultura pero hasta ahora de manera escasa en arboricultura.

Las situaciones que propiciaron que este estudio se centrara en el desarrollo del sistema radical fueron principalmente los problemas severos de los sitios de plantación y la pobre diversidad de especies, encontrados durante el inventario aplicado a los árboles de las calles del D.F. en 1993-1994 (Chacalo *et al.* 1994, 1997); el conocimiento biológico del gran potencial de especies nativas con potencial ornamental (Chacalo y Fernández, 1995); la carencia de información sobre las características de las raíces de los árboles detectada cuando se preparó el libro *Los Árboles de la Ciudad de México* (Martínez y Chacalo 1994); la escasez de conocimientos sobre las condiciones del suelo urbano de la Ciudad de México, así como la falta de adecuación entre las especies que se plantan y las condiciones del suelo en el sitio de plantación, observadas durante la asesoría brindada a CORENA durante el programa anual de forestación de 1993.

Quisiera mencionar, para aquellas personas que no están familiarizadas con el programa de posgrado de la UNAM, que existen dos modalidades para presentar la tesis. En la primera, ésta se presenta en el formato tradicional, es decir, con introducción, antecedentes, metodología, resultados y discusión, y conclusiones. En la segunda modalidad, cada capítulo se puede desarrollar a manera de artículo. El lector de este trabajo podrá observar que se eligió la segunda opción.

El presente documento está estructurado de la siguiente manera: los tres primeros capítulos son una recapitulación bibliográfica de los principales temas tratados en este proyecto de investigación, por lo tanto, son el marco teórico que sustentó el proyecto experimental. En el primer capítulo se presenta una recopilación de datos sobre el sistema radical, su crecimiento y desarrollo, los tipos de sistemas radicales, así como su funcionamiento en condiciones ideales y bajo condiciones de estrés. En el segundo capítulo se trata el suelo urbano, los procesos, criterios de clasificación, la importancia de estudiarlos y la forma en que se presenta constantemente su compactación en el ambiente ciudadano. En el tercero, se habla de la impedancia mecánica y de sus efectos en el sistema de raíces.

A continuación los capítulos cuatro y cinco presentan dos artículos que resultaron del trabajo previo al inicio de este programa de doctorado y que fueron la base conceptual del presente proyecto.

El artículo: “Los árboles nativos e introducidos utilizados en la forestación de la Ciudad de México” (capítulo 4) motivó que en el proyecto de doctorado se tratara de probar experimentalmente si las especies nativas, como los encinos, podrían ser utilizadas para la reforestación urbana. En él se presentan los fundamentos relacionados con la alta diversidad de especies nativas que existe en México. Se discutieron los argumentos a favor y en contra de utilizar especies nativas o introducidas. El punto de partida era fundamentar toda la importancia del uso de especies nativas y a la vez entender por que se han usado hasta ahora las especies introducidas. Después de redactar este artículo, la pregunta era obligada: si hay más de 75 especies diferentes de árboles originarias de la región que rodea a la Ciudad de México, incluyendo 27 especies de encino (*Quercus*), ¿por qué no han sido utilizadas para el ambiente urbano? Si los encinos son árboles utilizados comúnmente en zonas templadas como en diversos países de Europa, Estados Unidos y Canadá, por que en la Ciudad de México no figuran en la población arborea?

El siguiente capítulo: *Trees Growing in Difficult Sites* (capítulo 5) resultó de la investigación sobre el inventario forestal urbano. Basándose en el registro del estado de salud de los árboles y de las condiciones del sitio, realizados en 1993 y 1994, en este artículo se presentan los principales problemas de los árboles de alineación que se encuentran creciendo en sitios difíciles. La relación entre la salud del árbol y las características del sitio, el nivel económico del área inventariada y la densidad de árboles por manzana fueron analizadas aquí. El primer problema para el desarrollo adecuado de los árboles en las calles fue la falta de consideración de algunos requerimientos del árbol desde el momento de la plantación, más bien, desde que inicia la planificación de las actividades de plantación de árboles urbanos. Se plantan árboles sin considerar que son seres vivos que crecen y que por lo tanto van a cambiar de tamaño en la madurez. Esto significa que un sitio pequeño es insuficiente para un árbol adulto. De aquí derivan muchos problemas en el futuro, como por ejemplo, la poda excesiva de la copa debida a las interferencias con los cables de luz y teléfono, así como el levantamiento de las banquetas debido a que el tamaño de la cepa es pequeño y la enorme cantidad de heridas, presentes en grado severo, que dañan seriamente el estado de salud de los árboles. Este artículo mostró que

las limitaciones del sitio, específicamente en el ambiente del suelo, están presentes y afectan en mayor grado el estado de salud y la calidad del arbolado urbano que otros factores, como por ejemplo, la contaminación atmosférica (Chacalo *et al.* 1997). La gran densidad de población humana y su crecimiento desmedido han afectado la calidad de los sitios de plantación y ocasionan una presión extrema de la gente sobre los árboles.

Los capítulos 6 y 7 presentan los resultados de la investigación desarrollada del proyecto doctoral. "Root growth of *Quercus crassifolia*, *Quercus crassipes* and *Fraxinus uhdei* in two different urban soil types" y "Evaluación del sistema radical a través de la inspección de las raíces observadas contra el vidrio del rizotrón". Una sinopsis del capítulo 6 se presenta en el resumen de la tesis. El último capítulo (número 7) es una comparación de los resultados de la longitud radical registrados en el vidrio del rizotrón con los datos de la longitud real obtenidos en la cosecha del experimento.

OBJETIVOS

El objetivo general del trabajo de investigación fue contribuir a un mejor conocimiento de los árboles en las condiciones locales de la Ciudad de México.

Los objetivos particulares fueron:

- 1) Evaluar el uso de rizotrones como un sistema para simular las condiciones del suelo urbano y cuantificar la longitud del sistema radical.
- 2) Comparar la penetración y el peso seco total de las raíces de dos especies de encino (*Quercus*) poco usadas en la Ciudad de México en relación con el árbol más común en las calles: el fresno (*F. uhdei*).
- 3) Determinar si los tipos de suelos que se tienen actualmente en la Ciudad de México limitan el crecimiento de las raíces de los árboles.

Capítulo 1.- El sistema radical

El agua y los elementos minerales son esenciales para todos los seres vivos: mientras los animales ingieren el hierro, calcio, potasio y nitrógeno de su dieta, las plantas los absorben de la solución de nutrimentos del suelo a través del sistema radical. Por lo tanto, el sistema radical es el agente de un proceso clave en la economía química de la naturaleza: el proceso que abre la reserva de agua y de elementos inorgánicos del suelo, sin los cuales no podría haber vida tal como la conocemos.

Epstein, E. 1973

Las raíces están involucradas en muchas actividades fisiológicas y metabólicas comunes a todos los tejidos vegetales: crecen y se desarrollan, respiran, sintetizan y degradan varios compuestos. Sin embargo, son las únicas que realizan la absorción de agua y la extracción de minerales disponibles en forma de iones inorgánicos, a baja concentración, de la solución del suelo.

El sistema radical es el órgano subterráneo característico de la mayoría de las plantas vasculares. A diferencia de los tallos, las raíces son geotrópicas positivas; no producen hojas, por lo que carecen de nudos y entrenudos; la ramificación se realiza a partir de tejidos internos y no de yemas axilares; el meristema subapical está cubierto por un tejido protector (cofia) en lugar de hojas jóvenes o modificadas, y por lo general, son bastante más retorcidas que los tallos, como efecto de librar los obstáculos del suelo.

La morfología del sistema radical de una planta depende de muchos factores: de la especie que se trate, de la edad de la planta, del estado de desarrollo y de la condición fisiológica del vástago; del manejo que se le haya dado a la planta, especialmente al sistema radical (aspecto de gran importancia en zonas urbanas), de las características físicas del suelo como textura, estructura y densidad aparente, así como de parámetros físico-químicos y biológicos del mismo, tales como pH, contenido de materia orgánica y la flora microbiana (Epstein 1973; Cronquist 1977; Harris 1992; Fosket 1994; Josue Kohashi comunicación personal 1999).

1.1.- Crecimiento y desarrollo. De la radícula embrional, se origina la primera raíz o raíz primaria llamada también pivotante, típica o axonomorfa. Esta raíz, junto con las raíces laterales que se originan, constituyen el **sistema radical** de gimnospermas y dicotiledóneas (Esau 1977). El sistema puede ser axonomorfo, cuando presenta una raíz principal central más grande que cualquiera de sus ramificaciones, o puede ser fibroso, cuando la raíz principal acorta su crecimiento y se forman muchas raíces laterales que son del mismo tamaño aproximadamente.

Las raíces que se originan a partir de tallos subterráneos, de la base del tallo aéreo o de cualquier otra parte de la planta, se denominan **raíces adventicias** y al sistema radical así constituido se le denomina **adventicio**. La mayoría de las monocotiledóneas tiene un sistema radical adventicio fibroso, ya que la raíz primaria es de corta duración. La raíz de las dicotiledóneas anuales pequeñas, y de la mayoría de las monocotiledóneas, presenta tan sólo **crecimiento primario**, se derivan del meristema subapical por división celular y la subsecuente diferenciación (crecimiento en longitud). En contraste, la raíz de la mayoría de las dicotiledóneas presenta **crecimiento secundario** el cual resulta de la actividad del cámbium vascular (crecimiento en grosor). El crecimiento primario precede al secundario; es decir que, en una misma planta, las raíces que presentan crecimiento secundario son más viejas. Se caracteriza por la ramificación a laterales de segundo, tercer y cuarto orden, así como por el crecimiento en diámetro mediante el desarrollo de un cámbium vascular, la formación de xilema secundario y la suberización de las células epidérmicas (Cronquist 1977; Esau 1977; Fosket 1994).

La raíz pivotante y sus ramificaciones mayores pueden experimentar crecimiento secundario. Las raíces adventicias de las monocotiledóneas pueden o no pueden tener crecimiento secundario. Las raíces absorbentes finas permanecen en estado primario de crecimiento y a menudo senescen y mueren. Las plantas herbáceas no presentan crecimiento secundario.

1.2.- Tipos de sistemas radicales. Si pudiéramos observar el sistema radical completo de una planta veríamos una población de raíces de diferentes edades, grosores, categorías, morfologías y funciones. Existe por lo tanto, una relación entre el tipo (clase) de raíz, la longitud y profundidad que alcance, el ambiente en que se desarrolle (natural o urbano), su tipo de crecimiento (primario o secundario) y su función. Como consecuencia de la interacción de las condiciones del medio en el suelo/medio con la raíz en crecimiento, un sistema radical presenta diferencias morfológicas, como se verá enseguida.

1.2.1.-Sistema radical axonomorfo o pivotante con crecimiento primario. El sistema radical axonomorfo que se caracteriza por una raíz típica o pivotante se da por lo general en árboles que tienen semilla grande, como los encinos y los nogales, así como en otras especies como los pinos y el árbol del chicozapote (*Achras sapota*). En ambientes naturales (espacios abiertos que no presentan construcciones), el crecimiento de un sistema radical axonomorfo puede alcanzar varios metros de profundidad hasta llegar al manto freático, a una capa impermeable de suelo o a un nivel bajo en oxígeno; en ese momento se ramifica o

se desvía horizontalmente por lo que, conforme el árbol crece y madura, tiende a ramificarse, perdiendo así su característica de axonomorfía. Se encuentra con más frecuencia en el sitio donde la semilla germinó. A veces las plantas de vivero también la presentan, pero es poco común en los sitios urbanos de plantación. Los árboles plantados en ambientes urbanos y semiurbanos no lo tienen debido a que desde que están en el vivero las plantas se cambian en varias ocasiones de contenedores a otros de mayor tamaño; esto hace que el sistema radical se “autopode” o se pode *ex profeso*, dando lugar a un sistema fibroso en el cual no hay una raíz principal dominante (Esau 1977; Cronquist 1977; Shigo 1986; Gilman 1997). Cuando el suelo está compactado o tiene mal drenaje, el árbol no conserva el sistema radical primario axonomorfo.

1.2.2.- Sistema radical fibroso. Se origina de la raíz primaria o de raíces adventicias que se emiten en la base del tronco. Las raíces laterales crecen horizontalmente; las cinco raíces laterales más grandes de un árbol comprenden tres cuartas partes del total de su sistema radical. En el punto de unión con el tronco, cerca del nivel del piso, se presenta un pequeño abultamiento denominado **cuello del árbol**. En un corte transversal, las raíces laterales son ovaladas ya que se alargan más vertical que horizontalmente. Estas raíces se extienden hasta alcanzar una distancia mucho mayor que la línea de goteo y a menudo cambian de dirección en respuesta a obstáculos o a raíces de árboles adyacentes. En suelos pesados, bien aireados, las raíces laterales pueden crecer a mayor profundidad que en suelos ligeros o arenosos. Su principal función es mantener al árbol erecto (Gilman 1997; Cronquist 1977).

1.2.3.- Raíces de crecimiento plagiotrópico. Muchas especies producen raíces con crecimiento plagiotrópico, es decir, que crecen hacia abajo con un ángulo de inclinación menor a 90° respecto a la horizontal. Se originan de la raíz primaria o de raíces laterales, cerca del tronco, durante los primeros cuatro años después de la germinación. Pueden alcanzar muchos metros de profundidad y ramificarse varias veces. Por lo general, portan solamente unas cuantas raíces finas. Las raíces laterales de crecimiento horizontal no emergen de estas raíces. Las funciones de las raíces de crecimiento plagiotrópico son la estabilización del árbol en el suelo y la absorción de agua (Salisbury y Ross 1994; Gilman 1997).

1.2.4.- Raíces finas. Se originan a lo largo de las raíces laterales. Se extienden hacia afuera del tronco del árbol; se encuentran principalmente en los primeros 20 cm del suelo. Se

ramifican varias veces formando abanicos o redes que terminan en cientos o miles de ápices pequeños. Por lo menos la mitad de las raíces finas se encuentran bajo la copa del árbol; no se concentran en la línea de goteo sino que se distribuyen a través de toda el área cubierta por el sistema radical. A menudo mueren cuando hay sequía, pero nuevas raíces emergen a los pocos días o en la siguiente estación de lluvias. La parte funcional de un sistema radical es muy dinámica y tiene una alta capacidad de reemplazo: en un pino de 14 años de edad y 2.78 m de altura, el uso anual del carbono se destinó principalmente al crecimiento de raíces finas, como se muestra en la siguiente tabla (Agren *et al.* 1980 en: Klepper 1991).

Respiración de partes no fotosintéticas	10%
Crecimiento del tallo	9%
Crecimiento de las ramas	8%
Crecimiento de agujas	17%
Crecimiento de raíces finas	57%

En árboles jóvenes, la densidad de raíces finas disminuye a medida que nos alejamos del tronco. En árboles grandes la densidad de raíces finas es mayor que en plántula y, conforme el árbol va creciendo, la densidad tiende a ser mayor cerca de la superficie. En el ambiente urbano, las raíces finas crecen por debajo del mulch. La mayor parte de la absorción del agua y minerales ocurre a través de las raíces finas y de las micorrizas. Ambas representan una gran proporción del área superficial total de la raíz (Perry 1982; Shigo 1986; Harris 1992; Gilman 1997).

1.2.5.- Raíces descendentes. Se originan del lado inferior de las raíces laterales. Pueden penetrar hasta 2 metros o más cuando las condiciones del suelo lo permiten. La mayoría se encuentra dentro de la línea de goteo, son de diámetro pequeño y en general no se ramifican. En suelos compactados crecen horizontalmente, paralelas a la superficie del suelo. Sus funciones son el anclaje de la planta al suelo y la absorción de agua (Harris 1992; Gilman 1997; Lilly 1999).

1.2.6.- Pelos radicales. Son las raíces de menor diámetro que se desarrollan en la zona pilífera (región de maduración de la raíz) como prolongaciones o salientes de la epidermis de las células. Pueden alcanzar varios milímetros de longitud y se pueden encontrar cientos de pelos radicales por cada centímetro cuadrado de raíz. Su tiempo de vida es muy corto, va de unos cuantos días a una cuantas semanas. Por lo general se degeneran antes o al inicio de la formación del tejido secundario de la raíz; cuando están presentes en la región de tejidos

primarios maduros a menudo no son funcionales. Los pelos radicales aumentan la superficie de absorción de la raíz. Las raíces micorrízicas tienen pocos pelos radicales o no los tienen. La formación de pelos radicales está influenciada por factores ambientales (Cronquist 1977; Russell 1977; Gilman 1997).

1.3.- Distribución del sistema radical. Varios estudios efectuados, tanto en áreas naturales, huertos y viveros, como en ambientes urbanos, indican que el sistema radical se extiende más allá de la línea de goteo del árbol. La proporción varía según la especie pero a pesar de la variabilidad, el promedio es alrededor de tres veces el radio de la copa. Esto quiere decir que menos de la mitad de la longitud del sistema radical se encuentra por debajo de las ramas (Perry 1982; Shigo 1986; Harris 1992; Gilman 1997; Watson y Himelick 1997; Lilly 1999).

1.4.- Profundidad del sistema radical. En condiciones naturales la profundidad máxima de enraizamiento se establece en etapa de plántula; en árboles trasplantados, tal vez después de los primeros años. En el ambiente urbano las raíces de la mayoría de las plantas, incluyendo árboles grandes, se localizan en el primer metro de suelo, aunque hay ejemplos de penetración más profunda, sobre todo en regiones donde el suelo es poco compacto; las fisuras en el mismo permiten que algunas raíces puedan crecer hacia abajo, a través o cerca de ellas (Lyr y Hoffman 1967; Cronquist 1977; Shigo 1986; Harris 1992; Watson 1994; Gilman 1997).

1.5.- Funcionamiento del sistema radical. Este realiza varias funciones: 1. absorción de nutrimentos y agua de la solución del suelo, principalmente por los pelos radicales, y a través de las células cercanas a la superficie: epidermis y corteza - incluyendo la endodermis -, vía apoplástica o simplástica, antes de llegar al cilindro central. 2. Conducción vertical de agua y minerales a todas las partes de la planta -vía xilema- por la corriente transpiratoria, como efecto de la tensión negativa que ejerce la evapotranspiración. 3. Transporte de carbohidratos provenientes de las partes fotosintéticas, por el floema, a otras partes de la planta y del sistema radical. 4. Síntesis de compuestos nitrogenados esenciales, además de otros procesos de síntesis de hormonas. 5. Almacenamiento de carbohidratos. 6. Soporte mecánico a la planta mediante una compleja estructura física. 7 y 8. El sistema radical está involucrado además en algunas funciones secundarias como la propagación y la dispersión de las plantas (Cronquist 1977; Perry 1982; Fitter 1992; Fosket 1994; Marschner 1995).

1.6.- Factores ambientales que influyen en el crecimiento de las raíces. El crecimiento y la distribución de las raíces están sujetos a muchas influencias internas y externas, de las cuales probablemente las más importantes son las propiedades físicas y químicas del suelo. Diversos autores señalan que las características que se exponen a continuación determinan la profundidad y la extensión de las raíces. La **textura del suelo** o el tamaño de sus partículas, juega un papel fundamental en la constitución de las propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas. Su **estructura**, es decir, el arreglo o disposición de las partículas de suelo, tiene influencia sobre otras condiciones físicas del mismo y en la actividad microbiológica, la disponibilidad de nutrimentos y la descomposición de su materia orgánica. El arreglo estructural y textural tiene relación directa con la forma y el tamaño de los poros; a su vez, éstos afectan el movimiento de las soluciones del suelo y su disponibilidad.

La **humedad** y la **aireación** se relacionan inversamente y tienen un impacto importante en el crecimiento radical. El agua en el suelo contiene toda una gama de solutos y es un componente dinámico cuyo contenido puede cambiar abruptamente. El contenido de aire en el suelo por su parte está sujeto a cambios constantes que dependen de las modificaciones en la porosidad total y en el contenido de humedad; la cantidad de aire afecta la tasa de intercambio de gases (CO_2 y O_2) y, junto con la tasa de respiración de raíces, microflora y microfauna, determina la composición del aire en el suelo. Comparado con el aire atmosférico, en el suelo hay menos oxígeno y más bióxido de carbono; el contenido de este último varía en forma opuesta al contenido de oxígeno, cuya concentración disminuye en relación directa a la profundidad. Ésta es una de las causas importantes por la cual en el ambiente urbano las raíces se encuentran principalmente en los primeros centímetros de suelo.

Las raíces de los árboles pueden crecer en un intervalo de **temperatura** que va desde el punto de congelación del suelo hasta los 35°C . La fluctuación de la temperatura del suelo se debe a ciclos diurnos, que se establecen por las diferencias entre el día y la noche, y a ciclos anuales determinados por los cambios estacionales. La **fertilidad** afecta el crecimiento de raíces. Se ha observado que la mayoría de las raíces finas se concentran en forma predominante en el mantillo fértil y ocasionalmente en bandas de suelo rico a mayores profundidades (Watson 1981). La **información genética** de cada planta es un factor importante que es independiente de las características del suelo y del ambiente.

Las propiedades descritas previamente se pueden modificar por la influencia de los fenómenos meteorológicos, la erosión y la manipulación del hombre; si a esto se le agrega la variación debida a los cambios en las características del perfil del suelo, se puede tener una idea de cuán

complejos pueden ser los factores ambientales del suelo que influyen en el crecimiento de las raíces (Russell 1977; Watson 1981; Glinski y Lipiec 1990; Craul 1992).

1.7.- Desarrollo del sistema radical en condiciones ideales. Las raíces requieren de espacio para desarrollarse, por tanto, es importante dejar un lugar suficientemente grande para que los árboles puedan crecer sin ocasionar daños, en particular en el ambiente urbano (Wagar y Barker 1983). Diversos estudios (Watson y Himelick 1997; Lilly 1999) demuestran cómo en función del tamaño de la cepa que se deje al árbol y de la distancia de plantación entre ellos, será el tamaño del árbol en la madurez y han mostrado también que es más importante que las raíces del árbol tengan espacio superficial para poder extenderse hacia los lados, en los primeros centímetros del suelo, que espacio en profundidad. Durante la plantación de un árbol no se recomienda que la cepa tenga mayor profundidad que la del cepellón (Watson y Himelick 1997) Figs. 1.1 y 1.2.

1.8.- Desarrollo del sistema radical en condiciones de estrés. El efecto combinado de la profundidad a la cual penetran las raíces, la extensión a la que se puedan ramificar en zonas donde el agua esté disponible de manera constante, la aptitud para regenerarse rápidamente una vez que vuelve a haber agua en el suelo, así como la plasticidad de las raíces, son las características morfológicas y genotípicas más importantes que permiten a las plantas soportar el estrés hídrico y las condiciones cambiantes de humedad y de aireación en el suelo (Russell 1977; Craul 1992).

1.8.1.- Desarrollo del sistema radical en condiciones de estrés nutrimental. Una reducida absorción mineral puede ocasionar un follaje clorótico y que la eficiencia global de producción de carbohidratos disminuya. Algunos procesos específicos pueden resultar afectados cuando la absorción de algún elemento mineral es limitada. Por ejemplo, si el metabolismo del nitrógeno deficiente, se altera la formación de aminoácidos en la raíz y el transporte hacia las hojas. Una vez en la hoja, los aminoácidos se convierten en compuestos necesarios para la formación de proteínas, por lo que si su formación se reduce, el desarrollo de tejidos y su crecimiento también disminuye, lo cual se traduce en menor crecimiento terminal y radial de la parte aérea y de las raíces. Los reguladores de crecimiento que se sintetizan en las raíces y se transportan al vástago también resultan afectados y reducen el crecimiento terminal, principalmente la elongación de los entrenudos.

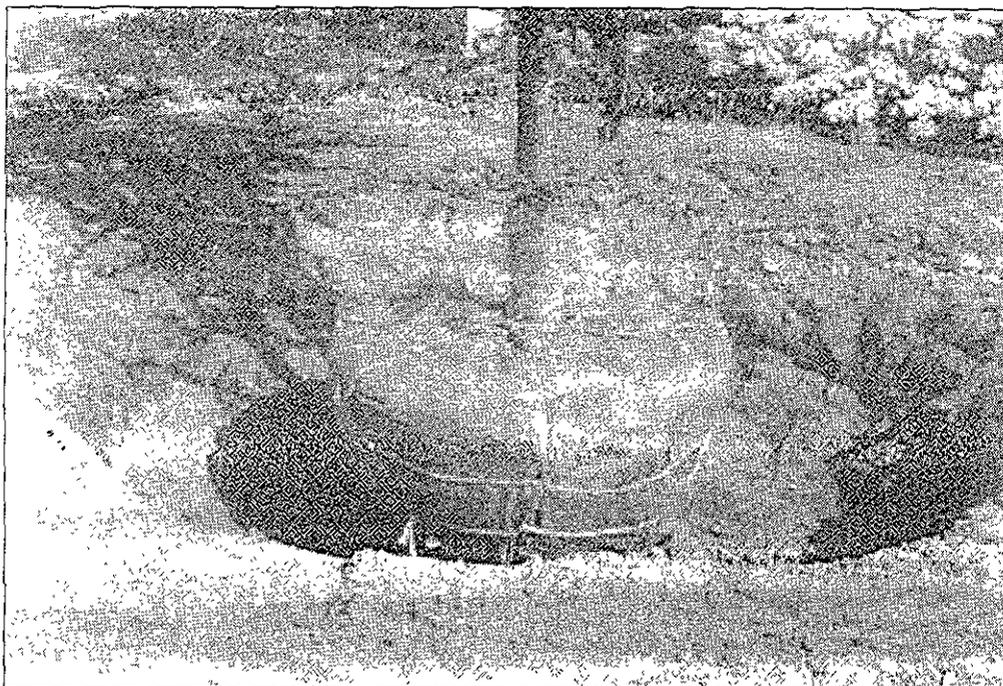


Fig. 1.1.- Para plantar un árbol se requiere suelo bien aireado. El hoyo de plantación debe tener de dos a tres veces el tamaño del cepellón pero no debe ser más profundo. Si el sitio tiene mal drenaje, el árbol debe plantarse ligeramente arriba del nivel original del suelo. Por lo general, no se requiere de fertilizantes durante la plantación. El riego durante la plantación y cuando menos una estación completa de crecimiento es muy importante después de la plantación.

Además, el estrés nutrimental puede afectar la relación con el hongo de la micorriza, el cual puede no establecerse o bien que la micorriza muera debido a que los carbohidratos en el ápice de la raíz sean insuficientes; la consecuencia será una reducida absorción de agua y minerales, y menor resistencia ante organismos patogénicos.

El tratamiento que se le ha dado al estrés nutrimental merece atención especial, pues se ha estudiado ampliamente este aspecto ignorando otros que pueden ser más importantes para la planta, por ejemplo, el hecho de que algunas condiciones desfavorables en el suelo, como la compactación, pueden modificar la síntesis de



Fig. 1.2.- Cuando los árboles comparten un espacio radical común en una jardinera, el desarrollo del árbol del medio es mejor que el de los árboles de los lados; mientras que las raíces del árbol del medio tienen espacio para poder extenderse a ambos lados de la jardinera sin obstáculos, las raíces de los árboles de los extremos no pueden hacerlo debido al límite físico que impone la orilla de la jardinera.

substancias del crecimiento más que los cambios en la cantidad de nutrimentos que las raíces puedan absorber (Russell 1977); sin embargo, se le da mayor importancia al uso de fertilizantes químicos que a la descompactación del suelo.

El uso de mulch (materiales diversos utilizados superficialmente para mejorar las condiciones alrededor de las raíces) tiene muchas ventajas para las plantaciones urbanas y podría substituir la utilización de fertilizantes químicos.

Al tratar de encontrar la cantidad óptima de fertilizantes que se recomendaba utilizar para la cepa de plantación, los datos variaban entre 5 y 50% de fertilizante por volumen de suelo (Whitcomb 1984); esto permite constatar que muchas prácticas tradicionales de fertilización se aplican sin fundamento científico. Para determinar la cantidad apropiada de fertilizante es

importante realizar tanto un análisis del suelo como un análisis foliar; si el fertilizante no se aplica en forma adecuada, es posible que no se obtenga ningún beneficio y más bien se afecte al árbol de manera adversa. Los árboles no requieren siempre de un fertilizante completo, es decir, uno que contenga nitrógeno, fósforo y potasio. Por lo general se recomienda un fertilizante con alto contenido de nitrógeno. Los fertilizantes están disponibles en forma tanto *orgánica* como *inorgánica*. Los fertilizantes orgánicos tienen la ventaja de que su lixiviación en el suelo no es tan rápida, ya que deben convertirse en iones inorgánicos antes de ser absorbidos. La ventaja de los fertilizantes inorgánicos es que la temperatura afecta en menor grado su solubilidad, de tal manera que la velocidad de disponibilidad resulta más uniforme. La dosis de fertilizante que se debe aplicar depende del vigor del árbol y la forma de presentación del fertilizante, así como del método de aplicación y de las condiciones del sitio. La recomendación general señala conveniente aplicar de 1 a 2 kg. de nitrógeno por cada 100 m² de área de distribución de la raíz, o de 45 a 90 g por cada centímetro de diámetro del tronco a la altura del pecho. La frecuencia de aplicación estará en función de las condiciones del árbol y de las del suelo. En suelos arenosos se necesita aplicar el fertilizante con mayor frecuencia y en cantidades menores que en suelos arcillosos, por la mayor lixiviación. Las aplicaciones resultarán más efectivas si se efectúan durante los periodos de crecimiento activo de la raíz, en primavera o en otoño, dado que la absorción del fertilizante es mayor (Lilly 1999).

1.8.2.- Desarrollo del sistema radical en condiciones de espacio limitado. Cuando las raíces de varios árboles se encuentran confinadas en un espacio limitado, las plantas no presentan la misma forma y extensión que las que presentan en un ambiente natural.

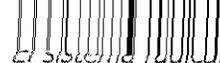
El suelo urbano presenta numerosas barreras que compartimentan el volumen de enraizamiento de las plantas; esto significa una restricción física, por lo que las plantas tienen tallas limitadas (Craul 1992). Cuando los árboles se plantan a una distancia demasiado corta entre ellos y, a la vez, la distancia del árbol a la acera no es la apropiada para un crecimiento favorable de las raíces, esto ocasiona que después de algunos años se presenten diversos grados de levantamientos y cuarteaduras en las banquetas, guarniciones o construcciones cercanas (Benavides y Segura 1996). Existe gran preocupación por este problema debido a que los peatones pueden sufrir accidentes y daños a causa de las banquetas levantadas; hasta el más pequeño levantamiento o diferencia de nivel en la banqueta puede ocasionar tropiezos y caídas a las personas (fig. 1.3).



Fig. 1.3.- Levantamiento de la banqueta alrededor de un colorín (*Erythrina coralloides*). Cabe destacar que el tamaño de la cepa es muy pequeño en comparación al tamaño que requería el árbol en la madurez.

En 22 ciudades del norte de California, los daños ocasionados por las raíces de los árboles en las banquetas costaron en 1975 \$27,000 dólares en composturas a cada una. La cifra anual reportada recientemente, asciende a 62 millones de dólares por ciudad (Pepper 1999); esta situación se presenta con frecuencia en la Ciudad de México. Chacalo *et al.* (1994 y 1997) encontraron que los problemas ocasionados a los árboles debido a que fueron plantados en sitios no apropiados para permitir su desarrollo son causantes, en gran parte, de su deficiente estado de salud. Durante la realización del inventario de los árboles en las Delegaciones Iztacalco e Iztapalapa, alrededor de 25% de los árboles ocasionaron diversos grados de daño a las banquetas, guarniciones o construcciones cercanas (Benavides y Segura, 1996).

La descripción de las raíces en sus aspectos anatómicos o morfológicos, es muy similar en el ambiente urbano y en el natural; sin embargo, al hablar de crecimiento en condiciones ideales o bien del desarrollo en condiciones de diversos tipos de estrés, el estudio de las raíces cobra otra dimensión. Por lo tanto, es importante realizar estudios de raíces con el enfoque de la arboricultura para que la información obtenida permita un óptimo desarrollo del arbolado en el ambiente urbano.



Referencias bibliográficas

- Benavides, M. H. y C. Segura B. 1996. Situación del Arbolado de Alineación de la Ciudad de México: Delegaciones Iztacalco e Iztapalapa, Distrito Federal. *Revista Ciencia Forestal en México* 21 (79): 121-164.
- Chacalo, A., A. Aldama y J. Grabinski. 1994. Street Tree Inventory in Mexico City. *Journal of Arboriculture* 20 (4): 222-226.
- Chacalo, A., J. Grabinski y A. Aldama. 1997. Site Limitations for Tree Growth in Mexico City. *Proceedings METRIA (Metropolitan Tree Improvement Alliance)*. Ohio State University 1996. www.hcs.ohio-state.edu/METRIA/Metria9.html.
- Craul, P. 1992. *Urban Soil in Landscape Design*. John Wiley and Sons. Nueva York. 396p.
- Cronquist, A. 1977. *Introducción a la Botánica*. CECSA. México. 848p.
- Epstein, E. 1973. Roots. *Scientific American* 228(5): 48-58.
- Esau, K. 1977. *Anatomy of Seed Plants*. John Wiley and Sons. 2^{nda}. Edición. E.U. 550p.
- Fitter, A. H. 1992. Characteristics and Functions of Root Systems. In: Waisel, Y., A. Eshel y U. Kafkafi (Eds.). 1991. *Plant Roots the Hidden Half*. 2^{nda} Edición. Marcel Dekker, Nueva York. pp.3-25.
- Fosket, D. 1994. *Plant Growth and Development*. Academic Press. E.U.580p.
- Gilman, E. 1997. *Trees for Urban and Suburban Landscapes*. Delmar Publishers. E.U. 662p.
- Glinski, J. y J. Lipiec. 1990. *Soil Physical Conditions and Plant Roots*. CRC Press, Inc. Boca Ratón, FL. 250 p.
- Harris, R. W. 1992. *Arboriculture. Integrated Management of Landscape Trees, Shrubs and Vines*. Prentice Hall. 2^{nda} Edición Nueva Jersey, E.U. 674p.
- ISA. 1999. *Guía de consulta rápida de términos de arboricultura inglés-español, español-inglés. Quick reference guide of arboricultural terms English-Spanish, Spanish-English*. Sociedad Internacional de Arboricultura. Champaign, Illinois. 89p.
- Klepper, B. 1991. Root Shoot Relationships. In: Waisel, Y., A. Eshel y U. Kafkafi (Eds.). *Plant Roots the Hidden Half*. 2^{nda} Edición. Marcel Dekker, Inc. Nueva York. pp. 265-286.
- Lilly, Sh. 1999. *Manual de Arboricultura. Guía de estudio para la Certificación del Arborista*. International Society of Arboriculture – Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco. Amalgama Arte Editorial. México. s/p.
- Lyr, H. y G. Hoffman. 1967. Growth rates and growth periodicity of tree roots. pp. 181-237, In: Ronberger, J.A. y P. Mikola (Eds.) *International Review of Forestry Research*, Vol.2. Academic Press, Nueva York.

- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press. London.
- Pepper, P. y S. Mori. 1999. Root Barrier and Extension Causing Effects on Chinese Hackberry. *Journal of Arboriculture* 25 (1): 1-8.
- Perry, Th. 1982 The Ecology of Tree Roots and the Practical Significance Thereof. *Journal of Arboriculture* 8 (8): 197-211.
- Russell, R.S. 1977. *Plant Root Systems. Their Function and Interaction with the Soil*. McGraw Hill. Gran Bretaña. 298p.
- Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1994. *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 759p.
- Shigo, A. 1986. *A New Tree Biology Dictionary*. Sherwing/Dodge Printers. E.U. 132p.
- Wagar, A. y Ph. Barker. 1983. Tree Root Damage to Sidewalks and Curbs. *Journal of Arboriculture* 9 (7): 177-181.
- Watson, G. 1981. *Root Regeneration of Transplanted Trees in Relation to the Status of Carbohydrate Levels and Root Invading Fungi*. PhD Thesis. University of Illinois. E.U. 65p.
- Watson, G. 1994. Common Soil Problems in Urban Areas. in: *Tree Care Handbook*. The Morton Arboretum. E.U. s/p.
- Watson, G. y E. Himelick. 1997. *Principles and Practice of Planting Trees and Shrubs*. International Society of Arboriculture. ISA books. Illinois. 200p.
- Whitcomb, C. 1984. Reducing Stress and Accelerating Growth of Landscape Plants. *Journal of Arboriculture* 10 (1): 5-7.

Capítulo 2.- El suelo urbano

El suelo urbano es el mayor desafío que tiene que enfrentar el arquitecto paisajista, el arboricultor, el dasónomo, el horticultor y el constructor. Mientras que para el constructor el suelo urbano debe cumplir con la compactación necesaria para soportar las construcciones, para el arboricultor o el arquitecto paisajista, la compactación del suelo se manipula para poder crear condiciones apropiadas para la vegetación. Sólo el trabajo interdisciplinario puede favorecer el desarrollo de soluciones realistas y creativas.

*Phillip Craul
Urban Soil in Landscape Design*

La capa de suelo no agrícola producto del proceso de urbanización que resulta de la mezcla, el relleno o la contaminación del terreno superficial en áreas urbanas o suburbanas se denomina suelo urbano (Craul, 1992). Las principales características que ayudan a comprender su definición son: **gran variabilidad espacial horizontal y vertical** como resultado del manejo del suelo y de las actividades de construcción; **estructura modificada**, lo cual produce la compactación, disminuye su capacidad de retención de agua, de penetración de raíces, de aireación y restringe el drenaje (Patterson 1976); **presencia de una costra superficial** en el suelo desnudo que por lo general es hidrofóbica, debido principalmente a la compactación del suelo por el tráfico de peatones y vehículos. Una capa de partículas orientadas horizontalmente -tan delgada como 1µm- es suficiente para impedir la penetración de agua en el suelo (Hillel 1980); esta costra es el motivo por el cual hay ausencia de cultivos de cobertura en el suelo. Otras características del suelo urbano son que presenta una alteración de **pH**, con frecuencia elevada, debida a la presencia de materiales alcalinos de construcción (cascajo), así como de sales, agua de riego con alto contenido de calcio y de contaminantes atmosféricos.

Por otro lado, el **ciclo de nutrimentos y de materia orgánica se interrumpen** ya que la superficie del suelo está cubierta con materiales inorgánicos impermeables, las hojas de los árboles y las ramas podadas se eliminan por considerarse basura; el suelo no tiene, por lo tanto, una fuente de material de descomposición para propiciar la formación de la capa orgánica. En la ciudad, **las poblaciones y la actividad de los organismos se ve modificada**, pues las bacterias y los hongos que intervienen en la descomposición de la materia orgánica y los pequeños organismos fotosintéticos (microflora) y la fauna del suelo (lombrices y animales que forman madrigueras) que se dan en condiciones naturales, en el suelo urbano disminuyen o no hay. Los suelos urbanos también se caracterizan por la **presencia de materiales contaminantes** que provienen de los pesticidas, metales pesados, compuestos fitotóxicos y de otros elementos relacionados con actividades humanas (Brady 1990). El **régimen de la temperatura se modifica**

y es más alto debido a la presencia de pisos de asfalto o de concreto, así como a la reirradiación proveniente de los edificios y las construcciones que causan el incremento de la temperatura (Landsberg 1981). La **química del suelo es variable** en las urbes con **fragmentos de roca no orientados en el perfil, patrones impredecibles de enraizamiento y falta de actividad biológica**, tal como la de lombrices (Craul 1985; 1992; 1994a y 1994b). Esto último es importante pues las lombrices son los agentes más activos de degradación de materia orgánica en el suelo, ya que a través de su movimiento mezclan la materia orgánica (de la que se alimentan) con la parte mineral. En un estudio realizado en las praderas de Texas se encontró que en condiciones naturales las lombrices forman una capa de 2 a 3 mm de espesor que pesa 2.4 kg/m² secada al aire (Kormondy 1996). Tan sólo a partir de este último aspecto, podemos ver notables diferencias entre el suelo natural y el suelo urbano.

2.1.- Principales procesos que se presentan y sus implicaciones. La presencia del hombre afecta de diversas maneras al suelo urbano. La compactación, uno de sus principales problemas, se discutirá con mayor detalle en el siguiente capítulo. Otros procesos importantes a señalar son: el sellado, la contaminación, la formación y el acarreo de suelo.

Sellado. El suelo urbano se sella con frecuencia para realizar la construcción de obras, hacer cimentaciones o evitar la erosión de las laderas; sin embargo, en la mayoría de las veces, el suelo original se pierde y el sellado afecta la infiltración del agua y por lo tanto el balance hídrico del suelo; implica también que el suelo no puede reabastecerse de materia orgánica (fig. 2.1).

Desde el punto de vista estético, cuando las laderas de las carreteras se han sellado con cemento y malla, el panorama es poco agradable a la vista. Se deben practicar otras alternativas que sean ambientalmente amigables y a su vez permitan la recuperación de paisajes degradados; probablemente, el inicio de esta actitud se dará cuando los profesionistas que están ahora en formación consideren la dimensión ambiental en cualquier proyecto a desarrollar. Algunas universidades en nuestro país han comenzado a realizar este esfuerzo.

Contaminación. Los aceites de coches, aditivos, desechos industriales plásticos, latas y en general desechos de metales, pesticidas, abonos y fertilizantes, son algunos ejemplos de materiales que pueden contaminar el suelo en las ciudades y en zonas rurales urbanizadas. Las implicaciones ecológicas de la contaminación son la movilización de los contaminantes a lo largo del perfil del suelo con probabilidades muy altas de llegar al manto freático; también que un suelo contaminado afecta a los árboles y a las plantas, con el riesgo que existe en muchos parques y sitios recreativos de que los niños lo pueden ingerir.



Fig. 2.1.- Eucaliptos localizados en un estacionamiento sellado con chapopote que evita la infiltración del agua, que la materia orgánica se recicle, así como el intercambio de oxígeno entre suelo/atmósfera para la respiración aerobia de raíces y de la rizósfera.

Esta contaminación, además, ya sea por ciclos ecológicos (fenómeno natural) o por el acarreo de suelos (causa humana) incide en otros lugares lejanos.

La **formación de suelo por el hombre**, como en el caso de las chinampas, es una consecuencia positiva para el suelo de la presencia humana. Para hacer una chinampa se entretajan diversos materiales orgánicos, los cuales se soportan con troncos de ahuejotes (*Salix bonplandiana*) y se enriquecen continuamente con materia orgánica, para formar un sustrato fértil que es un ejemplo de uno de los sistemas de agricultura tradicional más productivos. La Ciudad de México se abastecía en buena medida de alimentos que provenían de las zonas chinamperas hasta hace algunos años.

El **acarreo de suelos** es una medida presente con frecuencia en el hábitat del hombre. Al efectuar un proyecto de plantación y verse ante un conjunto de cascajo, resulta más fácil

acarrear suelo fértil que trabajarlo para recuperar su calidad. A la vez, esta práctica ocasiona la desertificación. México, junto con países de América Central, ocupa el primer lugar a escala mundial en suelos degradados, con una pérdida del 24% del total de sus tierras fértiles (INEGI - SEMARNAP 1998).

El acarreo de suelos es una medida que puede traer consecuencias nefastas en un plazo corto de tiempo: la elevada concentración de habitantes en las ciudades aunada a la gran demanda de suelo de buena calidad para realizar jardines privados o proyectos paisajísticos está empobreciendo el suelo en zonas periurbanas y rurales, pues no se le da el tiempo que requiere para volverse a formar. Cabe recordar que 1 cm de suelo tarda 100 años en formarse y sólo de unos cuantos minutos a un par de horas para acarrearlo de un sitio a otro.

2.2.- Criterios de clasificación del suelo urbano. La clasificación y nomenclatura de todos los tipos de suelo ha sido una labor muy compleja que presenta una gran dificultad para la unificación de criterios. FitzPatrick (1993) expone los principales sistemas de clasificación de suelos en el mundo, señalando 15 diferentes, en los que las propiedades comunes que se consideraron fueron la identificación, la homología y la intergradación de los horizontes (Tabla 2.1). Esto puede ayudar a entender la gran dificultad de clasificar el suelo urbano, desde el momento en que no presenta horizontes.

El inventario del suelo urbano es una tarea que implica un grado enorme de complejidad debido a su primer atributo: la gran variabilidad espacial. La actividad humana tiene un impacto abrumador en la distribución del material parental y la superposición de una combinación de diversos procesos pedogenéticos. Los criterios convencionales para estudiar el suelo no son adecuados en el caso del suelo urbano, ya que varios de los atributos que permiten hacer mapas de los suelos no existen (o bien están ocultos) y para conocerlos se requieren estudios costosos y muestreos detallados. Los conceptos de pedogénesis del paisaje natural no se aplican en situaciones urbanas y el tiempo de exposición del suelo urbano es demasiado corto para manifestar sus efectos en el perfil, por lo que las propiedades que muestra se atribuyen más al disturbio que al proceso pedogenético de su ambiente actual (Craul 1994b).

NOMBRE	CARACTERÍSTICA PRINCIPAL
Sistemas desarrollados en la URSS (Afanasiev 1927)	Efectos de los factores ambientales en el perfil del suelo
Sistemas desarrollados en E.U.A.: Taxonomía de suelos (USDA 1975)	El suelo se relaciona con el clima y la vegetación. Tiene 6 niveles de categorías: orden, suborden, gran grupo, subgrupo, familia y serie.
Sistema Kubiëna 1953 (Europa central)	Diferencias en función del régimen hidrológico en suelos subacuáticos, semiterrestres o terrestres.
Sistema de Avery 1973 (Inglaterra y Gales)	Sistema diseñado para una región geográfica pequeña.
Sistema Francés (Comisión de Pedología y Cartografía de Suelos, 1967)	Su principio básico es la evolución del suelo o el grado de evolución de su perfil, tipo de humus y estructura
Sistema Canadiense	Las categorías superiores se basan en las características morfogenéticas, que reflejan ambientes pedogenéticos similares.
Sistema Sudafricano (MacVicar y Cols., 1977)	Sistema binomial: formas y series de suelos. Tiene 5 horizontes de diagnóstico para la capa superior y 15 para el subsuelo, definidos por sus propiedades y su génesis.
Sistema de Del Villar 1937	Se basa en las características intrínsecas del suelo. Es muy diferente de los anteriores.
Sistema de Leeper 1956	Requiere de la caracterización cuantitativa de las propiedades del suelo.
Sistema de Northcote (Australia)	Sistema de bifurcaciones basado en las propiedades del suelo.
Sistema de FitzPatrick (basándose en Vilensky, Sokolovsky y Crowther 1971)	Color, contenido de arcilla, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y minerales intemperizables.
Taxonomía numérica	Métodos numéricos
Sistema FAO	Lista de unidades de suelos que no están agrupadas en categorías superiores.
Algunos otros sistemas (von Richtofen 1886; Ramann 1911; Hilgard 1906; Glinka 1914; Lang 1915; Meyer 1926; Vilensky 1927; Neustruev 1926; Gedroiz 1929; Stebut 1930; De'Sigmond 1933 y Zakarov 1931.	Diversidad de características tales como la forma de intemperización, clima, madurez del perfil, química del suelo y otras más.

Tabla 2.1.- Principales sistemas de clasificación del suelo en el mundo con sus características distintivas. Tomado de: FitzPatrick (1993).

En la Taxonomía del Suelo de los Estados Unidos se señala al suelo urbano como un **Entisol**. Son suelos de origen reciente que no presentan horizontes pedogénicos (Millar 1979; Craul 1992; Departamento de Agricultura de los Estados Unidos - Servicio de Conservación de Suelos 1995). Dentro de la categoría de los Entisoles, se encuentran los **Udorthents**, ya que presentan poca diferenciación de horizontes y ausencia de epipedones en la porción alterada.

Puede haber algunos horizontes por debajo del horizonte alterado o bien puede haber fragmentos de horizontes diagnósticos mezclados con el horizonte antrópico, en esta última situación se clasifican como **Arents**. Cuando existen rellenos profundos, el perfil completo es nuevo, sin relaciones genéticas entre los horizontes o discontinuidades, entonces el suelo se puede clasificar como **Orthents**. Algunos suelos urbanos -que habían estado 30 años en el mismo sitio-, presentaban un horizonte cambico y se clasificaron como **Inceptisoles** (Fanning 1978, citado por Craul 1992).

Otro sistema (Hollis 1992, citado por Muñoz 1995) divide a los suelos urbanos en aquellos formados de suelo y los que han sido modificados por el hombre. A su vez, estos se subdividen en suelos tóxicos, suelos crudos, suelos someros, suelos densos, suelos bien aireados, suelos densos estacionalmente mojados y suelos estacionalmente mojados e impermeables.

La clasificación FAO/UNESCO/ISRIC, versión 1988, considera a los suelos urbanos como **Antrosoles**. Son suelos en los que las actividades humanas han provocado modificaciones profundas debido a la remoción o perturbación de los horizontes de superficie (INEGI - SEMARNAP 1998).

Craul (1992), menciona las siguientes subunidades del suelo urbano:

Scalpico.- Son cortes de terreno en donde se ha roto el contorno natural topográfico y el material parental se presenta cerca de la superficie.

Garbico.- Cuando hay materiales orgánicos de deshecho y alta concentración de metano, como por ejemplo en un relleno sanitario.

Urbico.- Es una mezcla de relleno urbano y artefactos inorgánicos en el estrato superior.

Spolico.- Se deriva de suelos deteriorados o de las actividades mineras a cielo abierto.

Potiso!.- Cuando la superficie de terreno no puede soportar el crecimiento de árboles y arbustos hasta que recibe un tratamiento.

2.3.- Importancia de desarrollar estudios del suelo urbano. La complejidad del suelo urbano se ha ignorado, pues se utilizan criterios estándar de plantación que se aplican en forma indiscriminada a cualquier tipo de sitio o de proyecto paisajístico (Craul 1992). En nuestro país, en los últimos años, la Comisión de Recursos Naturales (Corena) solicitó a las empresas plantadoras de árboles en la ciudad los siguientes análisis del suelo: color, pH, estructura, compactación, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio aprovechables, así como textura del suelo (Uriel González, Corena, comunicación

personal 1998). Sería muy valioso revisar cómo influyó esta información en la selección de las especies, los procedimientos de plantación o los métodos de mantenimiento, ya que durante las campañas de reforestación los estudios de suelos han sido escasos.

2.4.- Compactación del suelo. El suelo es un esqueleto de partículas sólidas de varios tamaños que en su acomodo dejan espacios porosos, los cuales pueden llenarse de aire o de agua. Por volumen, el suelo ideal se compone de 45% de minerales (arena, limo y arcilla), 50% de espacio poroso y 5% de materia orgánica y de organismos. La compactación se presenta cuando se pierde el espacio poroso de un suelo, en particular los macroporos (normalmente llenos de aire), y se refleja en el incremento de la densidad aparente del mismo.

Existen diferentes niveles de compactación: en las capas superficiales el suelo se compacta por el apisonamiento, en las capas intermedias por el tránsito de vehículos y en las capas más profundas debido a las vibraciones constantes del tráfico pesado.

Es importante distinguir aquí entre la compactación y la dureza en un suelo: el talco es un buen ejemplo para representar la primera situación, ya que a pesar de no tener dureza carece de espacio poroso; la piedra pómez, en cambio, a pesar de ser dura no es compacta, pues contiene gran cantidad de poros (Ordaz Chaparro, V. Comunicación personal 1997). La compactación del suelo es la característica más compleja del mismo y tiene interrelaciones significativas con la mayoría de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como con los factores ambientales (Barnes 1971).

2.4.1.- Causas. La compactación es un fenómeno natural que se ha incrementado notablemente por la acción del hombre. El ciclo constante de contracción y expansión del suelo cuando pierde agua o está saturado, provoca asentamiento y el reacomodo natural de las partículas; la descomposición de la materia orgánica, el paso de animales o los incendios en el caso de suelos forestales, son también ejemplos de causas naturales que ocasionan compactación (Kozlowski 1998). En el ambiente urbano, la compactación se debe al movimiento o transporte de suelo durante la construcción, el diseño o el rediseño de proyectos paisajísticos, así como a las vibraciones y el apisonamiento que producen el tráfico peatonal o de vehículos, y también a las actividades de construcción (Craul 1992).

2.4.2.- Relación con la textura y estructura del suelo. El grado de compactación depende de la textura del suelo, el pH, el contenido de agua, la cantidad de materia orgánica, de los óxidos de hierro y del hidróxido de aluminio libre que contenga, ya que éstos

últimos determinan la naturaleza de las fuerzas cohesivas entre sus constituyentes. La compactación disminuye la porosidad del suelo, incrementa la densidad aparente, provoca el rompimiento de los agregados, ocasiona la pérdida de la continuidad del espacio poroso; incrementa la fuerza cortante, así como el escurrimiento superficial del agua, y la erosión del suelo por consecuencia disminuye la capacidad de infiltración (Kozlowski 1998). La presión superficial que se aplica al suelo causa el rompimiento de los enlaces en los agentes de agregación, que son los que mantienen a las partículas de suelo juntas en unidades estructurales (Narro 1994).

2.4.3- Efectos en la retención de humedad del suelo. El suelo compactado tiene baja permeabilidad; esto trae como consecuencia que el agua se pierda por escurrimiento superficial y evaporación, lo cual impide la recarga de agua en el manto freático y aumenta la erosión hídrica del suelo. La densidad aparente del mantillo se relaciona con la infiltración; cuando el suelo se compacta, se forma una costra que reduce la infiltración del agua. En zonas de pastoreo se ha visto que la infiltración disminuye 25% en áreas de pastoreo moderado y hasta 50% en zonas de pastoreo intensivo.

2.4.4.- Efectos en las plantas. La compactación induce una alteración en la fisiología de las plantas; a menudo se desarrolla un déficit hídrico debido a que la absorción de agua disminuye. Las alteraciones en la disponibilidad de agua, elementos minerales y orgánicos (hormonas de crecimiento y carbohidratos a los sitios de crecimiento de las plantas) ocasionan disminución en la talla de éstas. Inicialmente la compactación del suelo restringe la elongación de las raíces y ocasiona que la respiración ocurra en forma anaeróbica, lo que afecta la absorción de agua y de elementos minerales; la elaboración de carbohidratos es menor y el área de las hojas y la síntesis de clorofila disminuyen: los estomas se cierran, por lo cual la fotosíntesis total se reduce y en consecuencia el tamaño de la planta, ya que se afecta el crecimiento (Whitcomb 1991; Kozlowski 1987). Cuando no hay compactación, las raíces penetran en el suelo y crecen a través de los poros moviendo las partículas de suelo a los lados; para permitir este proceso, los poros deben tener el mismo diámetro o un diámetro mayor al del ápice de la raíz. Los suelos friables presentan poca resistencia a la penetración, mientras que los suelos compactados presentan gran resistencia (Craul 1992; Kozlowski 1998).

2.4.5.- Métodos de evaluación. La compactación de un suelo rara vez se mide en forma directa; la manera usual de hacerlo es determinando un cambio en uno o varios parámetros como consecuencia de su efecto. El procedimiento más común es determinar el peso y el volumen de una muestra de suelo para calcular la densidad aparente. Otros métodos son: 1. el cálculo de la porosidad, ya que ésta indica la cantidad promedio de espacio ocupado por vacíos en relación al que está ocupado por partículas sólidas. 2. El conocimiento de la distribución del tamaño de los poros, ya que expresa la disposición efectiva de tamaño del espacio vacío. 3. El análisis de la trama del suelo, pues refleja la geometría relativa. 4. Ubicar la orientación de las partículas de suelo. 5. Conocer los espacios vacíos asociados y 6. Observar directamente el arreglo de las partículas que lo constituyen. Este último método puede ser una primera herramienta de detección en campo (Craul 1992; Barnes *et al.* 1971; Hillel 1980).

2.4.6.- Corrección de la compactación. La recuperación natural del suelo compactado puede tardar muchos años: en zonas donde hay ausencia de congelamiento y deshielo, el suelo tardó aproximadamente 60 años para recuperarse de la compactación. Sin embargo, con ayuda de prácticas correctivas, la compactación de un suelo puede disminuir en un periodo de 4 años (Kozłowski 1998). Los métodos correctivos varían en función del grado de compactación y de la ubicación del sitio a descompactar; pueden ser naturales: físicos, químicos y biológicos, o inducidos, es decir, culturales (Alan y Bennie 1991; Day y Bassuk 1994; Craul 1992). En climas fríos, el congelamiento y descongelamiento cíclicos favorecen la descompactación natural del suelo; en áreas en donde el suelo no se congela, se pueden utilizar métodos mecánicos de aireación (Whitcomb 1991).

Los niveles de compactación inducida o antrópica varían con relación a la profundidad de la capa del suelo. Los más altos se presentan en los primeros 30 cm del suelo, que es donde se encuentra la mayoría de las raíces de las plantas. La adición de materia orgánica ayuda a promover el desarrollo de los agregados del suelo (Watson 1994), ya que la primera incrementa su resistencia a la deformación y su elasticidad (Kozłowski 1998). El uso de algunos productos químicos, como el alcohol polivinil, demostró formar agregados estables en el suelo (Alan y Bennie 1991). La fauna del suelo, en particular las lombrices, así como la actividad de las raíces de las plantas, pueden ayudar a su aireación. La eliminación de lombrices en un pastizal disminuyó la tasa de percolación del agua en 93% (Clements 1982; citado por Kozłowski 1998).

Otras medidas alternativas son el uso de especies arbóreas tolerantes a la compactación, como las que viven en sitios inundados o pobremente drenados, así como el control del tráfico vehicular, peatonal y de animales; también agregar al suelo materiales de textura gruesa, el remplazo de suelo compactado por suelo no compactado (como sucede con frecuencia en sitios urbanos), la instalación de sistemas de drenaje y la aplicación correcta de fertilizantes ya que, al igual que la materia orgánica, ayudan a promover el desarrollo de los agregados del suelo. Una vez que se ha tomado una medida de descompactación para un suelo, la desviación del tráfico a rutas o veredas específicas es una medida adecuada para prevenir que se vuelva a compactar (Alan y Bennie 1991). Prevenir la compactación del suelo es preferible que corregirla, pues la corrección además de ser más costosa es más difícil de aplicar, las acciones se tienen que repetir en forma periódica, existe la posibilidad de que no sean efectivas y, finalmente, los métodos de descompactación pueden ocasionar daños a las raíces de las plantas (Kozlowski 1998).

Existen varias prácticas adicionales para aliviar y prevenir la compactación en zonas recreativas y proyectos de paisaje. Dado que el presente proyecto de investigación se relaciona con los árboles en el ambiente urbano, se consideró importante desglosarlas con detalle.

La planeación avanzada y el diseño son herramientas valiosas cuando se trazan los accesos de peatones y de vehículos en los proyectos de construcción. Si hay suelo nuevo, se recomienda considerar su tendencia a la compactación; en los lugares donde tiene que haber tránsito, es recomendable cubrir el suelo con mulch (material que se utiliza para mejorar las condiciones del suelo) o con triplay; se sugiere colocar el suelo seco más que húmedo ya que se compacta menos. Una vez efectuada la plantación, se puede inocular el suelo con micorrizas para favorecer el crecimiento de las raíces.

En áreas de trabajo pesado, el uso de una capa de 15 cm de mulch grueso absorberá la fuerza compresiva y la distribuirá. El mulch mezclado con materiales de baja densidad como el gis o la piedra pómez, ayudará a reducir la densidad aparente del suelo. Una vez terminada la obra, esta capa debe eliminarse para evitar la saturación del suelo y la creación de condiciones anaerobias.

La instalación de parrillas sobre suelos de uso pesado ha demostrado disminuir la compactación. Existen varios diseños de parrillas, algunos de ellos abiertos para permitir en forma simultánea el crecimiento del pasto y el control de la compactación; las ventajas observadas son que las parrillas mejoran la infiltración y disminuyen el drenaje superficial,

así como la temperatura superficial, con lo cual se crean condiciones de confort térmico más agradables que las obtenidas mediante el uso de pavimentos.

La aireación superficial es un método manual o mecánico que se ha utilizado por mucho tiempo: se hunden tenedores, dientes o púas, o se inyecta agua a una profundidad de 5 a 7.5 cm y el orificio se rellena con materiales gruesos, mulch o composta; también se puede dejar el hueco para que se llene de suelo suelto conforme pasa el tiempo. Diversas experiencias indican que los dientes huecos espaciados cada 5 a 7.5 cm son más efectivos que los dientes pesados espaciados cada 12.5 cm; este método es temporal y se tiene que repetir anualmente o antes en caso de que el área presente tráfico pesado.

La inyección profunda de aire comprimido o de agua al suelo fractura la compactación. Las fracturas se pueden rellenar con fertilizante granular, perlita, vermiculita o poliestireno. Hasta ahora se han encontrado tanto resultados positivos como nulos, por lo que se requieren más pruebas para valorar su eficacia.

La labranza del subsuelo requiere del uso de un tractor o de una grúa con un brazo mecánico, cuya horadación profunda suelta el suelo y favorece la creación de un gran espacio poroso, la aireación, el drenaje y la penetración de raíces. Cuando ya hay árboles en el sitio, este método puede ocasionar severos daños a las raíces, por lo que la labranza del subsuelo se recomienda como técnica previa a la plantación o para sitios de construcción reciente en donde aún no hay plantas o árboles.

Una alternativa más para aliviar la compactación de un suelo es reemplazarlo, tratando de evitar daño a las raíces y tomando en cuenta una cantidad abundante de suelo nuevo para permitir que las nuevas raíces tengan amplio espacio en el cual desarrollarse. El reemplazo en zanjas intercaladas entre las raíces principales del árbol es más efectivo (Craul 1992).

Referencias bibliográficas

- Alan, T. y P. Bennie. 1991. Growth and Mechanical Impedance. *En: Waisel, Y., A. Eshel y U. Kafkafi (Eds.). 1991. Plant Roots the Hidden Half. 2^{nda} Edición. Marcel Dekker, Inc. Nueva York. pp. 393-414.*
- Barnes K., W. M. Carleton, H. M. Taylor, R.I. Throckmorton y G.E. Vanden Berg. 1971. *Compaction of Agricultural Soils. The American Society of Agricultural Engineers. E.U. 471p.*
- Brady, N. C. 1990. *The Nature and Properties of Soils. 10^a Edición. Macmillan. Nueva York. 621p.*
- Craul, P. 1985. A Description of Urban Soils and their Desired Characteristics. *Journal of Arboriculture* 11 (11): 330-339.
- Craul, P. 1992. *Urban Soil in Landscape Design. John Wiley and Sons. Nueva York. 396p.*
- Craul, P. 1994a. Soil Compaction on Heavily Used Sites. *Journal of Arboriculture* 20 (2): 120:123.
- Craul, P. 1994b. *Urban Soils: An Overview and Their Future. In: G. Watson and Dan Neely (Eds.). The Landscape Below Ground. The Morton Arboretum y la ISA. Illinois. pp.115 - 125.*
- Day, Susan y Nina Bassuk. 1994. A Review of the Effects of Soil Compaction and Amelioration Treatments on Landscape Trees. *Journal of Arboriculture* 20 (1): 9-17.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Suelos. 1995. *Claves Para la Taxonomía de Suelos. Publicación Especial 3 de la Soc. Mex. de la Ciencia del Suelo. México. 306p.*
- FitzPatrick, E. A. 1993. *Suelos, su Formación Clasificación y Distribución. CECSA. México. 430p.*
- Hillel, D. 1980. *Fundamentals of Soil Physics. John Wiley and sons. Nueva York. 413p.*
- INEGI, SEMARNAP. 1998. *Estadísticas del Medio Ambiente. Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 1995-1996. Talleres del INEGI. México. 461p.*
- Kozlowski, T. T. 1987. Soil Moisture and Absortion of Water by Tree Roots. *Journal of Arboriculture* 13 (2): 39-45.
- Kozlowski, T. T. 1998. *Soil Compaction and Growth of Woody Plants (in press).*
- Kormondy, E. 1996. *Concepts of Ecology. Prentice Hall. 4^a Edición. Nueva Jersey, USA. 559p.*
- Landsberg, H. E. 1981. *The Urban Climate. Academic Press. Nueva York.*
- Millar, C. E., L. M. Turk y H. D. Foth. 1979. *Fundamentos de la Ciencia del Suelo. CECSA. México. 527p.*

- Muñoz M. R. 1995. *El Suelo Como un Factor Limitante del Desarrollo de la Vegetación en Áreas Urbanas: Caso Distrito Federal, México*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias especialista en Edafología. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. México. 91p.
- Narro Farías, E. 1994. *Física de suelos*. Ed. Trillas. México. 195p.
- Patterson, J. C. 1976. Soil Compaction and its Effects Upon Urban Vegetation. *Better Trees for Metropolitan Landscapes Symposium Proc.* USDA-Forest Service. Gen. Tech. Rep. NE-22.
- Watson, G. 1994. Common Soil Problems in Urban Areas. *En: Tree Care Handbook*. The Morton Arboretum. E.U. s/p.
- Whitcomb, C. 1991. *Establishment and Maintenance of Landscape Plants*. Lacebark Inc. Stillwater, Oklahoma. 638p.

Capítulo 3.- Impedancia mecánica y sus efectos en el sistema radical

Debido a que las raíces están fuera de la vista, a menudo están también fuera de la mente cuando se consideran los efectos del estrés en la condición general del árbol. El estrés puede matar directamente a las raíces, prevenir o reducir la elongación y la ramificación, el crecimiento radial, la formación de micorrizas, el almacenamiento de carbohidratos, la producción de reguladores de crecimiento, interferir en su transporte y en el de otras sustancias y otras funciones en otras partes del árbol tales como la fotosíntesis

Philip Wargo 1983

La dificultad de establecer diferencias morfológicas entre las raíces impedidas mecánicamente en su crecimiento y las que no lo están, se debe a la gran variación de tipos de raíces existente entre diversas especies de plantas y edad de las mismas. Sin embargo, se sabe que las raíces impedidas mecánicamente son más cortas, más gruesas y tienen formas más irregulares que las raíces delgadas y fibrosas que se desarrollan bajo condiciones de menor impedancia (Alan y Bennie 1991).

Cuando no existe una adecuada porosidad en el suelo, las raíces muestran dificultad para extenderse longitudinalmente, inclusive el crecimiento se puede inhibir por completo. Dado que las raíces siguen el patrón de menor resistencia, tienden a adoptar la misma configuración que la de la estructura del suelo, por lo que el patrón de enraizamiento se distorsiona (Craul 1992). El incremento de la impedancia mecánica en el suelo disminuye el crecimiento, la absorción de nutrimentos, la tasa de transpiración, la conductividad hidráulica suelo - planta, la densidad de enraizamiento, la profundidad de penetración, la eficiencia de uso del agua y su productividad (Alan y Bennie 1991).

3.1.- Efecto de la impedancia mecánica en la ramificación y en la tasa de elongación de la raíz. La respuesta de las raíces laterales ante la presión externa se ha estudiado menos que la del eje principal de la raíz; sin embargo, ambas parecen responder de la misma forma. Existe una reducción notable en la formación de ramificaciones laterales de segundo y tercer orden conforme se incrementa la compactación del suelo (Allan y Bennie 1991). La impedancia mecánica provoca que el sistema radical reduzca su crecimiento, que engruese y se cubra profusamente de pelos radicales (Craul 1992). Cuando el diámetro de los poros del suelo es menor que el del eje central de la raíz, pero mayor que las raíces laterales, estas últimas proliferan (Russell 1977). Las raíces se pueden desarrollar en la capa superficial del suelo y pueden tener una gran densidad; es por eso que la restricción de las raíces como

efecto del estrés mecánico en el suelo es nocivo para el crecimiento de la planta, principalmente cuando el abastecimiento de agua y de nutrimentos en la zona superficial de enraizamiento son inadecuados.

En cuanto a la tasa de elongación de la raíz, la mayoría de los investigadores señalan que es inversamente proporcional a la impedancia mecánica: a mayor impedancia en el suelo, menor elongación de la raíz (Alan y Bennie 1991; Craul 1992).

3.2.- Efecto de la impedancia mecánica en el grosor de la corteza con relación al cilindro central de la raíz y en el crecimiento en diámetro. Los cambios anatómicos de las raíces sometidas a impedancia mecánica se dan en función de la edad de la raíz. El engrosamiento radial de las raíces se asocia en un principio a células más cortas y más anchas en la corteza. El diámetro del cilindro central se incrementa en las raíces impedidas mecánicamente desde la endodermis hacia adentro, como consecuencia, la relación entre el cilindro central y el diámetro de la raíz es constante. El incremento en diámetro del cilindro central en raíces de maíz se asocia a un incremento en el número de vasos y al promedio del diámetro de éstos, lo que implica que el área de conducción de los vasos en la raíz engrosada e impedida se incrementa con un aumento en el área externa de absorción por unidad de longitud de raíz (Alan y Bennie 1991).

La impedancia mecánica es directamente proporcional al diámetro promedio de la raíz. Conforme va creciendo la raíz impedida mecánicamente, se presenta un engrosamiento en su diámetro (Alan y Bennie 1991; Craul 1992).

3.3.- Efecto de la impedancia mecánica en la relación raíz-vástago. Cada especie tiene una relación raíz - vástago característica. Cuando una de las partes se elimina, la planta realiza un gran esfuerzo de compensación para recuperarla y volver a la relación característica de la especie. Los puntos de control de este balance son los factores ambientales y nutrimentales (Keppler 1991). Cuando disminuye o se restringe el volumen de enraizamiento, la planta responde por lo general reduciendo la biomasa total, la parte aérea muestra achaparramiento, tiene bases y tallos más pequeños y el peso decrece, tanto en la parte aérea como en la radical.

La mayoría de los estudios de plantas se han concentrado en su parte aérea. Los estudios del sistema radical junto con la parte aérea se restringían a medir el peso seco al final del experimento para determinar la relación raíz - vástago, lo cual reflejaba pobremente la dinámica existente. La interdependencia raíz - vástago se debe concebir como un equilibrio, en el cual

cada compartimento aporta materiales esenciales para el crecimiento del otro; de esta manera, la reducción en una de las partes afectará el crecimiento y el funcionamiento de la otra (Harris 1992; Klepper 1991; Wargo 1983).

En la práctica de la arboricultura la relación raíz - vástago es más un concepto que una herramienta, ya que un árbol se tendría que derribar para obtener esta información; sin embargo, el uso de esta relación como un concepto es muy útil para el arborista durante las actividades de manejo. Cuando se dañan o se cortan las raíces (por trabajos de construcción, durante el transplante o debido a la compactación del suelo), las raíces restantes requieren de riego continuo y/o de aireación para restablecer su actividad; por el contrario, cuando los árboles crecen en contenedores o jardineras la parte aérea puede seguir creciendo pero no así las raíces debido al confinamiento; el desbalance será nocivo y afectará a la parte aérea la cual, al no poder satisfacer más sus demandas con su pequeño sistema radical en proporción a sus requerimientos, comenzará a mostrar síntomas de muerte regresiva en la cual el árbol muestra grandes porciones muertas de arriba hacia abajo (Watson *et al.* 1997).

3.4.- Efecto de la impedancia mecánica en la fisiología de la raíz. Aunque los resultados no son concluyentes, se puede especular que los factores que controlan el potencial osmótico, como la elasticidad y la extensibilidad de las paredes celulares, deberían ser relevantes para sobreponerse a la impedancia mecánica: es posible que la osmorregulación se lleve a cabo, con lo cual el potencial osmótico en las células se adapta a la presión necesaria para sobreponerse de la impedancia mecánica.

El funcionamiento de las raíces bajo condiciones de impedancia se puede obstruir de diferentes maneras. Un sistema radical más corto y superficial ocupa un menor volumen de suelo para la nutrición y absorción de agua para la planta; más aún, este sistema pequeño de raíces deberá mantener una tasa de absorción de nutrimentos y de agua más alta de la normal con el fin de mantener el balance con relación a la demanda de la planta, lo cual puede agotar el suelo que rodea a las raíces y tener un efecto negativo que se traduce en estrés hídrico y nutrimental para la planta, y como consecuencia en la disminución de su crecimiento.

Referencias bibliográficas

- Alan, T. y P. Bennie. 1991. Growth and Mechanical Impedance. *En*: Waisel, Y., A. Eshel y U. Kafkafi (Eds.), 1991. *Plant Roots the Hidden Half*. 2^{nda} Edición. Marcel Dekker, Inc. Nueva York. pp. 393-414.
- Craai, P. 1992. *Urban Soil in Landscape Design*. John Wiley and Sons. Nueva York. 396p.
- Harris, R. W. 1992. *Arboriculture. Integrated Management of Landscape Trees, Shrubs and Vines*. Prentice Hall. 2^a Edición. Nueva Jersey. 674p.
- Klepper, Betty. Root Shoot Relationships. 1991. in: Waisel, Y., A. Eshel y U. Kafkafi (Eds.). *Plant Roots the Hidden Half*. 2^{nda} Edición. Marcel Dekker, Inc. Nueva York. pp.265-286.
- Russell, R.S. 1977. *Plant Root Systems. Their Function and Interaction with the Soil*. McGraw Hill. Gran Bretaña. 298p.
- Wargo, Ph. 1983. Effects and Consequences of Stress on Root Physiology. *Journal of Arboriculture* 9 (7):173-176.

Capítulo 4. Estudio preliminar (publicado)

Chacalo, A., J. Grabinsky and A. Aldama. 1996.

Site Limitations to Tree Growth. METRIA 9

Proceedings of the 9th Metria Conference.

August 8 – 10, 1996. Columbus, OH.

Edited by Daniel K. Struvie & Pablo Jourdan.

Publicado en la página web de la Universidad de Ohio:

<www.hcs.ohio-state.edu/METRIA/Metria9.html>

METRIA 9

Proceedings of the 9th Metria Conference

August 8-10, 1996

Columbus, OH

Edited by Daniel K. Struve & Pablo Jourdan

METRIA, the Metropolitan Tree Improvement Alliance, was founded in 1976 to provide opportunities for collaboration among members in developing better trees for metropolitan landscapes.

METRIA's objectives are:

To provide information that will enable wiser choices of species or cultivars for particular urban environments and uses; and information about managerial techniques that will lead to healthier, more beautiful trees.

To develop tree cultivars having improved characteristics through breeding, selection and propagation; and preserve valuable germplasm.

To promote the utilization of improved cultivars and better cultural techniques.

Membership is open to all individuals who are willing to work in activities with the organization and representatives of any other organization that provides financial or other material support. There is no geographic restriction to membership. METRIA has members from Canada, the United States and Mexico. Current membership dues are \$10.00 annually. Contact Dr. Thomas Ranney, 2016 Fanning Bridge Road, Fletcher, NC 28732 for membership information. Phone: 704-684-3562 or e-mail: tranney@fletcher.ces.ncsu.edu.

METRIA has held a conference in alternate year since 1976. The latest, Metria 9, was held in Columbus, OH, August 8-10, 1996. Selected papers given at the conference are presented below.

To Clone or Not To Clone, Michael Knee and Daniel Struve, The Ohio State University, Columbus, OH.

Drought Resistance in Trees: Overview of Mechanisms and Research with Iowa's Black Maples, William Graves, Iowa State University, Ames, IA.

The Popular Concept of Tree Size Predicted by Radius of the Tree, John Sabuco, Good Earth Company, Flossmoor, IL

Site Limitations to Tree Growth. Alicia Chacalo, J. Grabinsky, and A. Aldama, Universidad Autonoma Metropolitana, Azcapotzalco, Mexico.

Selection and Breeding of Small Trees. George Ware, The Morton Arboretum, Lisle, IL.

Improving the Availability of Under-Utilized Small Trees for Texas. Michael Arnold, Texas A & M University, College Station Texas,

Tree Transplanting and Establishment. Gary Watson, The Morton Arboretum, Lisle, IL.

Push, Pull Approach to Increasing Diversity. Davis Sydnor, The Ohio State University, Columbus, OH.

SITE LIMITATIONS TO TREE GROWTH

Alicia Chacalo(1), Jaime Grabinsky(2), Alejandro Aldama(3)

Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzaico,
Av. San Pablo-180. Col Reynosa Tamaulipas. 02200
México D.F.

Departamentos de Energía(1), Ciencias Básicas(2) y Sistemas(3), respectively

ABSTRACT

Based on a tree inventory data developed in 1993 and 1994 in Mexico City, we identified the major problems of *street trees* growing in difficult sites. The relationship between tree health and site characteristics, neighborhood socioeconomic status, and tree density per block analyzed.

INTRODUCTION

Contrary to popular belief, the Metropolitan area of Mexico City is not the world's largest metropolis, but it is one of 14 cities with more than 10 million inhabitants. With a population of 16.7 million people, it is smaller than Tokyo and equal to New York and Sao Paulo.

Mexico City's growth rate has fallen from 3.5% in the 1970's to 1.8% currently; the population increase is attributed to immigration and the high birth rate among the immigrants.

According to the United Nations Population Fund, 16% of the country's population live in conditions of extreme poverty, without access to any social services and approximately 40% are defined as poor. Poverty and lack of social services drive the rural migration to Mexico City. The increased population has expanded the Mexico City's borders.

The city consisted of 34,000 blocks in 1980, increasing to 55,000 blocks by 1994; a 62% increase in 14 years. (INEGI, Governmental Institute for National and Local Economic and Geographic Information).

Pollution levels are high year-round because the valley in which Mexico City is built at 2240 m above sea level, is surrounded by tall mountains.

New urban areas are heterogeneous by income level, but all are uniformly poorly planned and are typified by small green spaces. It is estimated that Mexico City's green areas have decrease 3.7% annually. This rate of decrease is highest in low income areas, being replaced by buildings and roads (Ezcurra, 1990). In neighborhoods where residential buildings are being rapidly converted to businesses, the trees and the green areas are vanishing.

Many environmental issues affecting tree growth and urban forestry programs could be mentioned, but I would like to remark on four important facts:

1 Mexico City was a lake in pre-Hispanic times.

2. Utility lines are mainly external (Fig. 1).
3. The Spanish building style, which uses a lot of concrete, closed patios, fences, and narrow sidewalks, creates a constant struggle between the trees and the infrastructure (Fig. 2).
4. Mexico City is in an area with a wide potential natural species diversity. The climate and soil are conducive to year-round tree growth.

Mexico City Tree Inventory

During 93 and 94 three professors from Metropolitan Autonomous University, 17 students and two research assistants, did a Tree Inventory in Mexico City. A representative sample of 1261 sidewalk trees in 240 blocks was measured and evaluated to describe the condition of trees. The data obtained were species, height, diameter, number of stems, site characteristics, health conditions and required treatments.

Main Problems

The main problems identified in the tree survey are: planting in inappropriate locations, inappropriate species selection, and inadequate, inappropriate tree maintenance, all of which are indicators of a lack of planning (Fig. 3). The first part of this study was published in the July 1994 Journal of Arboriculture.

We then analyzed the data by borough. We included a precise count of the number of trees per block and ascertained relations between site characteristics and health, dendrometric measures and species of the trees. This second part, has been recently published in the Journal Ciencia Forestal (Journal of Forestry Science).

Sidewalk Width. For each tree we measured the sidewalk width. The modal size was 1.6 to 2 meters; which is not sufficient space for trees. In 60 cases there was not even a sidewalk! Streets with narrow sidewalks, may represent an uncorrectable condition to tree growth (Fig. 4).

Utility Lines. Utility lines were present in 48% of the trees and represented 24% of all the interferences (Fig. 1).

Pavement. Pavement accounted for 19% of the interferences but affected 37% of the trees (see Fig. 2).

Soil Compaction. Soil compaction was severe around 34% of the trees. Around 13% of the trees it couldn't even be measured, because the trees were surrounded by concrete. In all, growth of 47% of the trees was greatly inhibited by this problem.

Multiple Interferences. Thirty-six percent of the trees inventoried had 3 or more interferences (Fig. 5).

Size of the Trees. The Mexico City has a young tree population: 66% of them had a diameter of less than 20 cm. A large planting effort has been conducted by the government recently, but survival has been low. Even worse, many trees that do survive are planted on inappropriate sites. The government's political goal of planting millions of trees per year, is being translated into a greening of Mexico City, providing many benefits from the trees in urban landscapes, but also creating plenty of future problems. Young trees classified in good condition during the inventory are expected to live just a few years. In the near future

this will mean higher costs for replacement (Fig. 6)

The possibility of having high quality landscapes in Mexico, with high quality trees appropriately selected for the site, may be more and more difficult to achieve. It would be desirable to base an urban forestry program on planting high quality, properly sited trees with an adequate maintenance budget, but that situation does not exist presently. However, it would be detrimental and expensive to eliminate poor trees or improperly sited trees. We can conclude that arborists must be in charge of an urban forestry program rather than politicians. We need more training opportunities for arborists.

Site Quality. From the measurements and observations, an evaluation of the site quality was obtained. More than half of the trees are located on poor to fair quality sites, and an average of four maintenance procedures per tree were recommended.

Wounding. Wounding occurred frequently on poor quality sites. Many trees had multiple wounds; more wounds were found than the total number of trees inventoried. Wounds were classified as poor, medium or severe; the predominant wound category was severe (Fig. 7).

Correlations. Factors affecting tree health were not always obvious. A high correlation was found between sites quality and tree health, but occasionally we had good quality trees in very poor sites.

An interesting result was the lack of correlation between socioeconomic level and tree health condition. We expected better trees in wealthy areas; a simple consequence of having more available resources.

A similar condition was found for sidewalk width and tree condition. We expected a high positive correlation between tree health and sidewalk lawn panel space. However, the results didn't show that. We observed that even if the sidewalk is wider:

1. Trees are planted very close to the curb (Fig. 8)
2. Street vendors affect the health condition of the trees and
3. The sidewalk design is exactly the same for narrow and for wide sidewalks. When excavations are needed the same quantity of roots are damaged in both cases.

Number of Trees per Block. Great disparities exist in tree density among blocks and boroughs. More than a hundred trees were found in some blocks while no or few trees were found in others; 21% of the blocks had less than six trees. The same density disparities can be easily observed in open spaces.

Conclusions. Evaluation of the trees shows that some arboricultural practices have not achieved a professional status, even though the amount of work devoted has been considerable.

The study revealed problems that might have been prevented with a proper selection of species, a better matching of the species to the site and a more environmental sensitive urban planning that takes into account that living organisms grow.

Nowadays, the whole responsibility for street trees in Mexico City resides with the government. More active participation from non-government organizations, private nurseries, professionals and universities is needed. A more sensitive population, will demand higher quality urban trees and urban landscape.

The quality of the landscape, which is closely related to the quality of life, needs to be considered a priority, not as a luxury. We need to think that the quality of urban landscape is strongly related to the quality of the urban trees.

We would like to thank Dr. Gary Watson for his help in editing the English of this paper.

Literature Cited

Chacalo, A., A. Aldama and J. Grabinsky. 1994. Street Tree Inventory in Mexico City. *Journal of Arboriculture*, 20(4):222-226.

Chacalo, A., J. Grabinsky y A. Aldama. 1996. Inventario del arbolado de alineación de la Ciudad de México en: *Ciencia Forestal en México* 21(79):101-120.

Cutler, D. 1995. Jodrell Laboratory, Royal Botanic Gardens, Kew. Personal communication.

INEGI. 1994. Manzanas de la Ciudad de México. Comunicación Personal. México.

Ezcurra, E. 1990. De las chinampas a la megalopolis. El medio ambiente de la cuenca de México. Fondo de Cultura Económica, colección la ciencia desde México no. 91. México. 119p.



Fig. 1. Approximately half of the trees inventoried were planted under utility lines.

[Return to text.](#)



Fig. 2. An example of trees surrounded by concrete in Mexico City.

[Return to text.](#)



Fig. 3. Jacaranda tree (*Jacaranda mimosaeifolia*), inappropriately sited, showing interferences with utility lines, the lamp and the pavement. A severe pruning of the crown points out the lack of training that most empirical gardeners have.

[Return to text.](#)

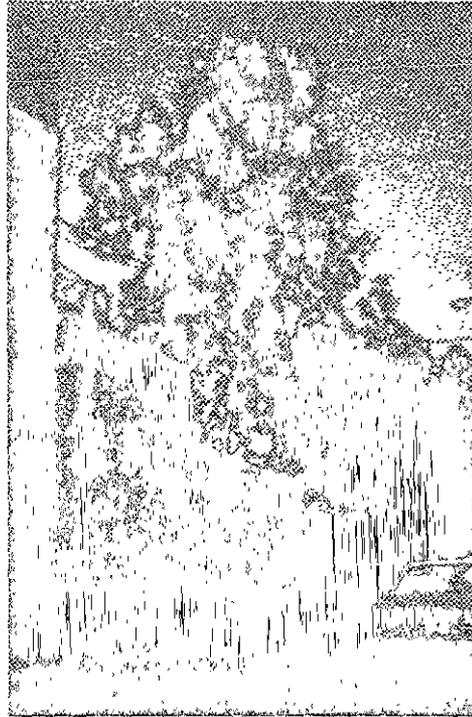


Fig. 4. A large Eucalyptus tree growing in a narrow sidewalk cut.

[Return to text.](#)



Fig. 5. Rubber tree (*Ficus elastica*) showing more than three interferences.

[Return to text.](#)



Fig. 6. Recently planted pine trees in a 50 cm wide median located in a high traffic area.

[Return to text.](#)



Fig. 7. An example of severe wound damage. The inventory found 1827 wounds in 1261 trees; more than one wound per tree. Six hundred and seventy-one wounds were classified as severe.

[Return to text.](#)



Fig. 8. *Ficus benjamina* tree planted in a small cut in a wide sidewalk, but too close to the curb.

[Return to text.](#)

Capítulo 5. Estudio preliminar (publicado)

Alicia Chacalo Hillu y Rafael Fernández Nava. 1995.
Los Árboles Nativos e Introducidos Utilizados
en la Reforestación de la Ciudad de México.
Revista Ciencia, 46:383-393.

CIENCIA

Revista de la Academia de la Investigación Científica



Treinta años de
Biomedicina en México

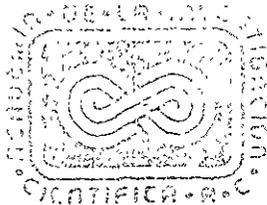
Permisos para colectores
científicos de flora
y fauna

Sobre la conservación
de la carne fresca

Adaptación del pitayo
a la aridez

La Ciudad de México
y su reforestación

La biotecnología actual:
una revisión



Fundada en 1959

Consejo Directivo 1994-1995

Presidente

Mauricio Fortes

Vicepresidente

Juan Ramón de la Fuente

Secretarios

Linda Manzanilla

Rubén Barrera

Tesorero

Saúl Villa

Ave San Jerónimo 260, Jardines del Pedregal

04500 México, D F

Tels 550 7133, 550 3906

Revista Ciencia

Oficina Academia de la Investigación Científica A.C.

Ave San Jerónimo 260, Jardines del Pedregal 04500 México, D.F.

Tel 550 4128, 550 0807, Fax 550 6288

Correspondencia Apartado Postal 69-592, Coyoacán, 04160 México D.F.

ISSN 0185 075X

CIENCIA

Revista de la
Academia de la Investigación Científica

Vol 46, núm 3

septiembre, 1995

SUMARIO

De interés general

- La biomedicina en México: 1958-1988
Hugo Aréchiga 313-328
- Permisos de investigación y de colector científico de flora y fauna silvestres
Fernando A Cervantes, Consuelo Lorenzo y Bernardo Villa-Ramírez 329-334

Síntesis de investigación

- Uso del bagacillo para elaboración de aglomerados
Roberto Avilés Ortiz, Rodolfo López Bailón, Teodoro Castrejón Rosales, Urbano Aguilar Miranda, Alberto Álvarez Castillo y Víctor Manuel Castaños Meneses 335-338
- Estrategias fisiológicas y reproductivas de adaptación del pitayo a la aridez
Eulogio Pimienta Barrios, Celia Robles Murguía y Alejandro Domínguez de la Torre 339-349
- Efectos químicos y microbiológicos de la aplicación de atmósferas modificadas en la conservación de la carne fresca
Isabel Guerrero Legorreta y Paulina Lara Calderón 350-369
- Los gránulos corticales: el bloqueo a la polispermia en mamíferos
Héctor Flores Herrera 371-381
- Los árboles nativos e introducidos utilizados en la reforestación de la Ciudad de México
Alicia Chacalo Hilu y Rafael Fernández Nava 383-393
- La biotecnología actual
Ma Josefa Freiría Gándara y Ma del Carmen Freiría Gándara 394-415

Artículos especializados

- Sistemas de extracción líquido-líquido del Indio (III) en medios concentrados
Mario Ávila Rodríguez 417-430
- Respuesta evocada de origen vestibular producida por aceleración en humanos
Caupolicán Muñoz Gamboa y Joel Jiménez Cruz 431-441
- La ingeniería molecular de los nuevos materiales catalíticos microporosos
José Manuel Domínguez Esquivel 442-457

Los árboles nativos e introducidos utilizados en la reforestación de la Ciudad de México

Alicia Chacalo Hilu
y Rafael Fernández Nava

RESUMEN

Localizada en una zona intertropical, la Ciudad de México permite el crecimiento de una gran variedad de árboles. Se presentan especies de zonas templadas combinadas con otras de zonas tropicales y con especies exóticas de varios continentes. En un análisis efectuado sobre el origen de los árboles utilizados para la reforestación urbana, se observa que el 70% de las especies utilizadas son introducidas y tan sólo 30% de ellas son

especies nativas. Esta situación motivó un análisis detallado sobre las ventajas y desventajas de utilizar unas u otras para la reforestación urbana y periurbana. Se pretende introducir el "origen" de la especie como un criterio importante a considerar durante la selección de especies para la reforestación. Por último, se sugieren nuevas alternativas para la selección de espacios.

Recibido el 13 de abril de 1994
Aceptado el 26 de julio de 1994

Alicia Chacalo Hilu es Bióloga egresada de la UAM-Iztapalapa, realizó estudios de Maestría en Manejo de Recursos Forestales en la U. de Laval, Quebec, Es profesora investigadora de la UAM-Azcapotzalco desde 1981. Autora de diversos artículos y libros; ha impartido más de cincuenta cursos en la carrera de Ingeniería Ambiental y en el Diplomado de Arquitectura del Paisaje. Actualmente realiza el Doctorado en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Es miembro del SNI desde 1991.

Rafael Fernández Nava es Biólogo egresado de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN (1980). Doctorado en Biología por la misma institución. Es profesor-investigador y jefe del laboratorio de Botánica Fanerogámica y curador del herbario ENCB-IPN. Ha participado en varios proyectos de investigación sobre Flora mexicana; ha presentado más de 50 trabajos en congresos nacionales e internacionales. Ha publicado más de 20 trabajos en su especialidad. Es miembro del SNI desde 1990.

INTRODUCCIÓN

Por su ubicación geográfica y sus características climáticas, la Ciudad de México permite el desarrollo y aclimatación de diferentes especies que provienen, tanto de climas fríos y templados, como tropicales. Cohabitan géneros originarios del norte de nuestro continente como los encinos, cedros, olmos y pinos, con aquellos árboles de zonas tropicales como el hule, el laurel de la India, la jacaranda y las palmeras.

La selección apropiada de una especie de árbol para un sitio en particular, es una de las decisiones más importantes que aseguran beneficios a largo plazo, belleza y satisfacción. Las ciudades que cuentan con un plan de dasonomía urbana adecuado, que enfatiza el aspecto de la selección de especies, ahorran problemas y en consecuencia, costos.

Hay varios criterios a considerar durante el proceso de selección de las especies para la plantación; el primer paso, es combinar en forma adecuada, como ya lo mencionamos, la especie arbórea y el sitio que va a ocupar. Existe una extensa gama de posibilidades para elegir las especies, ya sean siempre verdes o caducifolias, arbóreas o arbustivas, nativas o introducidas, de rápido o lento crecimiento, ¿cómo decidir? Los aspectos prioritarios, están estrechamente relacionados con la supervivencia del árbol y su desarrollo saludable; una vez resueltos, podemos definir otras características como su función en el paisaje o su aspecto estético. En ocasiones se debe llegar a un término medio entre las metas funcionales y las limitaciones del sitio (Sharon, 1991). Las campañas de reforestación llevadas a cabo en los últimos años en la ciudad de México, han tenido problemas de planeación y diseño debidos, en su mayoría, a que no se ajustan a los criterios de selección señalados con anterioridad y cuyas repercusiones se discutirán más adelante. Este artículo, por tanto, pretende hacer un análisis de las ventajas y desventajas que se presentan al utilizar especies nativas o introducidas, además de proporcionar algunos puntos de vista que lo fundamentan; las condiciones más favorables para su utilización y la situación que prevalece en la Ciudad de México en relación a la selección de especies. Por último, se sugieren algunas recomendaciones para la reforestación urbana.

I. ANTECEDENTES

A principios de este siglo, el Ingeniero Miguel Angel de Quevedo fomentó las plantaciones masivas de especies introducidas como los eucaliptos, casuarinas, acacias y tamarix, con el propósito de ampliar las áreas verdes. La razón de la utilización de especies exóticas en lugar de las nativas, se debió principalmente a la escasa disponibilidad de éstas que se adaptaran a las nuevas condiciones ambientales. En un principio se intentó reforestar con pinos, oyameles, encinos, ailes, fresnos y cedros, pero como Quevedo apuntó:

“hay dificultad para propagar árboles que antiguamente poblaban estos terrenos (al

referirse a los lomeríos de Santa Fe en Cuajimalpa), como lo eran el *Pinus patula* y el *P. montezumae*, los encinos y los cedros de los que había restos de bosques en Cuajimalpa y La Venta. El medio natural se alteró por la deforestación”.

El proceso de desertificación se aceleró y no prosperaron ni las especies rústicas. Durante un viaje que el Ing. Quevedo realizó por Argelia, encontró condiciones climáticas parecidas en ambos países, por lo que trajo consigo una gran cantidad de semillas de acacias, eucaliptos, pinos y tamarix (Tabla I). A su regreso a México, estableció diversos viveros y estaciones forestales para la propagación de estas especies. (Quevedo, 1932, En: Martínez, 1991).

Entre los autores que han elaborado trabajos sobre la flora urbana de la ciudad de México, se encuentran Rapoport y col (1983), quienes encontraron que el 70% de la flora que prospera en calles y baldíos es nativa y el 30% de las especies son introducidas. Más adelante en un artículo sobre los árboles cultivados (López Moreno y Betancourt, 1991), descubrieron que de las 51 especies registradas, el 37% corresponde a especies nativas de México y el 63% restante a especies introducidas.

Otro investigador (Macías, 1987), registró una gran variedad de especies utilizadas en la reforestación de la Ciudad de México. De acuerdo con Martínez (1989): “casi todas las especies re-presentadas en la mayoría de las delegaciones políticas son las que más intensivamente se plantan en la Ciudad de México, lo que evidencia el reducido número de especies que se propagan en viveros oficiales y particulares y lo que es peor aún, el hecho de que casi todas son especies introducidas, con el consecuente desplazamiento de las especies nativas, lo que ocasiona cambios en las interrelaciones de las especies vegetales con las animales, un decremento en la diversidad de los ecosistemas y un cambio irreversible en la vida de la comunidad”.

En un estudio realizado por Cruz Cisneros (1989), se encontró que la mayor proporción de árboles plantados en esta ciudad, provienen de zonas templadas ubicadas en latitudes mucho más al norte, “por lo que las condiciones ecológicas en las que evolucionaron son diferentes a las del Valle de México”.

Asimismo Chacalo (1991) y Chacalo y col (1994), registraron la utilización indiscriminada de especies, tanto de árboles nativos como introducidos y encontraron que esta diversidad es relativa ya que las especies dominantes se utilizan con alta frecuencia y las demás se encuentran representadas, en ocasiones, por un sólo individuo.

En relación a las especies, el pirul, árbol frecuente en la flora urbana, nativo del Perú e introducido en el siglo XVI por el virrey Antonio de Mendoza (Vázquez y Orozco, 1989; Corkidi y col, 1991) se encuentra en el presente, ampliamente distribuido por todo el altiplano mexicano. Vázquez y Orozco (1989) señalaron: "Es posible que esta planta haya sido en parte la responsable de

la desaparición de la flora arbórea nativa de estas regiones, ya que sus semillas son eficientemente dispersadas por algunas aves migratorias. Al germinar y establecerse, el pirú acaba sustituyendo al árbol en cuya base germinó".

Otro ejemplo notable de árbol introducido es la jacaranda (Fig 1), traída de Brasil a principios de siglo e introducida primero en Veracruz, por el gobernador Teodoro A. Dehesa. De Veracruz pasó a la ciudad de México, en donde fue ampliamente plantada (Martínez y Chacalo, 1994). Actualmente es uno de los árboles que mejor representan el paisaje urbano.

El trueno, el pino radiata, el ciprés italiano, el hule y el laurel de la India, entre otros, son algunas especies de árboles introducidas con las que

Tabla I

Árboles traídos a la ciudad de México y al país en diferentes épocas de la historia.

AZTECAS	ESPAÑOLES	QUEVEDO
<i>Abies religiosa</i> oyamel	<i>Prunus malus</i> manzana (Europa)	<i>Acacia</i> sp acacias (Australia)
<i>Taxodium mucronatum</i> ahuehuete	<i>Populus</i> sp álamo temblon (Europa)	<i>Eucalyptus</i> sp eucaliptos (Australia)
<i>Crataegus mexicana</i> tejocote	<i>Olea europaea</i> olivo y aceituna (Mediterráneo)	<i>Casuarina equisetifolia</i> casuarina (Australia)
<i>Chiranthodendron pentadactylon</i> flor de manita	<i>Pyrus communis</i> pera (Asia, Europa)	<i>Tamarix</i> sp tamarix (Asia, China Corea y Japón)
<i>Erythrina coralloides</i> colorín	<i>Prunus persica</i> durazno (China)	<i>Populus deltoides</i> álamo de Canadá (Canadá)
<i>Liquidámbar styraciflua</i> liquidambar	<i>Morus</i> sp morera blanca (China)	<i>Platanus X hybrida</i> sicomoro (Europa y Estados Unidos)
<i>Prunus serotina</i> capulín	<i>Ficus carica</i> higuera (Asia)	<i>Araucaria heterophylla</i> araucaria (Australia)
<i>Salix bonplandiana</i> ahuejote	<i>Schinus molle</i> pirú (Perú)	<i>Ginkgo biloba</i> gingo (Asia)
<i>Alnus acuminata</i> aile	<i>Citrus sinensis</i> naranja (Asia)	
<i>Cupressus lindleyi</i> ciprés	<i>Ligustrum lucidum</i> trueno (Asia)	
<i>Pinus</i> sp pinos	<i>Phoenix canariensis</i> palma canaria (Islas Canarias)	
<i>Acer negundo</i> negundo, acezintle	<i>Eucalyptus globulus</i> eucalipto (Australia)	
<i>Eysenhardtia polystachya</i> palo dulce		

Fuente: Modificado de Martínez, 1992

Tabla II

Especies utilizadas en la reforestación de la ciudad de México y su lugar de origen.

Nombre común	Nombre científico	Nativa (N)/ Introducida (I)	Origen
ahuehuate, sabino	<i>Taxodium mucronatum</i>	N	EUA, México y Guatemala
colorín	<i>Erythrina coralloides</i>	N	México
trueno, troenc	<i>Ligustrum lucidum</i>	I	China, Corea y Japón
fresno	<i>Fraxinus uhdei</i>	N	México
eucalipto	<i>Eucaliptus camaldulensis</i>	I	Australia
eucalipto	<i>Eucaliptus globulus</i>	I	Australia
pirul	<i>Schinus molle</i>	I	Perú
liquidámbar	<i>Liquidambar styraciflua</i>	N	Norteamérica
encino	<i>Quercus rugosa</i>	N	México, E.U.A.
tepozán	<i>Buddleia cordata</i>	N	México, Guatemala
álamo, chopo	<i>Populus deltoides</i>	I	Norteamérica
álamo blanco	<i>Populus alba</i>	I	O Mediterráneo O y E Europa y Asia
casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>	I	Australia
aile	<i>Alnus acuminata</i>	N	México
sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	I	N China
cedro	<i>Cupressus lindleyi</i>	N	México, Guatemala
ciprés italiano	<i>Cupressus sempervirens</i>	I	Mediterráneo
pino radiata	<i>Pinus radiata</i>	I	California
pino	<i>Pinus michoacana</i>	N	México
hule	<i>Ficus elastica</i>	I	Asia tropical
laurel de la india	<i>Ficus retusa</i>	I	Región Indo-Malaya
capulín	<i>Prunus serotina</i> <i>ssp capuli</i>	N	Norteamérica
palmera	<i>Phoenix canariensis</i>	I	Islas Canarias
negundo	<i>Acer negundo</i>	N	Norteamérica

estamos muy familiarizados en esta zona metropolitana (Sanders, 1981), comentó que al realizarse las plantaciones se utiliza una gran variedad de especies apropiadas, pero con el paso del tiempo, sólo permanecen unas cuantas debido a la remoción de las no viables o indeseables, las que sobreviven, sumamente vulnerables a condiciones ambientales inciertas. Por tanto, esta diversidad de árboles que se plantan inicialmente, disminuye en forma notable con el paso del tiempo.

II. LA SELECCIÓN DE LAS ESPECIES EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Las referencias indican que la introducción de especies se relaciona favorablemente con el avance del proceso de urbanización y el incremento de la red de caminos, esto es, hay un aumento en el número de especies introducidas (Ezcurra, 1976). En esta ciudad, se han plantado una gran variedad de árboles de diferentes orígenes y características (Tabla II), la mayoría de las plantas que se utilizan en la reforestación son de origen europeo, asiático y norteamericano

Tabla III
Especies producidas en el vivero Nezahualcóyotl en 1991.

Nombre común	Nombre científico	Origen
acacia	<i>Acacia retinodes</i>	I
ahuehuete	<i>Taxodium mucronatum</i>	M
ahuejote	<i>Salix bonplandiana</i>	N
aile	<i>Alnus firmifolia</i>	N
álamo	<i>Populus canadensis</i>	I
álamo temblón	<i>Populus heterophylla</i>	I
árbol del cielo	<i>Ailanthus altissima</i>	I
casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>	I
cedro blanco	<i>Cupressus lindleyi</i>	N
ciprés	<i>Cupressus pyramidalis</i>	I
corpuscularia	<i>Corpuscularia algoense</i>	I
encino	<i>Quercus sp.</i>	N,M,I
eucalipto camaldulensis	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	I
eucalipto cinerea	<i>Eucalyptus cinerea</i>	I
eucalipto citriodora	<i>Eucalyptus citriodora</i>	I
eucalipto globulus	<i>Eucalyptus globulus</i>	I
fresno	<i>Fraxinus americana</i>	I
jacaranda	<i>Jacaranda mimosaeifolia</i>	I
liquidámbar	<i>Liquidambar styraciflua</i>	M
negundo	<i>Acer negundo</i>	N
olmo chino	<i>Ulmus parviflora</i>	I
palma datilera	<i>Phoenix dactylifera</i>	I
pino ayacahuite	<i>Pinus ayacahuite</i>	N
pino brutia	<i>Pinus brutia</i>	I
pino cembroides	<i>Pinus cembroides</i>	M
pino cooperii	<i>Pinus cooperi</i>	I
pino engelmannii	<i>Pinus engelmannii</i>	M
pino greggii	<i>Pinus greggii</i>	N
pino hartweghii	<i>Pinus hartweghii</i>	N
pino johanis	<i>Pinus johanis</i>	I
pino maximartinezii	<i>Pinus maximartinezii</i>	M
pino michoacana	<i>Pinus michoacana</i>	M
pino montezumae	<i>Pinus montezumae</i>	N

pino patula	<i>Pinus patula</i>	M
pino pseudostrobus	<i>Pinus pseudostrobus</i>	N
pino rudis	<i>Pinus rudis</i>	M
platanus	<i>Platanus acerifolia</i>	I
retama	<i>Robinia pseudo coccia</i>	I
sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	I
senecio	<i>Senecio praecox</i>	N
troeno	<i>Ligustrum lucidum</i>	I
capulín	<i>Prunus capuli</i>	N
ciruelo	<i>Prunus domestica</i>	I
durazno	<i>Prunus persicae</i>	I
higuera	<i>Ficus carica</i>	I
membrillo	<i>Cydonia oblonga</i>	I
olivo	<i>Olea europaea</i>	I
peral	<i>Pyrus communis</i>	I
tejocote	<i>Crataegus mexicana</i>	N

Fuente: Modificado de COCODER,1992. I = introducidas; N= Nativas del Valle de México; M = Nativas de México.
Total introducidas = 30
Total nativas = 14
Total México = 08
TOTAL = 52



Fig. 1. Fresno (*Fraxinus uhdei*) árbol nativo del Valle de México se ha visto muy afectado por el ataque de plagas.

Sánchez y col (1979), mencionan que para el proyecto de reforestación del Distrito Federal de 1978, se impuso una cuidadosa selección de especies. Los criterios que se utilizaron para esta elección fueron, en primer lugar, la utilización de especies que se desarrollaran en forma natural en las áreas designadas y en segundo, se escogieron aquellas que siendo introducidas, fue comprobada su efectividad en plantaciones o reforestaciones efectuadas en años anteriores, en áreas similares.

Actualmente como señala Cruz (1989), las causas por las cuales las especies han sido seleccionadas son: imitación del modelo de arbolado de zonas templadas, disposición de estas especies en los viveros y falta de conocimiento sobre especies nativas apropiadas para el Valle de México.

Con base en algunas entrevistas realizadas al personal que labora en las instituciones gubernamentales responsables de la producción de árboles, constatamos que hacen falta criterios científicos y académicos durante el proceso de selección de especies a producir o plantar; imperan los aspectos prácticos y la necesidad de cumplir metas cuantitativas sin considerar los aspectos cualitativos. En ocasiones, el personal que trabaja en estas instituciones no cuenta con los conocimientos adecuados, a pesar de que los árboles provienen de sus viveros. Por ejemplo, la reciente plantación de eucaliptos a la entrada de la carretera de Cuernavaca, o bien el caso del Ajusco medio, son lugares donde existe una vegetación natural rica en especies que pueden ser aprovechadas para reforestar estas zonas, y en las que, al contrario, se han utilizado especies introducidas.

A partir de un análisis de las especies producidas en el vivero Netzahualcóyotl (COCODER, 1992), se puede observar que del total de árboles producidos en 1991, más del 70% son introducidos y menos de 30% son nativos (Tabla III). Estas cifras muestran que las especies nativas del Valle de México, no han contado como un criterio determinante para la selección. Más aún, el personal de estas instituciones gubernamentales reconoce que la producción de árboles se basa en criterios de cantidad y sólo recientemente hay una mayor preocupación por la calidad.

III. ESPECIES NATIVAS VS ESPECIES INTRODUCIDAS

Antes de profundizar en el análisis de esta controversia, quisiéramos señalar que en este trabajo se consideran especies nativas a aquellas que crecen en una región sin haber sido propagadas o introducidas por el hombre en forma intencional o accidental. Las especies introducidas, no son nativas de la región donde se encuentran y su presencia se debe a la influencia del hombre.

Es interesante señalar que en México, la mayoría de las personas relacionadas con la plantación de árboles no se pregunta siquiera, si la especie es nativa o exótica. En general, cuando se suscita la discusión sobre la utilización de una u otra, el argumento que priva es plantar lo que sea, lo único importante es que sobreviva en las condiciones en que se plantó, sin considerar por supuesto, la conveniencia de utilizar determinada especie.

A partir del análisis de los árboles nativos e introducidos utilizados en las campañas de reforestación, podemos mencionar algunos criterios importantes a considerar durante el proceso de selección. Las especies nativas, permiten reconocer las singularidades del paisaje urbano de una determinada localidad. Al ser especies adaptadas para vivir en las condiciones ambientales en que se encuentran; su presencia en el lugar es el resultado de muchos años de evolución. En el Valle de México existe una gran diversidad arborea natural. En los trabajos de Rzedowski y Rzedowski (1979, 1985, 1990), se mencionan alrededor de 80 especies de árboles que prosperan en el Valle de México (Tabla IV), que prácticamente no se propagan en los viveros gubernamentales y cuando se llegan a propagar, son escasas, como lo muestra la Tabla III.

Cuando se plantan las mismas especies que ya existían en un área determinada, se está tratando de imitar a la naturaleza. Esto es en realidad, una verdadera recuperación ecológica y no sólo un trabajo de jardinería o de reforestación. Sin embargo, hay que considerar que estas plantas son más vulnerables a las plagas, según lo publicaron Pazos (1985) y Rapoport y col (1983), Figs 1 y 2. Rapoport (1979), señala que muchas plantas son inocuas en su lugar de origen y aumentan su agresividad al ser introducidas en un

Tabla IV
Especies nativas arbóreas que prosperan en el Valle de México.

GYMNOSPERMAS	<i>Q. laeta</i>
CUPRESSACEAE	<i>Q. laurina</i>
<i>Cupressus benthamii</i>	<i>Q. mexicana</i>
<i>C. lindleyi</i>	<i>Q. obtusata</i>
<i>Juniperus deppeana</i>	<i>Q. potosina</i>
<i>J. flaccida</i>	<i>Q. rugosa</i>
<i>J. monticola</i>	<i>Casimiroa edulis</i>
PINACEAE	SABIACEAE
<i>Abies religiosa</i>	<i>Meliosma dentata</i>
<i>Pinus ayacahuite</i>	SALICACEAE
<i>P. hartwegii</i>	<i>Populus fremontii</i>
<i>P. leiophylla</i>	<i>P. tremuloides</i>
<i>P. montezumae</i>	<i>Salix bonplandiana</i>
<i>P. patula</i>	<i>S. cana</i>
<i>P. pseudostrobus</i>	<i>S. mexicana</i>
<i>P. rudis</i>	<i>S. oxilepis</i>
<i>P. teocote</i>	<i>S. paradoxa</i>
<i>Pseudotsuga macrolepis</i>	SAXIFRAGACEAE
TAXODIACEAE	<i>Ribes ciliatum</i>
<i>Taxodium mucronatum</i>	SOLANACEAE
ANGIOSPERMAS	<i>Nicotiana glauca</i>
MONOCOTILEDONEAS	SYMPLOCACEAE
AMARYLLIDACEAE	<i>Symplocos prionophylla</i>
<i>Furcraea bedinghausii</i>	THEACEAE
<i>Yucca filifera</i>	<i>Ternstroemia pringlei</i>
CELASTRACEAE	<i>T. sylvatica</i>
<i>Celastrus pringlei</i>	VERBENACEAE
CLETHRACEAE	<i>Citharexylum affine</i>
<i>Clethra mexicana</i>	LILIACEAE
COMPOSITAE	<i>Nolina parviflora</i>
<i>Montanoa arborescens</i>	DICOTILEDONEAS
<i>M. frutescens</i>	ACERACEAE
ERICACEAE	<i>Acer negundo</i>
<i>Arbutus glandulosa</i>	ANACARDIACEAE
<i>A. zapalensis</i>	<i>Rhus standleyi</i>
FAGACEAE	APOCYNACEAE
<i>Quercus candicans</i>	<i>Thevetia thevetioides</i>
<i>Q. castanea</i>	AQUIFOLIACEAE
<i>Q. crassifolia</i>	<i>Ilex toluicana</i>
<i>Q. crassipes</i>	ARALIACEAE

BETULACEAE	<i>Erythrina coralloides</i>
<i>Alnus arguta</i>	<i>Eysenhardtia polystachya</i>
<i>A. firmifolia</i>	LOGANIACEAE
<i>A. glabrata</i>	<i>Buddleia cordata</i>
<i>A. jorullensis</i>	<i>B. parviflora</i>
BURSERACEAE	MALVACEAE
<i>Bursera cuneata</i>	<i>Phymosia rosea</i>
<i>B. fagaroides</i>	MORACEAE
CAPRIFOLIACEAE	<i>Morus celtidifolia</i>
<i>Sambucus mexicana</i>	OLEACEAE
GARRYACEAE	<i>Fraxinus uhdei</i>
<i>G. laurifolia</i>	RHAMNACEAE
LAURACEAE	<i>Rhamnus mucronata</i>
<i>Litsea glaucescens</i>	ROSACEAE
LEGUMINOSAE	<i>Cercocarpus macrophyllus</i>
<i>Acacia angustissima</i>	<i>Crataegus pubescens</i>
<i>A. schaffneri</i>	RUTACEAE
<i>Cassia tomentosa</i>	

Fuente: Rzedowski y Rzedowski 1979, 1985 y 1990.



Fig. 2. Trueno (*Ligustrum lucidum*), especie introducida de Asia, muy resistente al ataque de plagas en el follaje



Fig. 3. Jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*), árbol de gran valor ornamental, introducido de Brasil, muy utilizado en la reforestación urbana.

nuevo habitat. El carácter agresivo se debe a que estas especies son introducidas como semillas, sin plagas ni depredadores asociados, que en condiciones naturales mantienen a estas poblaciones controladas.

En cuanto a las especies introducidas, podemos señalar que no reflejan una identificación local del paisaje urbano, sino más bien, se utilizan ampliamente por su enorme adaptabilidad a las condiciones de la ciudad o por ser especies de gran valor ornamental (Fig 3). Dado que se ha ensayado poco la adaptación de varias especies nativas a las condiciones urbanas, las especies introducidas se siguen utilizando, además de propagarse intensamente en los viveros. Hay ocasiones en que las especies introducidas tienen ventajas sobre las nativas; esto es claro cuando el suelo está muy deteriorado o hay poco riego. En estas condiciones, especies introducidas como el pirú, el eucalipto o la casuarina, que por no ser de la región, no tienen enemigos naturales, son en consecuencia, más resistentes al ataque de plagas, enfermedades y algunos contaminantes típicos de las grandes urbes. Aunado a estas características, tales especies son de rá-

pido crecimiento (Fig 4), muy útiles para ocultar paisajes desagradables y brindar en poco tiempo una imagen de verdor.

Un ejemplo representativo de esta situación, son los cerros de Indios Verdes (salida norte de la Ciudad de México), donde se sustituyeron las plantas nativas por eucaliptos. El resultado de estas acciones, ha obstaculizado la recuperación de la vegetación natural y las condiciones biológicas y ecológicas anteriores. Se tiene, en cambio, una zona arbórea monogenérica o monoespecífica, donde se ha perdido la diversidad biológica de un bosque natural, con la consiguiente afectación de las condiciones edáficas y climáticas del lugar. Una situación similar ocurre cuando se remplazan especies en las avenidas que tenían un estilo muy bien logrado y definido, desde el punto de vista del diseño del paisaje. Tomemos como ejemplo, el Paseo de la Reforma. Si en esta avenida se quisiera remplazar un árbol, tendría que considerarse los ya existentes para mantener la armonía del paisaje. Al parecer, estos criterios no han sido importantes hasta ahora; prueba de ello es el reciente trébol construido sobre esta avenida en la unión con Constituyentes, en dirección a Toluca. Para realizar esta magna construcción se tuvieron que tirar muchos árboles, sin embargo cuando se terminó y se procedió a la plantación, no se tomaron en cuenta las especies ya existentes para tratar de mantener la homogeneidad del paisaje, no se utilizaron árboles de diversas especies con el fin de respetar el estilo actual, ni tampoco se eligieron especies nativas de los bosques de esta zona, que hubieran dado una imagen de introducción del bosque a la ciudad. Contra todo lo aconsejable, se plantaron grevileas, árboles originarios de Australia, en una zona que colinda con bosques de pinos, cedros, encinos y abetos y que en los camellones del Paseo de la Reforma tenía jacarandas, fresnos, cedros y álamos. Por si fuera poco, los árboles que medían 2.5 m de altura por 10 cm de ancho, fueron plantados en octubre, sin riego, hasta que se secaron. Al cabo de dos años tuvieron que ser removidos. No se explica que en un proyecto que cuenta con recursos, se proceda de esa manera.

En este sentido, coincidimos con Martínez (1991), cuando señala la necesidad de conocer nuestra historia del entorno e interrelacionar al hombre urbano con su cultura ambiental. Tal



Fig. 4. Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), especie introducida de origen Australiano, muy utilizada por ser de rápido crecimiento.

vez entonces, se eviten situaciones como la ocurrida en el Paseo de la Reforma.

Recientemente, al participar en los Congresos Internacionales de Arboricultura y Botánica, se pudo comprobar que existe gran interés internacional por el rescate de la flora nativa, y que países con menor diversidad biológica que el nuestro, hacen gran énfasis al respecto.

IV. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

Con base en los argumentos expuestos, se sugieren las siguientes recomendaciones:

1. Propiciar la propagación de especies nativas en los viveros; sensibilizar a la gente en su utilización y evaluar el resultado de estas acciones en las condiciones urbanas.

2. Proponer la plantación de especies nativas en áreas contiguas a las zonas boscosas de las delegaciones de Cuajimalpa, Coyoacán y Tláhuac.

3. Se sugiere plantar las especies introducidas en lugares donde las condiciones son adversas para las nativas, como por ejemplo, el centro de la Ciudad de México. Se recomienda también restringir la utilización de los eucaliptos y casuarinas y emplearlos exclusivamente en las zonas salobres del este de la ciudad.

4. Para la selección de semillas, los viveros deberán seleccionar árboles vigorosos y en muy buen estado fitosanitario. Esto también implica seleccionar árboles resistentes a algún problema provocado por insectos o enfermedades (por ejemplo) y que pueda ser resuelto a través de la selección de individuos resistentes a dicho problema.

5. Orientar los programas de reforestación no sólo a la formación de masas arbóreas, sino también a la formación de cubiertas vegetales que sigan pasos sucesionales apoyados por el hombre.

6. Se considera primordial la consulta de botánicos expertos en las diferentes familias de plantas superiores. Al hablar con diversos taxónomos, nos dimos cuenta de que existe una gran paleta de posibilidades para comenzar a ensayar nuevas especies y de que existe un consenso general en relación a la falta de incorporación de criterios académico-científicos a la toma de decisiones. Esta ruptura, está propiciando la pobre diversidad arbórea en nuestra ciudad.

7. Un aspecto muy importante es efectuar la identificación taxonómica de las especies que el vivero está propagando. En algunos viveros con capacidad de producir millones de plantas en nuestro país, se desconocen los nombres científicos de las especies que se tienen.

8. Dentro de la flora arbórea nativa del Valle de México, podemos encontrar un buen número de especies útiles para la reforestación urbana.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a las Biólogas Lorena Martínez y Sofía Urbina por la lectura del manuscrito y las atinadas sugerencias y a la Lic. María Emilia González Díaz por la revisión de estilo.

REFERENCIAS

- Chacalo, A. 1991. Aplicación de un Método de Inventario de Árboles Urbanos sobre Algunas Calles de la Delegación Miguel Hidalgo en la Ciudad de México. En: *El Arbolado Urbano de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. Amacalli Editores S.A. México. 135-244 pp.
- Chacalo, A., A. Aidamz, J. Grabinsky. 1994. Street Tree Inventory in Mexico City. In: *Journal of Arboriculture* 20(4):222-226.
- Coñicó, L. S. Caño y A. Burquez. 1991. Dispersión del Pirú (*Schinus molle* L., Anacardiaceae) por aves en Teotihuacán, México. En: *Acta Botánica* 15:17-22.
- Cruz Cisneros, R. 1989. Necesidad de una Adecuación del Arbolado del Área Metropolitana de la Ciudad de México. En: *Ecología Urbana del Área Metropolitana de la Ciudad de México*. Editado por la Sociedad Mexicana de Historia Natural. México. 220 pp.
- Ezcurra, E., E. H. Rapoport., C. R. Marino. 1976. *Polución por especies en la Ciudad de San Carlos de Bariloche Argentina*. Primer Cong. Arg. "La ciudad y su medio ambiente. Asoc. Arg. contra la Cont. del aire:49.
- Lilly, Sh. 1991. *Certification Program. Certified Arborist*. Edited by Dr. Dan Neely. Coordinated by International Society of Arboriculture. U.S.A. 95 pp.
- López-Moreno, I. & M.E. Díaz Betancourt. 1991. Los Árboles de las Calles de la Ciudad de México. En: *El Arbolado Urbano de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. Amacalli Editores S.A. México, 13-84 pp.
- Macías, J.E. 1987. *Plagas de los Árboles de las Áreas Urbanas de la Ciudad de México*. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, I.P.N. México. 171 pp.
- Martínez, L. 1989. *Estudio Descriptivo de los Árboles más Comunes de la Ciudad de México*. Tesis para obtener el título de Biólogo. UNAM: Fac. Ciencias, 268 pp.
- Martínez, L. 1991. Las Áreas Verdes de la Ciudad de México: una Perspectiva Histórica. en: *El Arbolado Urbano de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. Amacalli Editores S.A. México. 281-382 pp.
- Martínez, L. y A. Chacalo. 1994. Los Árboles de la Ciudad de México. 1994. UAM-A. FUNDEA. ADI. FMA. Grupo Editorial Eón. México. 351 pp.
- Pazos, R. R. 1985. *Observaciones sobre la Fauna Entomológica del Arbolado en Calles de la Ciudad de México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM, México. 82 pp.
- Rapoport, E.H. 1979. Transporte y Comercio de Especies Invasoras: un Nuevo concepto de Contaminación. *Ciencia y Desarrollo*. 5(27):24-29.
- Rapoport, E.H., M.E. Díaz-Betancourt, I. López Moreno. 1983. *Aspectos de la Ecología Urbana en la Ciudad de México*. Ed. Limusa, México. 197 pp.
- Rapoport, E.H. & I. López-Moreno (Eds.). 1987. *Aporias a la Ecología Urbana de la Ciudad de México*. Ed. Limusa, México. 228 pp.
- Rzedowski, J. & G. C. Rzedowski. (Eds.), 1979. *Flora fanerogámica del Valle de México*. Vol. I. C.E.C.S.A. México. 403 pp.
- Rzedowski, J. & G. C. Rzedowski. (Eds.), 1985. *Flora fanerogámica del Valle de México*. Vol. II. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas e Instituto de Ecología. México. 674 pp.
- Rzedowski, J. & G. C. Rzedowski. (Eds.), 1990. *Flora fanerogámica del Valle de México*. Vol. III. Instituto de Ecología. México. 494 pp.
- Sánchez, L., E. Beltrán, A. Sierra Pineda, R. Garduño y O. Yañez. 1979. *La reforestación en el Distrito Federal*. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables A.C. México. 60 pp.
- Sanders, R.A. 1981. Diversity in the street trees of Syracuse. *New York Urban Ecol.* 5:33-43.
- Vázquez, Yanez C. y A. Orozco S. 1989. *La Destrucción de la Naturaleza*. Colección la Ciencia desde México, no. 83. Fondo de cultura económica. México. 104 pp.

ABSTRACT

A wide variety of trees with different origins and characteristics have been planted in Mexico City. In order to guarantee long term benefits, beauty and satisfaction, one must select the appropriate species of trees for a specific place. Among the various aspects to be considered in the process of species selection, this study will analyze the advantages and disadvantages of the use of native vs. introduced species, the points of view that support them; when it is better to use one or the other and what is the situation in Mexico City with this respect. Lastly, some species for urban reforestation are suggested.

Capítulo 6. Artículo del Proyecto Doctoral (publicado)

Chacalo A., G. Watson, R. Bye, V. Ordaz,

A. Aidama and H. J. Vázquez. 2000.

Root Growth of *Quercus crassifolia*, *Quercus crassipes* and
Fraxinus uhdei in Two Different Urban Soil Types.

Journal of Arboriculture 26(1):30-37.

JOURNAL OF ARBORICULTURE

Volume 26, No. 1, January 2000

Published by the

International Society of Arboriculture

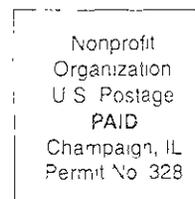
Champaign, Illinois, USA

Journal of Arboriculture
Volume 26: Number 1, January 2000

CONTENTS

R B PEARCE Decay Development and Its Restriction in Trees	1
K PAUL BECKETT, PETER FREER-SMITH, and GAIL TAYLOR Effective Tree Species for Local Air-Quality Management	12
T DAVIS SYDNOR, DAVID GAMSTETTER, JOAN NICHOLS, BERT BISHOP, JAMMIE FAVORITE, CHERELLE BLAZER, and LESLIE TURPIN Trees Are Not the Root of Sidewalk Problems	20
ALICIA CHACALO, GARY WATSON, ROBERT BYE, VICTOR ORDAZ, ALEJANDRO ALDAMA, and HECTOR JAVIER VAZQUEZ Root Growth of <i>Quercus crassifolia</i> , <i>Q. crassipes</i> , and <i>Fraxinus uhdei</i> in 2 Different Soil Types	30
KAREN D DOHERTY, H DENNIS P RYAN, and DAVID V BLONIAZ Tree Wardens and Utility Arborists: A Management Team, Working for Street Trees in Massachusetts	38
HENRY D GERHOLD Crabapple Cultivars Tested as Street Trees: Second Report	48
HENRY D GERHOLD Callery Pear Cultivars Tested as Street Trees: Second Report	55
AREA Forum	60
Book Review	64
Arboricultural Abstracts	65

International Society of Arboriculture
P.O. Box 3129
Champaign, IL 61826-3129



ROOT GROWTH OF *QUERCUS CRASSIFOLIA*, *Q. CRASSIPES*, AND *FRAXINUS UHDEI* IN 2 DIFFERENT SOIL TYPES

by Alicia Chacalo¹, Gary Watson², Robert Bye³, Victor Ordaz⁴,
Alejandro Aidama⁵, and Hector Javier Vázquez⁵

Abstract. Seedlings of selected tree species were grown in small benchtop rhizotrons filled with fine- and coarse-textured soils representing 2 different urban edaphic conditions in Mexico City. Bulk density was significantly higher and porosity was significantly lower in the coarse-textured soil. The maximum depth of root penetration visible behind the glass was significantly greater in the fine-textured soil for each of the 3 species after 5 months. Roots of *Fraxinus uhdei* penetrated deeper than roots of both *Quercus crassipes* and *Q. crassifolia* in both soils. *Fraxinus uhdei* root and shoot dry weight were significantly reduced in coarse-textured soil compared to the fine-textured soil, but both *Quercus* species were unaffected by soil type. In the fine-textured soil, *F. uhdei* root and shoot dry weight was significantly greater than both *Quercus* species, but not in the coarse-textured soil. At the end of the study, *F. uhdei* growing in fine-textured soil were taller than *F. uhdei* growing in coarse-textured soil and taller than both *Quercus* species in both soils, though the difference took 6 weeks longer to develop in the coarse-textured soil.

Key Words. *Fraxinus uhdei*; *Quercus crassifolia*; *Q. crassipes*; rhizotron; urban soil; texture.

Growing conditions in urban landscapes often limit the number of species that can be grown successfully. Those that are the most successful can usually tolerate a broad range of growing conditions (Ware 1993). Poor species diversity exists in many cities around the world (Bueno 1996; Gilman et al. 1996; Gilman 1997; Nilsson et al. 1998). A tree inventory in Mexico City, showed that 72% of all the trees in the city consisted of only 9 species (7 genera). Nineteen percent of the street trees were of a single species, *Fraxinus uhdei* (Chacalo et al. 1994).

Several challenges are faced when growing urban trees in Mexico City. Air pollution is high because the city is surrounded by mountains at an altitude of 2,240 m (7,350 ft) above sea level. Rainfall occurs primarily between May and October. However, regional environmental factors are not the primary rea-

son for such poor species diversity along the streets. The very dense and rapidly growing population often results in poor-quality planting sites and extreme people-pressure on trees. The variable quality of urban sites, lack of proper tree care, difficulty of producing some species in the nursery, and lack of knowledge about seldom-used species are also factors that limit the use of desirable trees in urban landscapes (González 1993; Romero 1993; Ware 1993; Chacalo and Fernández 1995, Gilman et al. 1996; Gilman 1997).

High diversity of native tree species exists in Mexico. More than 75 different species of trees are native to the region around Mexico City, including 27 *Quercus* species. One-hundred fifty of the 500 species of *Quercus* known worldwide are native to the country (Rzedowski and Rzedowski 1979, Nixon 1993; Romero 1993, Bonfil 1998), of which 64% are endemic (Nixon 1993).

Urban soil conditions can severely limit plant growth (Barnes et al. 1971; Craul 1992; Kozłowski 1998). A recent inventory of street trees demonstrated that site limitations related to limitations in the soil environment are present in Mexico City (Chacalo et al. 1997). The lack of information about root growth characteristics of native Mexican tree species in the local urban soils suggested the need for a study on root development. Rhizotrons were chosen over other methods because they allow repeated nondestructive root observation. This method has been used extensively in agriculture but seldom in arboriculture. Rhizotrons vary in size, construction, and operation (Böhm 1979).

The main objectives of this study were 1) to evaluate the use of small benchtop rhizotrons as a system for simulating urban soil conditions and monitoring the resulting changes in root growth, 2) to compare the penetration and total dry weight of

the roots of 2 *Quercus* species seldom used as urban trees in Mexico City compared to the most common street tree, *F. uhdei*, and, 3) to determine whether the types of soils occurring in Mexico City can limit root growth of trees.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted between August 1996 and March 1997 at Colegio de Posgraduados (Montecillo, State of Mexico, east of Mexico City). The interior dimensions of the rhizotrons used in this study were 40 × 70 × 5.5 cm (front to back) (15.8 × 27.6 × 2.2 in.). The wooden box of the rhizotron was painted with an oil-based outdoor enamel to protect it from water damage. A grid 5 × 5 cm (2 × 2 in.) was painted on the removable glass side held in place by an aluminum frame. To keep light from influencing the root growth, the edges of the glass were covered with aluminum tape and the glass front was covered with thick aluminum foil. The rhizotrons were held at a 30-degree angle on benches throughout the experiment to encourage the roots to grow against the glass. The rhizotrons were arranged in a randomized design.

The rhizotrons were kept in a large shelter designed for growing plants. A translucent roof provided filtered sunlight. Wall panels could be raised or lowered for ventilation. Air temperature near the rhizotrons was monitored throughout the experiment. Daily temperature fluctuations were approximately 35°C (95°F). A maximum average daytime temperature of 42°C (107.6°F) was reached in October, and minimum overnight average temperature of -2°C (28.4°F) occurred in January. These temperatures were higher than outdoor temperatures during the day and similar to outdoor temperatures during the night.

The soils were prepared and installed in the rhizotrons during August and September 1996. Coarse- and fine-textured soils were collected from urban sites and represented 2 different types of urban soils found in Mexico City. The coarse-textured soil was a loamy sand and the fine-textured soil was a clay loam. Analysis showed that nutrients levels were within acceptable ranges for both soil types (Table 1).

The soil was sieved 3 times through a 2-mm (0.1 in.) mesh and then fumigated with methyl bromide for 5 days. Each empty rhizotron was weighed

Table 1. Analyses of the fine- and the coarse-textured soils used in the rhizotrons.

	Soil type	
	Coarse	Fine
pH (1:2, H ₂ O)	6.70	6.90
Cation exchange (dS/m)	2.98	0.49
Organic matter (%)	2.44	3.38
N total (%)	0.13	0.21
P ₂ O ₅ (Bray P-1, ppm)	22.96	18.16
Exchangeable cations		
Ca ⁺⁺ (cmol/kg)	12.10	16.80
Mg ⁺⁺ (cmol/kg)	3.86	5.63
Na ⁺ (cmol/kg)	0.40	0.54
K ⁺ (cmol/kg)	0.41	0.28
Physical properties		
Sand (%)	60	26
Silt (%)	24	41
Clay (%)	16	33

before adding the soil. To settle the soil, air-dried soil was added slowly and continuously while tipping the rhizotron from side to side and striking it against the ground when returning to center. This method was chosen over tamping the soil surface in order to avoid breaking the glass and creating layers that could interfere with root growth. The rhizotrons were weighed again after filling. The height of the soil was recorded for each rhizotron. Because the volume of soil used was too large to oven dry, samples were oven dried and used to convert air-dry weight to oven-dry weight for bulk density calculations. Average bulk density for the whole rhizotron was estimated by using the total soil weight and volume in the rhizotrons. Attempts were made to measure bulk density variations at different depths in the rhizotrons after the glass was removed at the end of the experiment, but intact cores could not be extracted successfully. Porosity was calculated using the formula: $f = (Bd/d)$ where f = porosity, Bd = bulk density, and d = particle density.

A soil thermometer installed in 1 rhizotron verified that soil temperatures remained above 4°C (39.2°F). The soil in each rhizotron was brought to field capacity before planting with a calculated volume of water delivered by a specially designed drip irrigation system. The number of days required for the wetting front to move all the way to the bottom was recorded. The rhizotrons were maintained near

field capacity during the experiment by adding measured amounts of water based on rhizotron weight loss, using the same drip irrigation system.

The criteria for native species selection included native origin, attractive ornamental features, and wide ecological distribution. Growth of 2 seldom-used species, *Q. crassipes* and *Q. crassifolia*, were compared to *F. uhdei*, the most commonly planted and successful species planted on the streets of Mexico City.

To avoid problems with inconsistent germination, *Quercus* seeds were germinated before transplanting them into the rhizotrons on October 1, 1996. *Fraxinus uhdei* seeds were planted directly into the rhizotrons on October 1 and germination occurred 15 days later. There were 2 plants in each rhizotron. Plants that died during the experiment were not replaced. The plants were grown for 6 months.

Root and shoot growth were recorded weekly. Root growth was traced on the glass with markers, using a different color each week for new growth. Maximum depth of visible root penetration was also recorded weekly. Periodic shoot growth measurements included the total height of the plant when the main stem was held vertically.

The process of removing the plants from the rhizotron began on March 15, 1997. All plants of each species were harvested during the same week. The *F. uhdei* were harvested last because they were the last to germinate.

A nailboard (Bohm 1979) was used to hold the roots in place as the soil was removed. Nail locations corresponded to the line intersections of the 5 × 5 cm grid on the glass. The nails were pressed completely into the soil before turning the nailboard and rhizotron over together, and then removing the wooden back and sides of the rhizotron. The nailboard and soil were soaked together (2 to 3 hours for the clay loam soil, overnight for the loamy sand soil), and then the softened soil was washed away with a gentle stream of water. The depth of maximum penetration of the root system of each plant was recorded. The stems were then cut at the soil line, dried for 24 hours at 80°C (176°F), and then weighed.

The experimental design was a randomized balanced complete factorial (Hicks 1993). Two soils and 3 species were the treatments, with 10 replications of

each combination. Treatment effects were determined by analysis of variance (ANOVA) using Sigma Stat 2.0. Differences among treatment means were separated by the Student-Newman-Keuls (SNK) at $P < 0.05$. All pairwise multiple comparison procedures using the Student Newman Keuls method were applied to raw data. A Student's t-test for independent samples was used to compare values between soils.

RESULTS AND DISCUSSION

Based on overall size and appearance of the plants and their root systems, plant vigor was generally lower in the coarse-textured soil (Figure 1). Five seedlings (17%) in the coarse-textured soil died during the experiment, while none died in the fine-textured soil.

Bulk density of the coarse- and fine-textured soils in the entire rhizotron was 1.20 and 1.01 Mg/m³, respectively. These values are lower than the "ideal soil" and well below the values of 1.70 and 1.46 Mg/m³ that are generally accepted as threshold values for root growth restriction for these soils (Craul 1992). The low particle density of volcanic materials in these soils (P. Kelsey, personal communication 1997) contributes to the low bulk density.

Soil porosity of the coarse-textured soil was significantly lower than the fine-textured soil (47% and 54%, respectively). Coarse-textured soils usually have less pore space than fine-textured soils because of the smaller particle surface area in relation to volume, and closer packing of the particles (Hillel 1980; Craul 1992). Lower porosity can result in slower diffusion of soil gasses and less oxygen for roots, especially in deeper soils. Reduced aeration may have contributed to the reduced plant survival and vigor (Drew and Stolzy 1996; Kozłowski 1998).

During the initial irrigation of the dry soil in the rhizotrons, the wetting front moved significantly more slowly through the coarse-textured soil. Completely wetting the coarse-textured soils took an average of 3.5 days longer. Slower water movement through the coarse-textured soil is an indicator of greater compaction, a decrease in porosity, and loss of pore continuity (Kozłowski 1998).

Depth of Root Penetration

Roots of the 2 *Quercus* species in both soils and the *F. uhdei* in fine-textured soil were visible behind the glass in the majority of the rhizotrons by day 30



Figure 1. *Fraxinus uhdei* root system growing in the coarse-textured (left) and fine-textured (right) soil rhizotrons after 162 days, before the soil was washed away.

(Figure 2). *Fraxinus uhdei* roots growing in coarse-textured soil were not visible behind the glass until day 42 and were more shallow when they became visible.

Quercus crassifolia roots penetrated significantly deeper than *F. uhdei* on days 43 and 55 in both soils; *Quercus crassipes* roots penetrated deeper than *F. uhdei* on day 55 in both soils and on day 43 in the fine-textured soil; there was no difference between *F. uhdei* and *Q. crassipes* on day 43 in the coarse-textured soil.

The more rapid initial root penetration of the *Quercus* roots in both soils may be related to large energy reserves in the seed. Large seeds, such as *Quercus*, often produce strong taproots in the seedling stage (Bonfil 1998). The smaller *F. uhdei* seeds do not produce taproots, and substantial lateral root growth occurs at an early stage (Yorke and Sagar 1970, in Russell 1977).

After day 55, many weeks followed where there was no difference in depth of penetration between species in either soil type (Figure 2). *Fraxinus uhdei* root penetration became significantly deeper than both *Quercus* species in both soils on day 156. At this time, *F. uhdei* roots had penetrated 74% deeper than both oak species in the coarse soil, and 29% and 20% deeper in the fine soil, than *Q. crassifolia* and *Q. crassipes*, respectively. Final depth of visible *F. uhdei* root penetration was significantly greater than both *Quercus* species in both soils (Table 2).

Roots of the *F. uhdei* grew against the glass surface continuously, and there was no difference between visible and actual penetration of *F. uhdei* roots at the end of the experiment (Table 2). The *Quercus* roots grew away from the glass at times and reappeared a few centimeters deeper after a few days. Measurements of root pen-

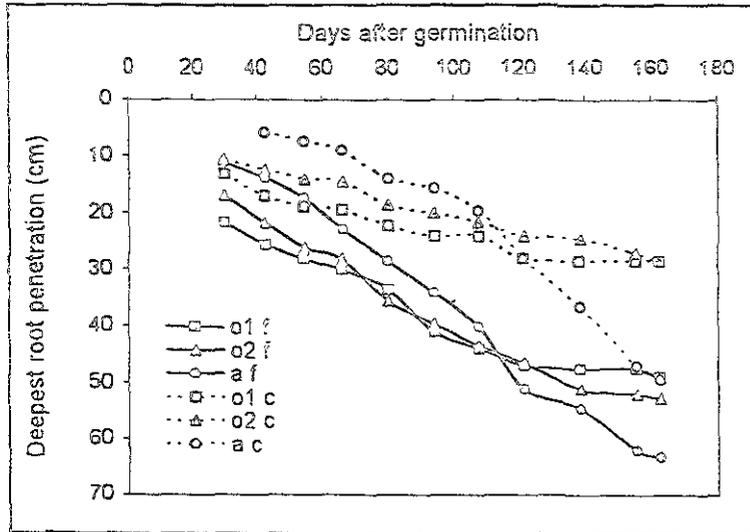


Figure 2. Visible root penetration of *Quercus crassifolia* (o1), *Q. crassipes* (o2), and *Fraxinus uhdei* (a) growing in rhizotrons filled with fine- (f) and coarse- (c) textured soils.

etration obtained when the soil was washed from the roots at the end of the experiment showed that the actual maximum root penetration (Table 2) was significantly deeper (more than 10 cm [3.9 in.]) than visible root penetration for both *Quercus* species in the fine-textured soil and for *Q. crassifolia* in the coarse-textured soil. As a result, actual *F. uhdei* root penetration was not significantly deeper than either *Quercus* species in the fine-textured soil.

Though the differences between visible and real root penetration in the small benchtop rhizotrons were measurable, they were not sufficient to change the overall perception of the vigor and character of the root systems. Such benchtop rhizotrons may be very useful in practical applications where periodic observation and characterization of overall growth of the roots is needed but may have limitations when precise quantification of root systems is needed.

Visible root penetration of all 3 species was significantly reduced by the coarse-textured soil (Table 2). The reduction was probably caused by higher mechanical impedance, lower soil aeration, or both (Alan and Bennie 1991; Craul 1992). The visible roots of both *Quercus* species penetrated to a depth of less than 30 cm (11.8 in.) in the coarse-textured soil, while in the fine-textured soil, the roots of both *Quercus* species penetrated to a depth of approximately 50 cm (19.7 in.). The *F. uhdei* roots penetrated

the coarse-textured soil as effectively as the *Quercus* species were able to penetrate the fine-textured soil (approximately 50 cm). Even greater *F. uhdei* root penetration was recorded in the fine-textured soil. The ability of this species to grow on nearly all urban sites in Mexico City may be related to the ability of the root system to grow vigorously in a wide variety of soils.

Total Root Dry Weight

Fraxinus uhdei root dry weight was significantly greater in fine- than in coarse-textured soil (Table 3). The coarse-textured soil reduced *F. uhdei* total root dry weight more than it reduced maximum depth of penetration (61% versus 21%).

There were no statistically significant differences in *Quercus* root dry weights between soil types (Table 3). A significant reduction (40%) in root penetration of *Quercus* species in the coarse-textured soil (Table 2), without a significant decrease in root dry weight, indicates the roots were growing more densely in the upper soil surface where there was still ample room for root growth of these small plants. The *Quercus* species were much smaller plants than the *F. uhdei*. If the *Quercus* species had grown larger (until the shallow soils became filled to capacity with roots), such a restriction of roots to the shallow

Table 2. Final root penetration in the rhizotrons.

	Soil texture	
	Coarse	Fine
Maximum visible penetration (cm)		
<i>Quercus crassifolia</i>	28.5 a ^{**}	49.0 a
<i>Q. crassipes</i>	28.5 a [*]	52.5 a
<i>Fraxinus uhdei</i>	49.5 b [*]	63.0 b
Actual penetration (cm)		
<i>Quercus crassifolia</i>	40.5 a ^{**}	59.0 a ^f
<i>Q. crassipes</i>	34.0 a [*]	64.0 a ^f
<i>Fraxinus uhdei</i>	49.5 b [*]	62.5 a

^{*}Within each combination of soil type and penetration type, values with the same letter are not significantly different

^fIndicates that root penetration of this species was significantly reduced by coarse soil

^fIndicates that actual root penetration was significantly greater than visible root penetration for this species and soil type

soils may eventually have reduced total root growth, as it appeared to do for the larger *F uhdei* plants.

If the distribution of roots of urban trees is restricted to the surface soil layers, similar to that of *F uhdei* in the coarse-textured rhizotron soils, the trees may still be able to survive, though they may be more stressed, smaller, and shorter lived, primarily because water and element availability are less than optimal (Russell 1977)

Shoot Growth

Shoot dry weight of *F uhdei* was significantly greater in fine-textured soil, but there was no difference in shoot dry weight of either *Quercus* species in the 2 soils (Table 3). There were no significant differences in shoot height prior to

day 80. Starting on day 80 and continuing until the end of the study, *F uhdei* growing in fine-textured soil were taller than *F uhdei* growing in coarse-textured soil. Soil type had no effect on height of either *Quercus* species (Figure 3)

Between day 80 and 135 *Quercus* shoot growth virtually stopped (Figure 3) In the fine-textured soil, *F uhdei* grew significantly taller than *Q. crassifolia* starting on day 80, and taller than *Q. crassipes* starting on day 100. In the coarse-textured soil, *F uhdei* became taller than both *Quercus* species much later, on day 122, due to the slower growth of the *F uhdei* in the coarse-textured soil. Because *F*

Table 3. Total root and shoot dry weight of *Quercus crassifolia*, *Q. crassipes*, and *Fraxinus uhdei* in rhizotrons filled with coarse- and fine-textured soils.

Species	Root dry weight (g)		Shoot dry weight (g)	
	Coarse	Fine	Coarse	Fine
<i>Quercus crassifolia</i>	0.61 a ¹	1.07 a	0.56 a	1.13 a
<i>Q. crassipes</i>	0.60 a	1.48 a	0.60 a	1.09 a
<i>Fraxinus uhdei</i>	2.30 a	5.94 b [*]	3.53 a	9.88 b [*]

¹Values in the same column followed by the same letter are not significantly different ($P < 0.05$) using the Student-Newman-Keuls (SNK) method

^{*}Indicates a significant difference ($P < 0.05$) between growth in fine- and coarse-textured soils using the SNK method.

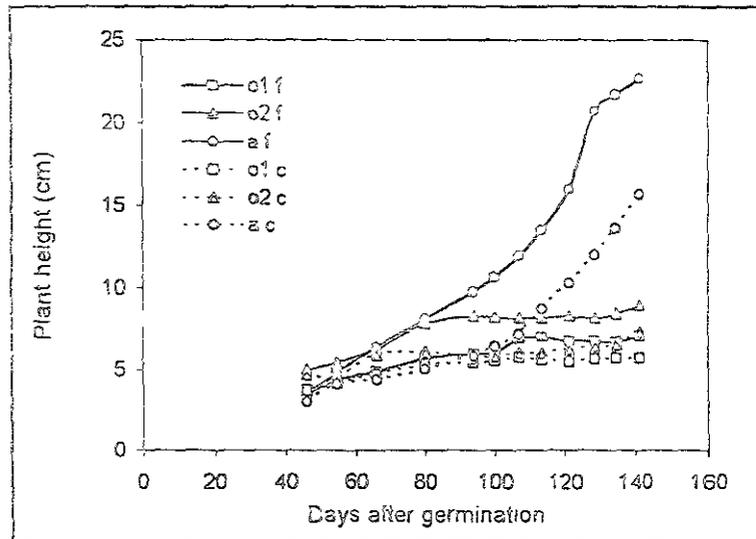


Figure 3. Shoot growth of *Quercus crassifolia* (o1), *Q. crassipes* (o2), and *Fraxinus uhdei* (a) growing in rhizotrons filled with fine- (f) and coarse- (c) textured soils.

uhdei root penetration did not become greater than the *Quercus* until day 156, it appears that shoot growth is not dependent on root penetration alone.

The lack of *Quercus* shoot growth between day 80 and 135 while roots continued to penetrate deeper probably indicates that this was a natural period of slow shoot growth while the root system developed further to support future shoot growth (Bonner and Vozzo 1987; J. Kohashi, personal communication 1998).

CONCLUSIONS

Root responses to the 2 different soil types in this study show that soil conditions similar to those encountered in urban areas can be created in small benchtop rhizotrons. The vigorous growth of the *F uhdei* roots could help to explain why this species is able to grow so readily on nearly all urban sites. Roots of *Q. crassipes* and *Q. crassifolia* penetrated the moderately favorable urban soil represented by the fine-textured soil in this experiment as well as those of *F uhdei* but did not compare as well in the less favorable coarse-textured soil. Based on this data, *Q. crassifolia* and *Q. crassipes* may perform well on some urban sites, but probably not on the most difficult urban sites. The coarse-textured soils of Mexico City may be a substantial cause of poor root growth and low survival of trees in Mexico City. Greater knowledge of soil requirements of native Mexican species

will allow better matching of plant to planting sites in Mexico City and allow a wider variety of new species to be successfully introduced.

LITERATURE CITED

- Alan, T., and P Bennie. 1991. Growth and mechanical impedance, pp 393-414 In Waisel, Y, A Eshel, and U. Kafkafi (Eds). *Plant Roots: The Hidden Half*, 2nd ed. Marcel Dekker, New York, NY 1,003 pp
- Barnes K., W.M. Carleton, H.M. Taylor, R.I Throckmorton, and G.E Vanden Berg. 1971. *Compaction of Agricultural Soils* The American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI 471 pp
- Böhm, W 1979 *Methods of Studying Root Systems* Springer-Verlag, Heidelberg, Germany 190 pp
- Bonfil, C. 1998. The effects of seed size, cotyledon reserves, and herbivory on seedling survival and growth in *Quercus rugosa* and *Q. laurina* (Fagaceae). *Am. J. Bot* 85:79-87.
- Bonner, F.T., and J.A. Vozzo 1987. Seed biology and technology of *Quercus*. General Technical Report. SO-66 USDA Forest Service Southern Forest Experiment Station. New Orleans, LA. 21 pp.
- Bueno Sousa, M.A. 1996. Arborización urbana: la evolución en Brasil. Seminario Internacional de Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo, Gobierno del Estado de México, CORENA. Museo de Antropología, Ciudad de México
- Chacalo, A., A. Aldama, and J Grabinski. 1994. Street tree inventory in Mexico City *J. Arboric.* 20:222-226
- Chacalo, A., J Grabinski, and A. Aldama. 1997 Site limitations for tree growth in Mexico City Proceedings METRIA Ohio State University <http://www.ohio-state.edu/METRIA/Metria9.html>.
- Chacalo, A., and R. Fernández. 1995. Los árboles nativos e introducidos utilizados para la reforestación urbana de la Ciudad de México. *Ciencia* 46:383-393.
- Craul, P. 1992. *Urban Soil in Landscape Design*. Wiley, New York, NY. 396 pp
- Drew, M.C., and L.H. Stolzy 1996. Growth under oxygen stress, pp 397-414 In Waisel, Y, A. Eshel, and U Kafkafi (Eds.). *Plant Roots: The Hidden Half*, 2nd ed Marcel Dekker, New York, NY. 1,003 pp.
- Gilman, E.F., H.W. Beck, D.G. Watson, P. Fowler, D.L. Weigle, and N.R. Morgan 1996 *Southern Trees: An Expert System for Selecting Trees*. CD-ROM. University of Florida and USDA Forest Service Gainesville, FL.
- Gilman, E 1997 *Trees for Urban and Suburban Landscapes*. Delmar Publishers, Albany, NY 662 pp
- González Rivera, R. 1993. La diversidad de los encinos mexicanos, diversidad biológica de México. *Rev de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 44:125-142.
- Hicks, C.R. 1993 *Fundamental Concepts in the Design of Experiments*, 4th ed Saunders College Publishers, US 504 pp.
- Hillel, D. 1980. *Fundamentals of Soil Physics* Academic Press, US 413 pp
- Kozłowski, T.T. 1998 Soil compaction and growth of woody plants. (In press)
- Nilsson, K., T Randrup, and T. Tvedt. 1998 Aspectos tecnológicos del enverdecimiento urbano, pp 31-80 Krisnamurthy, L., y J Rente Nascimento (Eds) *Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe Memoria del Seminario Internacional Celebrado en la Ciudad de México del 2 al 5 de diciembre de 1996* Centro de Agroforestería Para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 397 pp.
- Nixon, C.K 1993. The genus *Quercus* in Mexico, pp 447-458. In Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot, and J. Fa (Eds). *Biological Diversity of Mexico* Oxford University Press, New York, NY.
- Romero Rangel, S 1993. El Género *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de México. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias—Biología. 151 pp
- Russell, R.S 1977. *Plant Root Systems. Their Function and Interaction with the Soil*. McGraw-Hill, London, England. 298 pp.
- Rzedowski, J., and G.C Rzedowski (Eds). 1979 *Flora Fanerogámica del Valle de México*, Vol 1. CECSA, México. 403 pp
- Yorke, J.S., and G.R Sagar. 1970. Distribution of secondary growth potential in the root system of *Pisum sativum* *Can J. Bot* 48 699-704.
- Ware, G. 1993. Tough trees for urban environments *Morton Arb Q* 29(3):42-48.

Acknowledgments. The present work was developed in the facilities of El Colegio de Posgraduados (Postgraduate College, Montecillo, México) and the support of Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco (Autonomous Metropolitan University), The Morton Arboretum, and Jardín Botánico del Instituto de Biología UNAM (National University of Mexico). Additional funding was provided by the International Society of Arboriculture's Research Trust and the program PADEP-UNAM # 003330 and 002355. We would like to thank Pat Kelsey (The Morton Arboretum), Josué Kohashi (Postgraduate College), and Silvia Romero (ENEP-Iztacala) for their valuable advice on

urban soils, plant physiology, and native oak species selection, respectively. This study would not have been possible without the support of the technicians and research assistants that participated actively in different stages: Felipe Arreguín, Daniel Aldana, Mario Medina, Alfredo Murguía (UAM-A), Juan Sabino (Botanical Garden-UNAM); Mario García, Angel Sánchez, Eligio Jiménez, Raúl Valencia (Post-graduate College); Susan Milauskas and Patty Sauntry (The Morton Arboretum).

¹Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco
Departamento de Energía
Av. San Pablo, 180. Col. Reynosa Tamaulipas 02200
México D.F.

²The Morton Arboretum
Lisle, IL

³Jardín Botánico del Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México
México D.F.

⁴Colegio de Posgraduados
Física de Suelos
Texcoco, México

⁵Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco
Departamento de Sistemas
México D.F.

*Corresponding author

Résumé. Des semis d'espèces d'arbres sélectionnées ont été placés dans de petits bancs de plantation remplis avec des sols compactés à texture fine et grossière afin de simuler les conditions urbaines. La croissance des racines du *Quercus crassipes*, du *Q. crassifolia* et du *Fraxinus uhdei* a été suivie au travers d'une vitre durant une période de six mois. Les différences de profondeur de pénétration des racines, de masse sèche totale de racines et de croissance des pousses ont été évaluées pour chaque espèce dans les deux types de sol. La porosité totale est significativement inférieure dans le sol à texture grossière. Les résultats ont montré que la profondeur maximale visible d'enracinement était significativement plus élevée dans le sol à texture fine pour les trois espèces, et aussi que la masse sèche des racines du frêne était significativement inférieure dans le sol à texture grossière par rap-

port au sol à texture fine. La pénétration des racines des deux espèces de chêne comparée à celle du frêne était équivalente dans le sol à texture fine, mais pas dans celui à texture grossière. Ces espèces de chênes pourraient être des espèces prometteuses en milieu urbain si on prend soin de les planter dans des conditions de sols favorisant le développement de leurs racines.

Zusammenfassung. Es wurden Sammlinge von ausgewählten Baumarten in kleinen Wurzelbetten, die mit feinem und grob strukturiertem Boden gefüllt waren, gepflanzt und der Boden verdichtet, um dem Edaphon typische städtische Konditionen zu geben. Die Wurzeln von *Quercus crassipes*, *Q. crassifolia* und *Fraxinus uhdei* wurden über Monitor über einen Zeitraum von sechs Monaten beobachtet. Die Differenzen bezüglich der Tiefe der Durchwurzelung, des totalen Wurzelgewichts und des oberirdischen Wachstum wurde für alle Arten und beide Bodenarten bewertet. Die totale Porosität war in grobstrukturierten Boden deutlich niedriger. Die Wurzelergebnisse zeigten, die Wurzeln aller Arten hinter der Scheibe sichtbar waren, die maximale Tiefe einer sichtbaren Wurzel war deutlich größer als in feinstrukturierten Böden und das Trockengewicht der Eschenwurzel war in dem groben Boden deutlich reduziert gegenüber dem feinen Boden. Die Durchwurzelungseigenschaften der beiden Eichen im Vergleich zur Esche war in feinem Boden besser als im groben Boden. Diese Eichenarten könnten vielversprechende Baumarten für Stadtstandorte sein, wenn dafür Sorge getragen wird, daß sie Bodenbedingungen erhalten, die ihre Entwicklung fördern, da die Durchwurzelung gleich gut war wie bei dem meistvorkommenden Strassenbaum in Mexiko, der Esche.

Resumen. Brinzales de árboles de especies seleccionadas se cultivaron en pequeños rizotrones llenos con suelos de textura fina y gruesa, compactados para simular las condiciones urbanas. Fue monitoreado el crecimiento de las raíces de *Quercus crassipes*, *Q. crassifolia* y *Fraxinus uhdei* a través de los rizotrones de vidrio por un periodo de seis meses. Se evaluaron las diferencias de profundidad en penetración de las raíces, peso seco total de las raíces y crecimiento de los brotes para cada especie en los dos tipos de suelo. La porosidad total fue significativamente menor en el suelo de textura gruesa. Los resultados mostraron que la máxima profundidad de penetración visible de las raíces fue significativamente mayor en el suelo de textura fina para las tres especies y que el peso seco de las raíces de fresno fue significativamente reducido en el suelo de textura gruesa comparado el suelo de textura fina. La penetración de las raíces de las dos especies de encino, comparada con el fresno, fue igual en el suelo de textura fina, pero no en el de textura gruesa. Estas especies de encino podrían ser árboles urbanos prometedores si tenemos cuidado de plantarlos en las condiciones de suelo que favorezcan el desarrollo de su raíz.

**Capítulo 7. Artículo del Proyecto Doctoral
(no publicado)**

Evaluación del sistema radical a través de la inspección
de las raíces observadas contra el vidrio del rizotrópico

EVALUACIÓN DEL SISTEMA RADICAL A TRAVÉS DE LA INSPECCIÓN DE LAS RAÍCES OBSERVADAS CONTRA EL VIDRIO DEL RIZOTRÓN

Existen modelos de rizotrones con diversos grados de complejidad que van desde los relativamente sencillos hasta otros muy complejos como el uso de microcámaras o la construcción de verdaderos laboratorios subterráneos para la observación de las raíces. La decisión del modelo de rizotróon que se va a utilizar, está en función del tipo de estudio que se desee, del tiempo y presupuesto disponibles, así como del número de investigadores que estén interesados en aprovechar esta instalación para realizar diversos estudios en forma simultánea. Hasta ahora este instrumento no ha sido utilizado con frecuencia en investigación relacionada a la arboricultura.

Parafraseado de Ward 1963; Böhm 1979; Huck y Taylor 1982; Neufeld et al. 1989; Taylor et al. 1991; Klepper 1994; de varios artículos de la revista Plant and Soil no. 185 (1996) y de Bell and Sultan 1999.

Pocos estudios de raíces se han realizado comparados con los de la parte aérea de la planta ya que, además de ser complejos porque las raíces están ocultas en el suelo, los estudios son muy laboriosos y hay que "ensuciarse" mucho para realizarlos. (Böhm 1979; Craul 1992; Watson, comunicación personal 1995). El rizotróon puede ser una buena herramienta para estudiar las raíces sin las desventajas de los estudios directos. Por ejemplo, para conocer las condiciones de suelo, el rizotróon funciona como sistema de monitoreo del frente de humedecimiento, la compactación o la respuesta de la planta ante algunas condiciones como la salinidad elevada o el nivel de agua en el suelo. También se puede utilizar como método para monitorear la planta misma dado que permite observaciones directas de las raíces durante un periodo largo, con la ventaja adicional de que dicha observación no tiene que ser destructiva. En un estudio con rizotrones se tiene acceso al uso de instalaciones eléctricas y de riego, se pueden colocar instrumentos y sensores para medir condiciones del suelo o algunos aspectos en la planta con mayor facilidad y mantenerlos mejor que si estuvieran en el campo. Otra ventaja del uso de rizotrones es la compartimentación, ya que los límites definidos por las cuatro paredes, permiten estudiar algunas características del suelo mejor que en condiciones de campo; por ejemplo, su densidad aparente, la cantidad exacta de agua que contiene, la distribución uniforme de sus capas o el desplazamiento de los frentes de humedecimiento.

Por sus características, el rizotróon permite tanto el estudio de algunos aspectos del suelo, como del riego o de las raíces que de otra forma no se podrían realizar. Así, los investigadores que utilizan esta herramienta miden varias cosas al mismo tiempo. Por medio de rizotrones se puede probar la aptitud de una especie ante ciertas condiciones de suelo con el fin de evitar

prácticas costosas de plantación y sustitución; así como la manipulación de las raíces en el transcurso del experimento. Por ejemplo, si se desea estudiar cómo responden las raíces ante la poda o ante la presencia de obstáculos en el suelo, se quita el vidrio, se cortan las raíces o se ponen los obstáculos, se vuelve a colocar el vidrio y la observación continúa. Cabe señalar que una vez construido, el rizotrón se puede utilizar varias veces, por lo cual se considera una inversión laboriosa y costosa a corto plazo, que en el largo plazo justifica su inversión.

Si bien se han mencionado diversas bondades del rizotrón como herramienta de trabajo, se deben tomar en cuenta algunas consideraciones al utilizarlos: 1. Como se acaba de señalar, es una herramienta costosa que requiere más tiempo, inversión e instalaciones que un estudio que se hace directamente en el campo o con contenedores. 2. Cuando la información que se desea sobre las raíces no contempla el crecimiento durante el transcurso de la investigación, es mucho más simple el uso de los contenedores, los cuales se pueden construir con el diámetro y la profundidad deseados por medio del uso de plástico grueso y que no requieren marcos ni mesas para colocarlos o un sitio especial, con condiciones ambientales controladas, como en un invernadero o en un cobertizo. 3. Los estudios de compactación realizados en el campo pueden utilizar métodos ingenieriles para compactar el suelo (Graboski y Bassuk, 1996); esta práctica no se puede realizar con los rizotrones debido a que se quiebran los cristales y se pandea la madera, lo cual los deforma por completo. 4. Cuando los rizotrones ya se llenaron con suelo, se debe tapar perfectamente el vidrio con aluminio grueso para evitar el paso de la luz y la proliferación de algas; si se presentan fallas en este último punto, se tendrá que repetir todo el montaje hasta que las condiciones sean homogéneas y las variables estén controladas. 5. En los estudios con rizotrones se pierde la estructura del suelo y el volumen es restringido para el crecimiento de las raíces comparado con los estudios de campo. Esto puede ser una ventaja o una desventaja en función de los objetivos del experimento.

En la revisión bibliográfica efectuada, específicamente de los proyectos en los cuales se trabajó con rizotrones, pudimos detectar que éstos se han utilizado para realizar diversas observaciones del sistema radical (Ward 1963; Böhm 1979; Huck y Taylor 1982; Neufeld et al. 1989; Taylor et al. 1991 y Klepper 1994, Josué Kohashi comunicación personal 2000).

El objetivo general de este trabajo fue conocer más sobre las aplicaciones del rizotrón para realizar estudios cuantitativos del sistema radical.

El objetivo específico de esta investigación fue evaluar si la longitud del sistema radical que se observó contra el vidrio del rizotrón era un buen estimador de la longitud real obtenida después de la cosecha. Es decir, ¿se puede evaluar el sistema radical completo de manera rápida y precisa, a través de la inspección visual de las raíces que chocan contra el vidrio del rizotrón?

Descripción del rizotrón y del diseño experimental. Es un espacio que cuenta con uno de sus frentes transparentes para permitir la observación periódica de las raíces. Varían notablemente en tamaño, materiales y funcionamiento (Böhm, 1979). El diseño experimental de este proyecto requirió 30 rizotrones. Quince se llenaron de suelo fino y quince de suelo grueso. Se utilizaron cinco rizotrones por especie con 2 plántulas cada uno (semillas en el caso de los fresnos). El diseño experimental fue un factorial aleatorio completo balanceado. Los tratamientos fueron los dos tipos de suelo y las tres especies con 10 repeticiones para cada combinación (Chacalo *et al.* 2000). Las medidas de los rizotrones fueron: 40 cm de ancho x 70 cm de altura x 05 cm de profundidad (fig. 7.1).

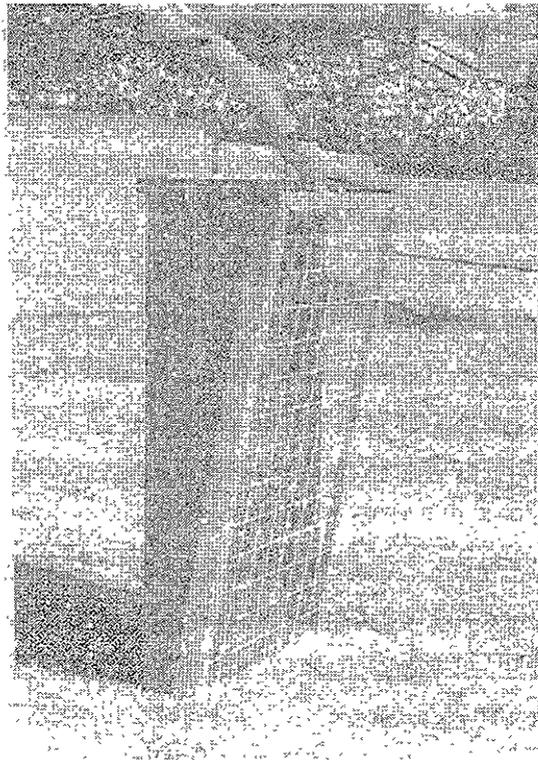


Fig. 7.1.- Modelo de rizotrón utilizado. Después de probar varias medidas y materiales, los utilizados con este último modelo de rizotrón fueron los más apropiados para satisfacer los objetivos del proyecto.

Cabe señalar que se llegó a estas medidas después de realizar una fase experimental con seis tamaños distintos. Para evitar pudriciones y torceduras de la madera se pintó con esmalte alquidálico. Una estructura de aluminio pegada al vidrio con silicón y unida al lado del rizotrón con tornillos, permitió la remoción del vidrio para cosechar las raíces. Sobre el vidrio se pintó una retícula de 5 x 5 cm, cuyos bordes se cubrieron con cinta de aluminio delgado, y su lado frontal se tapó con aluminio grueso para evitar la penetración de la luz. Una vez por semana se quitaba el aluminio durante algunos minutos para permitir la observación del crecimiento de las raíces. El experimento se instaló en un cobertizo de plástico cuyas ventanas se abrían de día para disipar los extremos de temperatura cuando era necesario. Dentro del cobertizo, los rizotrones se pusieron sobre mesas de madera en unos marcos inclinados 30° con el objeto de promover el crecimiento de la raíz hacia el vidrio (Bhöm 1979).

Para prensar las raíces durante la cosecha se diseñaron y construyeron dos tablas en las que se clavaron clavos cada 5 cm, siguiendo el mismo modelo de la retícula del vidrio. Al cosechar las raíces, se puso la tabla con clavos (criba) de frente al rizotrón y se hundió por completo en el suelo, volteando a continuación la criba junto con el rizotrón, y quitando cuidadosamente la parte de madera del rizotrón para dejar "prensado" el sistema radical en la criba (fig. 7.2). Para lavar el suelo y poder dejar únicamente a las raíces, la criba se remojó durante unas horas y con un chorro de agua se quitó el suelo restante (fig. 7.3).

Monitoreo. Durante el experimento se registró la temperatura y la humedad relativa en el cobertizo desde julio de 1996 hasta marzo de 1997, con un hidrotermógrafo y dos termómetros instalados cerca de las mesas (a la misma altura que los rizotrones). Cabe destacar que bajo las condiciones climáticas de Texcoco, el principal problema en el cobertizo fue controlar las altas temperaturas alcanzadas, así como la amplia diferencia entre la temperatura diurna y la nocturna. También se instaló un termómetro de suelo que permitió verificar que la temperatura de éste no llegara a niveles dañinos para las raíces y se registró, durante todo el proceso, la cantidad de agua que se agregó al suelo dentro del rizotrón. En el laboratorio se analizó la textura del suelo y los nutrimentos en los dos tipos de suelo utilizados (Chacalo *et al.* 2000).



Fig. 7.2.- Para proceder a la cosecha de raíces, se desatornilló el frente de vidrio del rizotrón, se hundió la criba hasta adentro del marco de madera volteándose para poder quitar el suelo restante en la criba.

Registro de datos del sistema radical en el rizotrón. Una vez realizada la instalación para iniciar el experimento, se midió periódicamente la longitud de la raíz hasta que llegó al nivel inferior del rizotrón. Cuando las raíces de las plántulas en la mayoría de los rizotrones llegaron al último nivel marcado en los rizotrones, se procedió a la cosecha. La raíz fuertemente pivotante de los encinos alcanzó en poco tiempo el último nivel del rizotrón comparado con los fresnos, pero los encinos no se cosecharon en espera de que la mayoría de las plántulas de las tres especies llegara al final del rizotrón. Las raíces se cosecharon siguiendo los niveles horizontales de la retícula de la criba y de la rejilla del vidrio (es decir cada 5 cm) colocándolas por separado en bolsas de plástico con unas gotas de agua, con el fin de preservarlas. Mientras se terminaban de cosechar todos los rizotrones se mantuvieron en refrigeración.



Fig. 7.3.- Después de remojar en agua el marco del rizotrón, con un chorro de la misma se quitaba el suelo restante en la criba, lo cual permitía observar el sistema radical completo.

Cuando se cosecharon todos los rizotrones, se registró en una fotocopidora la imagen de las raíces por nivel del rizotrón, colocándolas inmediatamente después en bolsas de papel previamente etiquetadas. Las raíces se secaron en el horno por un período de 24 horas a 80 °C y se registró su peso seco para obtener su biomasa.

Las imágenes obtenidas en la fotocopidora se digitalizaron y se midieron las longitudes utilizando un programa de cómputo (Image Pro Plus para Windows). Los dos parámetros de longitud fueron: la longitud contra el vidrio por cada nivel del rizotrón y la longitud real obtenida después de la cosecha para cada nivel del rizotrón.

Datos. Para cada planta se tuvo la longitud por nivel obtenida del registro contra el vidrio del rizotrón y la longitud real del sistema radical después de la cosecha también por nivel. Es importante observar que existían datos faltantes en varios niveles, principalmente en los

encinos. Esto se debe a que mientras que la observación del sistema radical contra el vidrio de los fresnos fue constante, es decir las raíces crecieron contra el vidrio durante todo el periodo del experimento, el sistema de raíces de las dos especies de encino se escondía en el suelo y reaparecía días después contra el vidrio, por lo que no siempre se podían ver sus raíces. Cuando no había registro de dato observado contra el vidrio se puso cero.

Métodos

1. **Asociación simple.** Primero se compararon los resultados del análisis de imágenes de la longitud de las raíces contra el vidrio con los resultados del análisis de imágenes de la longitud obtenidos en la cosecha, es decir, la longitud real para cada nivel del rizotrócn. Con el fin de ver qué tan asociadas estaban estas dos mediciones de la longitud se aplicó la correlación lineal en cuatro situaciones diferentes para las tres especies en los dos tipos de suelo.

1.1 Análisis de la Asociación con todos los datos. Se incluyeron los datos *in extenso* de las especies en los dos suelos por nivel del rizotrócn. Por lo tanto se aplicó la correlación lineal a treinta pares de columnas: las de longitud contra el vidrio y las de longitud real (tabla 7.1).

Nivel del rizotrócn cm	1 in vidrio	1 in real	2 in vidrio	2 in real	3 in vidrio	3 in real	4 in vidrio	4 in real	5 in vidrio	5 in real
0-5	0.00	566.70	6.83	996.40	5.95	318.10	0.00	276.10	30.35	935.10
5-10	0.00	164.20	0.00	155.00	0.00	93.30	0.00	259.30	211.07	779.00
10-15	6.68	152.80	0.00	371.80	0.00	132.10	5.20	210.00	65.41	575.20
15-20	133.83	270.70	9.90	276.80	0.00	79.80	0.00	237.10	188.29	901.60
20-25	34.95	239.10	0.00	200.30	0.00	128.80	24.87	200.70	158.00	445.90
25-30	8.65	106.70	2.11	215.20	0.00	245.90	0.00	199.40	72.01	184.80
30-35	0.00	94.80	0.00	239.60	0.00	198.20	0.00	171.60	0.00	58.00
35-40	0.00	133.90	7.71	173.60	0.00	127.90	0.00	214.90		
40-45	0.00	162.00	3.49	78.10	0.00	59.70	0.00	242.80		
45-50			0.00	46.20			0.00	91.50		
50-55							0.00	53.80		
55-60										
60-65										
Total	184.11	1890.90	30.04	2753.00	5.95	1383.80	30.07	2157.20	725.14	3879.60
Coficiente de correlación	0.15		0.36		0.73		0.04		0.49	

Tabla 7.1.- Ejemplo con cinco repeticiones de *Quercus crassifolia* en suelo grueso del análisis con los datos *in extenso* de la longitud de la raíz contra el vidrio y la longitud de la raíz real. In = longitud. Datos en mm.

1.2 Análisis de la Asociación con el promedio de los datos por nivel del rizotrócn. Se incluyó el promedio de las diez repeticiones para cada nivel del rizotrócn (tabla 7.2, fig. 7.4). De nuevo se aplicó la correlación lineal a cada par de columnas: longitud contra el vidrio y la longitud real. Como eran promedios se obtuvieron 6 valores de correlación.

1.3 Análisis de la Asociación con los datos comunes *in extenso*. Aquí se consideraron únicamente los datos de los que había registro presente en cada nivel para las dos mediciones de la longitud. Si había registro tan sólo en uno de los dos, por ejemplo en los datos reales pero no en los datos contra el vidrio, ninguno de los valores se consideraba (tabla 7.3).

Nivel del rizotrócn cm	<i>Q. crassifolia</i>		<i>Q. crassipes</i>		<i>F. uhdei</i>		<i>Q. crassifolia</i>		<i>Q. crassipes</i>		<i>F. uhdei</i>	
	grueso vidrio	grueso real	grueso vidrio	grueso real	grueso vidrio	grueso real	fino vidrio	fino real	fino vidrio	fino real	fino vidrio	fino real
0-5	5 08	394 03	23 94	628 42	164 32	14918 29	4 84	600 98	5 09	523 03	84 11	9660 03
5-10	22 54	266 65	14 33	447 60	192 72	5081 01	18 19	659 84	15 64	538 30	148 52	12153 67
10-15	10 69	283 33	28 09	394 17	247 41	4154 48	23 41	409 00	37 13	534 72	164 76	12098 63
15-20	43 00	257 40	32 12	287 48	308 27	3984 28	17 85	374 28	40 99	539 38	152 84	11847 88
20-25	30 31	232 08	38 20	222 24	318 22	3099 40	21 19	300 84	32 11	338 34	186 31	9741 64
25-30	9 63	180 78	29 98	201 03	334 89	2666 16	14 00	334 10	32 11	471 37	202 37	9380 63
30-35	0 86	161 45	20 45	149 45	286 14	1699 50	11 65	313 08	13 05	354 88	230 18	10685 19
35-40	1 43	144 50	13 90	109 43	207 52	1060 64	7 32	215 06	12 51	311 15	238 55	10107 53
40-45	0 68	89 17	0 00	125 75	175 42	837 16	9 02	166 84	8 61	495 70	257 94	7967 72
45-50	0 00		0 00	201 60	161 64	980 03	7 44	130 22	7 57	301 34	271 09	6897 07
50-55	0 00		0 00	39 60	219 13	1000 03	3 13	104 16	3 30	227 89	274 07	5366 52
55-60					41 85	492 83	5 91	109 71	5 05	119 72	281 01	4039 52
60-65					0 00	51 25	1 61	219 82	5 31	196 41	210 97	2106 16
Coefficiente de Correlacion	0 34		0 40		0 13		0 47		0 56		-0 58	

Tabla 7.2.- Promedio de las 10 repeticiones por nivel del rizotrócn de la longitud contra el vidrio y la longitud real para cada especie en los dos tipos de suelo. Datos en mm.

Nivel del rizotrócn	1 ln vidrio	1ln real	2 ln vidrio	2ln real	3 ln vidrio	3ln real	4 ln vidrio	4ln real	5 ln vidrio	5ln real
0-5	6.68	152 30	6.83	996 40	5.95	318 10	5 20	210.00	30 35	935 10
5-10	133 83	270 70	9 90	276 80			24 87	200.70	211 07	779 00
10-15	34 95	239 10	0.00	200 30					65 41	575 20
15-20	8 65	106 70	2.11	215 20					188 29	901 60
20-25			7 71	173.60					158.00	445 90
25-30			3 49	78 10					72 01	184 80
30-35										
35-40										
40-45										
45-50										
50-55										
55-60										
60-65										
Total	184 11	789 30	30.04	1940 40	5 95	318 10	30 07	410.70	725.14	3821 60
Coefficiente de correlación	0,82		0 30		?		-1 00		0 20	

Tabla 7.3.- Ejemplo con cinco repeticiones de *Quercus crassifolia* en suelo grueso del análisis efectuado con datos comunes *in extenso* de la longitud de la raíz contra el vidrio y la longitud de la raíz real. ln = longitud. Datos en mm.

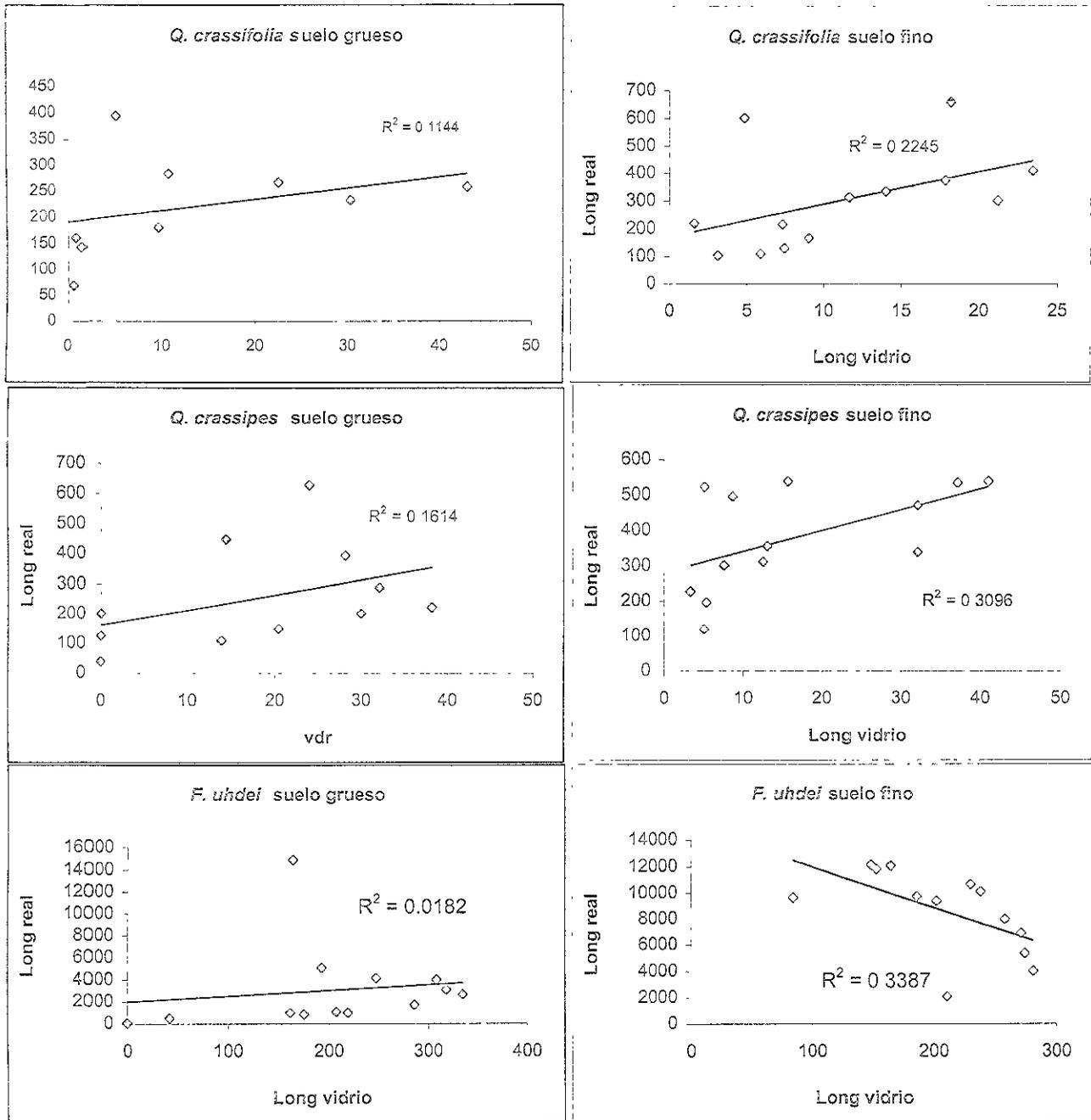


Fig. 7.4.- Gráficas de las tres especies en los dos tipos de suelos de los promedios por nivel del rizotrófon de las 10 repeticiones de la longitud de la raíz vista contra el vidrio del rizotrófon contra la longitud real de la raíz. Datos en mm.

1.4 Análisis de la correlación utilizando el total de los 13 niveles del rizotrónc de las dos mediciones de longitud. Tomando en cuenta el total (suma) de cada repetición, se promediaron las 10 repeticiones y se compararon los valores de la longitud real contra los valores de la longitud contra el vidrio (fig. 7.5).

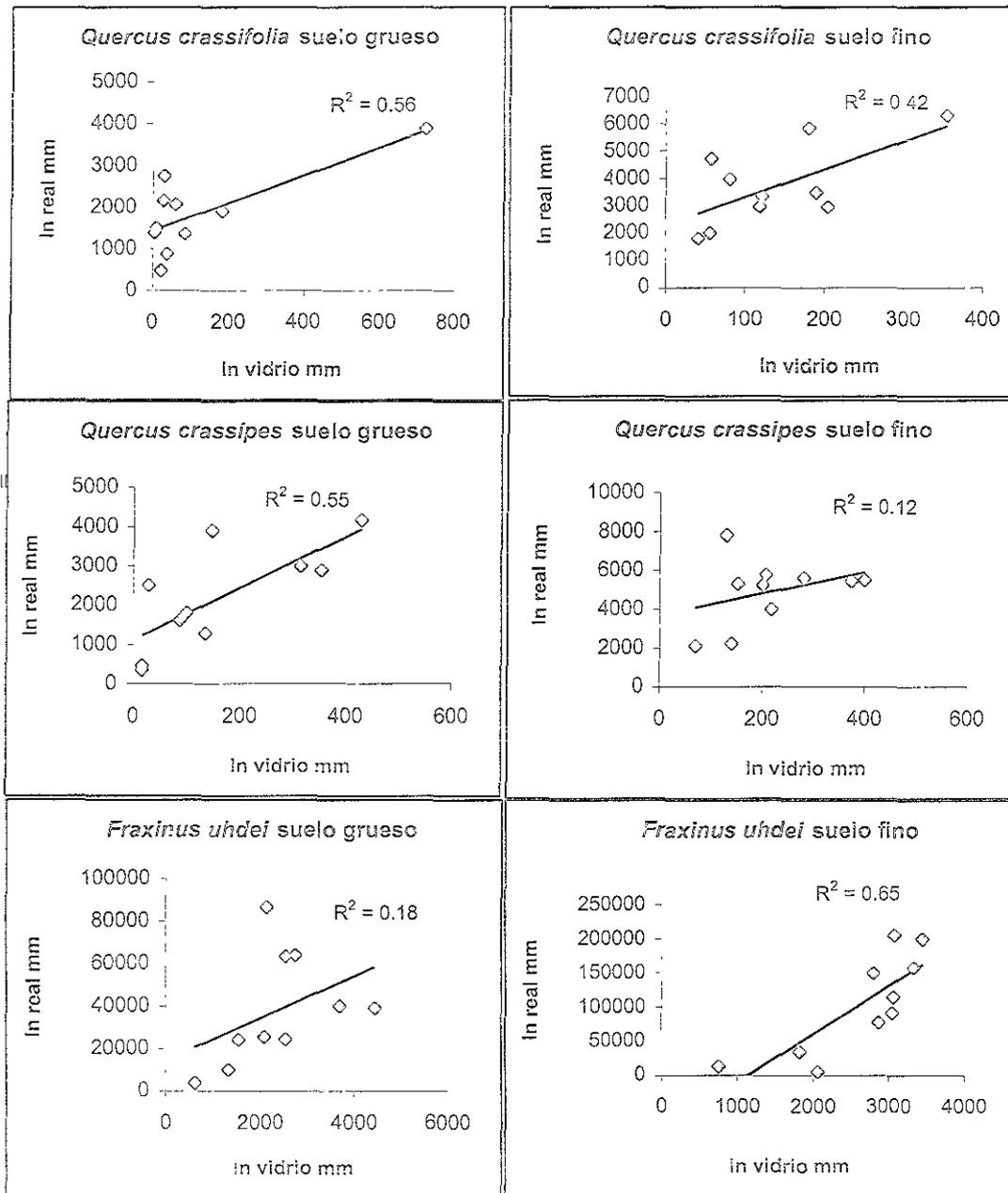


Fig. 7.5.- Gráficas de las tres especies en los dos tipos de suelo del total por repetición (suma de los 13 niveles del rizotrónc), de la longitud de la raíz observada contra el vidrio contra la longitud real. In = longitud. Datos en mm.

2. Análisis acumulativo. Después se consideró que dado que el crecimiento de la raíz es progresivo (para llegar al segundo nivel del rizotrón tuvo que haber pasado forzosamente por el primero), sería interesante obtener el valor acumulado de las longitudes. Se entiende por valor acumulado la suma de la longitud obtenida en el primer nivel con la del segundo, el resultado obtenido se suma al valor del tercer nivel y así sucesivamente hasta llegar al último nivel del rizotrón (figs. 7.6 y 7.7).

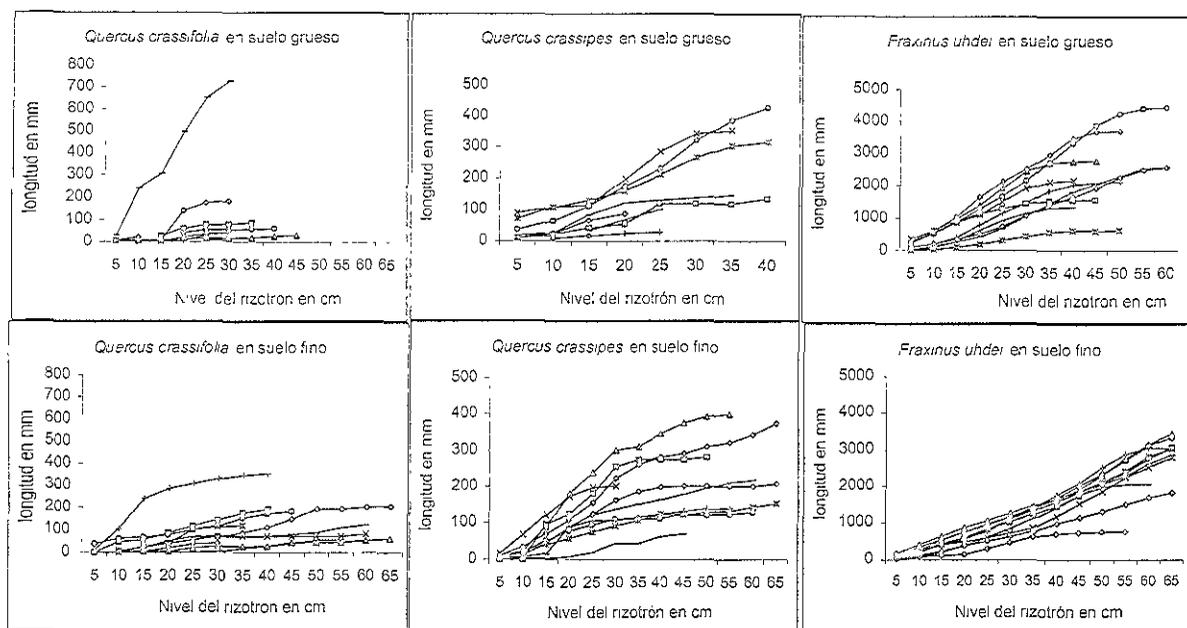


Figura 7.6 - Gráficas de la longitud acumulada de la raíz vista en contra del vidrio del rizotrón para las diez repeticiones de cada especie en los dos tipos de suelo

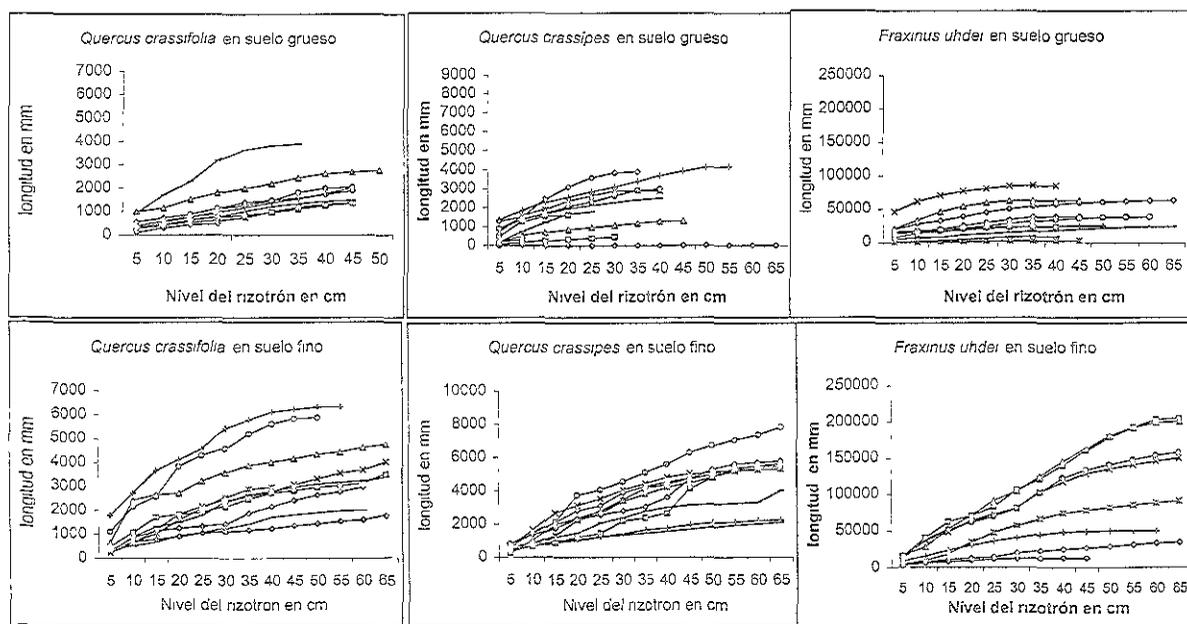


Figura 7.7.- Gráficas de la longitud real acumulada de la raíz para las diez repeticiones de cada especie en los dos tipos de suelo.

2.1 Análisis acumulativo con todos los datos. Para evaluar si había una asociación entre el valor acumulado de las distancias observadas fuera y dentro del rizotrón, se usó una vez más la estadística de correlación lineal con todos los datos (tabla 7.4).

Nivel del rizotrón c	1 In vidrio	1In real	2 In vidrio	2In real	3 In vidrio	3In real	4 In vidrio	4In real	5 In vidrio	5In real
0-5	0 00	566.70	6.83	996 40	5.95	318.10	0.00	276.10	30.35	935.10
5-10	0.00	730.90	6.83	1151.40	5 95	411.40	0 00	535.40	241.43	1714.10
10-15	6.68	883 70	6.83	1523.20	5 95	543 50	5 20	745.40	306.83	2289.30
15-20	140 51	1154.40	16.73	1800 00	5.95	623.30	5 20	982.50	495.12	3190.90
20-25	175.46	1393.50	16.73	2000.30	5.95	752 10	30.07	1183 20	653.13	3636.80
25-30	184 11	1500.20	18.84	2215.50	5.95	998 00	30.07	1382.60	725.14	3821.60
30-35	184 11	1595.00	18.84	2455 10	5.95	1196.20	30 07	1554.20	725.14	3879.60
35-40	184.11	1728 90	26.55	2628.70	5.95	1324 10	30.07	1769.10		
40-45	184 11	1890 90	30.04	2706.80	5 95	1383 80	30.07	2011.90		
45-50			30.04	2753.00						
50-55										
55-60										
60-65										
Total	1059.10	11444.20	178.25	20230.40	53.51	7550.50	160.76	10440.40	3177.14	19467.40
Coefficiente de correlación	0 93		0.95		?		0.89		0.99	

Tabla 7.4.- Ejemplo con 5 repeticiones de *Quercus crassifolia* en suelo grueso del análisis acumulativo efectuado con todos los datos *in extenso* de la longitud contra el vidrio y la longitud real. In = longitud. Datos en mm.

2.2 Análisis acumulativo con los datos comunes *in extenso*. Se pensó que lo observado en el procedimiento 2.1 podía mejorar si se consideraban tan sólo los datos comunes (tabla 7.5).

Nivel del rizotrón c	1 In vidrio	1In real	2 In vidrio	2In real	3 In vidrio	3In real	4 In vidrio	4In real	5 In vidrio	5In real
0-5	6 68	152 80	6.83	996 40	5 95	318 10	5.20	210 00	30 35	935.10
5-10	140 51	423 50	16 73	1273.20			30.07	410.70	241.43	1714.10
10-15	175 46	662.60	16.73	1473.50					306.83	2289.30
15-20	184 11	769 30	18.84	1688.70					495.12	3190.90
20-25			26.55	1862.30					653 13	3636 80
25-30			30.04	1940 40					725 14	3821 60
30-35										
35-40										
40-45										
45-50										
50-55										
55-60										
60-65										
Total	506.77	2008.20	115.71	9234.50	5 95	318 10	35.27	620.70	2452.00	15587 80
Coefficiente de correlación	0.95		0.95		?		1.00		0.99	

Tabla 7.5.- Ejemplo con 5 repeticiones de *Quercus crassifolia* en suelo grueso del análisis acumulativo efectuado con datos comunes *in extenso* de la longitud contra el vidrio y la longitud real de la raíz. In = long. Datos en mm.

3.- **Búsqueda de un factor.** Por último se procedió a buscar si un factor que, multiplicado por la longitud contra el vidrio, pudiera ser un buen estimador de la longitud real.

El procedimiento fue el siguiente: se dividió la suma de los 13 niveles de la retícula del rizotrón de la longitud contra el vidrio entre la suma de los 13 niveles de la retícula del rizotrón de la longitud real, para las tres especies en los dos tipos de suelo (tabla 7.6).

Nivel del rizotrón	1 In vidrio	1In real	2 In vidrio	2In real	3 in vidrio	3In real	4 In vidrio	4In real	5 In vidrio	5In real
0-5			6.83	996.4	5.95	318.1			30.35	935.1
5-10									211.07	779.0
10-15	6.68	152.8					5.20	210.0	65.41	575.2
15-20	133.83	270.7	9.90	276.8					188.29	901.6
20-25	34.95	239.1					24.87	200.7	158.00	445.9
25-30	8.65	106.7	2.11	215.2					72.01	184.8
30-35										
35-40			7.71	173.6						
40-45			3.49	78.1						
45-50										
50-55										
55-60										
60-65										
Total	184.11	769.30	30.04	1740.10	5.95	318.10	30.07	410.70	725.14	3821.60
Cociente	4.18		57.93		53.51		13.66		5.27	

Tabla 7.6.- Ejemplo con cinco repeticiones de *Quercus crassifolia* en suelo grueso de cómo se encontró el factor. Tomando los datos comunes de los valores de longitud en mm se dividió el total de la longitud real entre el total de la longitud contra el vidrio. In = longitud. Datos en mm.

A continuación se promediaron las 10 repeticiones de los cocientes obtenidos (tabla 7.7). Para conocer el límite inferior y superior de estos valores, se calculó la desviación estándar y los valores que se encontraban fuera del intervalo limitado por una desviación estándar hacia arriba y hacia abajo se eliminaron, y se volvió a calcular el promedio con los datos restantes.

LONG. VIDRIO	<i>Q. crassifolia</i>	<i>Q. crassipes</i>	<i>F. uhdei</i>	<i>Q. crassifolia</i>	<i>Q. crassipes</i>	<i>F. uhdei</i>
NO. DE REPETICION	grueso	grueso	grueso	fino	fino	fino
1	184.11	18.06	3675.32	41.49	207.93	1831.32
2	30.04	17.46	2755.50	57.31	399.65	3452.98
3	5.95	315.58	595.81	119.09	153.30	3046.44
4	30.07	29.39	2097.69	355.23	139.50	3062.79
5	725.14	146.15	2553.68	190.01	218.54	1834.05
6	85.81	135.42	1552.49	81.08	281.71	3083.33
7	21.21	354.47	2149.60	181.05	201.17	2803.84
8	61.45	427.99	4438.12	56.30	128.99	3339.49
9	10.45	100.40	1338.45	200.48	69.09	2061.92
10	21.99	87.33	2549.21	121.51	374.69	736.11
PROMEDIO LONG. VIDRIO	117.92	193.22	2370.59	140.35	217.46	2525.23

LONG. REAL	<i>Q. crassifolia</i>	<i>Q. crassipes</i>	<i>F. uhdei</i>	<i>Q. crassifolia</i>	<i>Q. crassipes</i>	<i>F. Uhdei</i>
NO. DE REPETICION	grueso	grueso	grueso	fino	fino	fino
1	769.30	193.30	40174.50	691.60	4000.30	34815.80
2	1740.10	351.40	63824.10	3069.80	4989.70	200835.40
3	318.10	2994.00	3646.80	2553.90	4232.30	91763.90
4	410.70	735.70	25592.80	6097.60	1946.40	51133.50
5	3821.60	3908.60	24288.50	2227.60	2807.40	13383.40
6	594.90	779.20	24307.30	2097.60	2364.30	205650.80
7	267.80	2893.20	86553.10	5813.90	4050.90	150505.00
8	921.90	3698.30	39259.80	688.30	6121.30	158374.90
9	450.40	1024.10	9961.40	1976.50	866.70	51122.50
10	308.80	1618.90	63288.10	1880.70	5473.30	13383.40
PROMEDIO LONG. REAL	960.36	1819.67	33089.64	2729.35	3685.23	97093.36

Tabla 7.7.- Suma de los datos de longitud en los trece niveles del rizostrón para la longitud contra el vidrio (primer cuadro) y la longitud real (segundo cuadro).

Este resultado fue el factor encontrado (tabla 7.8). Se multiplicaron los datos contra el vidrio por el factor obtenido en el inciso anterior para cada especie en los dos tipos de suelo (tablas 7.7 y 7.8) y se realizó una gráfica de las curvas de longitud real y de la curva obtenida al multiplicar los valores contra el vidrio por el factor (fig. 7.8).

Aunque a simple vista las figuras son parecidas, tanto en forma como en magnitud, las curvas se compararon por medio de un parámetro estadístico denominado medida de bondad de ajuste. Se utilizó la χ^2 - (Chi cuadrada) por ser la más común, se obtiene sumando las diferencias al cuadrado del valor en la curva 1 y el valor en la curva 2, dividiéndolas entre el valor de la curva 1 con base en la siguiente fórmula:

$$\chi^2 \text{ observada} = (\text{valor } X_1 \text{ en la curva 1} - \text{valor } X_1 \text{ en la curva 2})^2 / \text{valor } X_1 \text{ en la curva 1.}$$

COCIENTE/LONG REAL Y LONG VIDRIO NO. DE REPETICIÓN / TIPO DE SUELO	Q. crassifolia	Q. crassipes	F. uhdei	Q. crassifolia	Q. crassipes	F. Uhdei
	grueso	grueso	grueso	fino	fino	fino
1	4.18	10.71	10.93	16.67	19.24	19.01
2	57.93	20.13	23.16	53.56	12.49	58.16
3	53.51	9.49	6.12	21.44	27.61	30.12
4	13.66	25.03	12.20	17.17	13.95	16.70
5	5.27	26.74	9.51	11.72	12.85	7.30
6	6.93	5.75	15.66	25.87	8.39	66.70
7	12.62	8.16	40.26	32.11	20.14	53.68
8	15.00	8.64	8.85	15.78	47.46	47.42
9	43.10	10.20	7.44	9.87	12.54	24.79
10	14.04	18.54	24.83	15.48	14.61	18.18
Promedio de las 10 repeticiones	22.62	14.34	15.90	21.97	18.93	34.21
Desvest	20.60	7.58	10.66	12.91	11.37	20.57
MINIMO - MAXIMO	2.02 - 43.23	6.76 - 21.92	24 - 26.55	9.06 - 34.88	7.55 - 30.30	3.64 - 54.77
PROMEDIO SIN EXTREMOS DESVEST O FACTOR ENCONTRADO	14.35	12.27	13.19	18.81	15.76	29.99
VALOR ESTIMADO (PROM. LONG. VIDRIO X FACTOR ENCONTRADO)	1688.02	2002.08	31264.83	2639.78	3426.46	75722.92
PROMEDIO LONG. REAL	259.68	296.24	4477.96	390.66	506.73	10842.58

Tabla 7.8.- Cocientes obtenidos de la suma de los 13 niveles del rizotrón para las 3 especies en los 2 tipos de suelo.

Para ver como se obtuvo el cociente ver la tabla 7.6.

* Los valores enmarcados con doble recuadro corresponden a los extremos eliminados.

Especie Suelo	<i>Q. crassifolia</i> grueso	<i>Q. crassipes</i> grueso	<i>F. uhdei</i> grueso	<i>Q. crassifolia</i> fino	<i>Q. crassipes</i> fino	<i>F. uhdei</i> fino	
Valor estimado	1688.0	2002.1	31264.8	2639.8	3426.5	75722.9	
long real	960.4	1819.7	38089.6	2730.0	3685.3	97096.9	
χ^2	313.7	16.6	1489.8	3.1	19.5	6033.1	7875.8
					Grados de libertad		5
					$\chi^2 (.05,5)=$		11.07

Tabla 7.9.- Aplicación de una medida de bondad de ajuste (χ^2) para comparar las dos curvas obtenidas en la fig. 7.8.

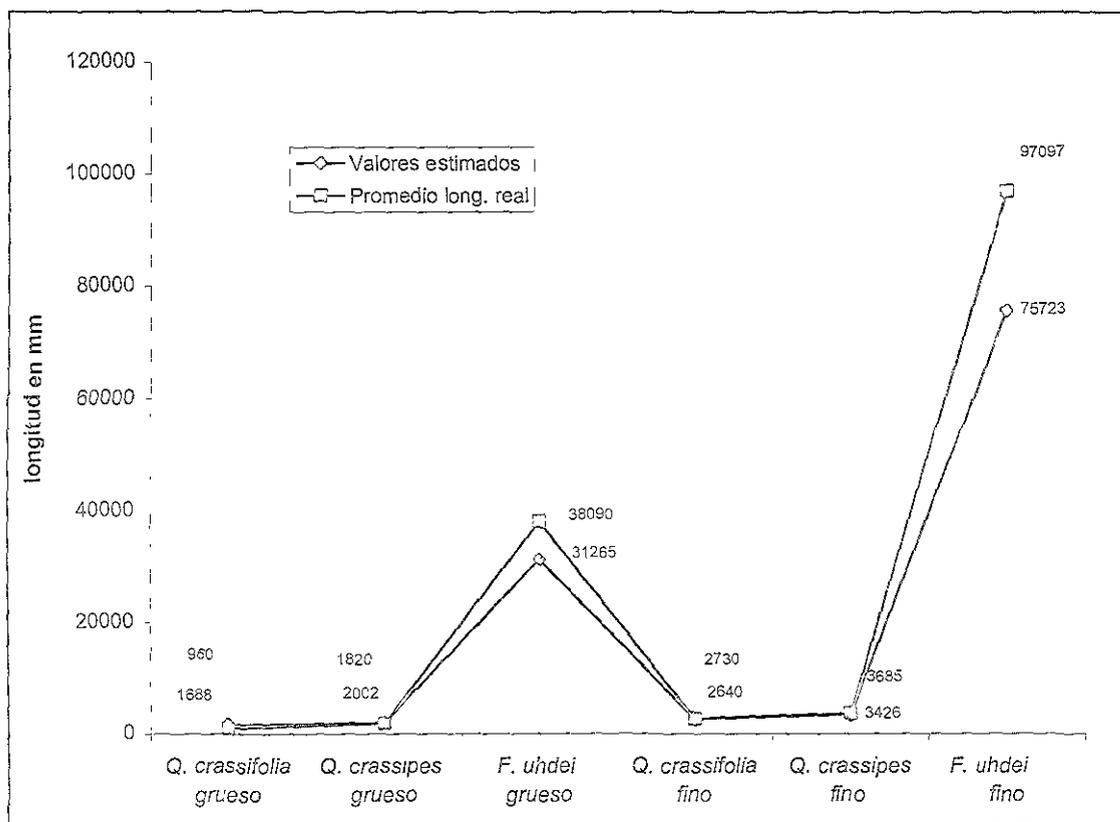


Figura 7.8.-Comparación de los valores de long real con los obtenidos al multiplicar por el factor encontrado.

Resultados

1. Análisis de la asociación simple

1.1 Análisis de la asociación con todos los datos. Cuando se aplicó el coeficiente de correlación lineal a los datos se obtuvieron valores bajos en el 95% de las veces. Esto indicó una débil asociación entre las dos mediciones de la longitud (tabla 7.1).

1.2 Análisis de la asociación con el promedio de los datos por nivel del rizotrófon. Los valores de correlación fueron bajos (tabla 7.2, fig. 7.4).

1.3 Análisis de la asociación con los datos comunes *in extenso*. Las correlaciones también fueron bajas. Se observaron 8 coeficientes de correlación altos (13%); sin embargo, el número de datos comunes era pequeño, por lo que los resultados deben tomarse con reserva (tabla 7.3).

1.4 Análisis de la correlación utilizando el total de los 13 niveles del rizotrófon de las dos mediciones de longitud. Las correlaciones fueron bajas. El valor R^2 más alto fue de 0.65 para *Fraxinus uhdei* en suelo fino (fig. 7.5).

2. Análisis acumulativo

2.1 Análisis acumulativo con todos los datos. Los resultados gráficos del análisis acumulativo indicaron, junto con los valores de correlación, que el crecimiento progresivo de la raíz contra el vidrio se parecía al crecimiento progresivo real de la raíz; sin embargo, las magnitudes de las ordenadas fueron muy diferentes (figs. 7.6 y 7.7). En cuanto a la correlación lineal, los valores mejoraron en forma notable. La mayoría fueron mayores que 0.9 y no menores que 0.8 (tabla 7.4). Lo cual indica que si bien los valores de longitud observados contra el vidrio no se correlacionan *per se* fuertemente con los datos de la longitud real, los valores acumulativos sí.

2.2. Análisis acumulativo con los datos comunes *in extenso*. Los resultados de la correlación mejoraron aun más, sin embargo, en ocasiones la eliminación de datos faltantes dejó pocos datos comunes, en algunos casos tan sólo uno o dos datos comunes. En estas situaciones el uso de la correlación lineal no es la herramienta apropiada, ya que se usa es interesante cuando hay más de tres valores comunes. En el caso de dos pares de valores la única curva que se puede visualizar es la línea recta, cuya correlación sería de 1 o -1 (tabla 7.5).

3. Búsqueda de un factor.

Al aplicar la medida de bondad de ajuste, el valor teórico de la χ^2 (límite superior de la hipótesis nula, es decir las dos curvas son iguales) fue de 11.07 con cinco grados de libertad (6 parejas de datos menos 1). La comparación de los dos valores permitió concluir que estadísticamente las curvas son significativamente diferentes (tabla 7.9 y fig. 7.8). El resultado obtenido fue de 7876.

Discusión y Conclusiones

Para evaluar la tendencia del crecimiento radical, la aplicación de la correlación lineal resultó útil; sin embargo, no permitió responder afirmativamente a la pregunta: ¿la longitud observada en el vidrio es una buena estimación de la longitud real? De acuerdo con los resultados presentados en los incisos 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4 la respuesta es negativa. Debido a este motivo, sería interesante buscar otro método estadístico que permita evaluar la calidad de la estimación (Patrick Kelsey, Francisco Camacho y Martin Ricker, comunicación personal 1999-2000).

Si se repitiera el experimento, sería importante contar con un número mayor de datos comunes para así evaluar la posible asociación entre la longitud contra el vidrio y los datos de longitud real. Para lograr esto, se tendrían que hacer algunas modificaciones: ya sea en la selección de especies para propiciar que las raíces choquen contra el vidrio y sean visibles todo el tiempo, o bien modificando el diseño del rizotrón por uno de menor espesor. Eventualmente un rizotrón con dos frentes de vidrio permitiría visualizar la mayor parte del sistema radical contra los vidrios y sería de mayor utilidad para satisfacer este objetivo.

El rizotrón permitió cuantificar la tendencia del crecimiento del sistema radical ya que, en los análisis acumulativos, las correlaciones resultaron altamente significativas en comparación a la correlación aplicada a cada nivel del rizotrón.

Es posible que haber esperado 2 meses para cosechar los encinos fuera la causa de las diferencias tan grandes entre la longitud contra el vidrio y la longitud real. Sería interesante observar en un futuro experimento qué sucede si se va cosechando cada rizotrón cuando la raíz llega al límite inferior del rizotrón.

Por último, consideramos que la asociación entre la raíz que se veía contra el vidrio y la real no era en una dimensión sino en tres, y por este motivo no siempre se obtuvieron resultados significativos.

Referencias bibliográficas

- Bell, D. L. y S. E. Sultán. 1999. Dynamic Phenotypic Plasticity for Root Growth in *polygonum*: a Comparative Study. *American Journal of Botany* 86 (6): 807-819.
- Böhm, W. 1979. *Methods of Studying Root Systems*. Springer-Verlag. Alemania. 190p.
- Craul, P. 1992. *Urban Soil in Landscape Design*. John Wiley and Sons. Nueva York. 396p.
- Graboski, J. y N. Bassuk, 1996. Testing of Structural Urban Tree Soil Materials for Use Under Pavement to increase Street Tree Rooting Volumes *Journal of Arboriculture* 22 (6): 255-263.
- Huck, M. y H. Taylor. 1982. The Rhizotron as a Tool for Root Research. In: N.C. Brady (Ed) *Advances in Agronomy*. Vol 35. Academic Press. pp. 1-35.
- Klepper, B. y Th. C. Kaspar. 1994. Rhizotrons: Their Development and Use in Agricultural Research. *Agronomy Journal* 86 (5): 745-753.
- Neufeld, H. D. Durall, P. Rich y D. Tingey. 1989. A Rootbox for Quantitative Observations on Intact Entire Root Systems. *Plants and Soil* 117: 295-298.
- Taylor, H. M., D. R. Upchurch y B. L. McMichael. 1991. Applications and Limitations of Rhizotrons and Minirhizotrons for Root Studies. pp. 91-97. In: D.L. Keister and P.B. Cregan (Eds.). *The Rhizosphere and Plant Growth*. Kluwer Academic Publishers. Países bajos.
- Ward, J. H. 1963. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of American Statistics Assoc* 58: 236-244.

CONSIDERACIONES FINALES

El estudio del suelo y el de las raíces de los árboles es más complejo en el ambiente urbano que en el ambiente natural; por lo tanto, la investigación en arboricultura, tan escasa hasta ahora en nuestro país, es muy importante y de gran trascendencia.

Este proyecto mostró claramente qué fundamentos científicos se deben aplicar al conocimiento de los árboles y que la arboricultura no es una disciplina técnica, sino que requiere de mucha investigación para poderse desarrollar.

El sistema radical.

Se sabe poco del ambiente bajo el suelo del arbolado y del sistema de raíces, en comparación con los conocimientos de la parte aérea de la planta. Sin embargo, para el manejo del arbolado urbano, también se debe contar con información sobre el sistema radical del mismo.

Eran ya necesarios los estudios sobre raíces para las especies de árboles de la Ciudad de México. Siempre que había alguna pregunta al respecto había que contestarla a través de referencias bibliográficas; sin embargo, la diferencia de condiciones ambientales de México con las de otros países, así como de las especies utilizadas, manifiesta la necesidad de desarrollar más el conocimiento del sistema radical en condiciones locales.

La respuesta del sistema radical bajo condiciones de diversos tipos de estrés es un campo de estudio reciente, del cual depende en buena medida el éxito de las plantaciones futuras en el ambiente urbano. Una selección adecuada de especies y prácticas apropiadas de cuidado de los árboles pueden aliviar la problemática; sin embargo, se presume que los efectos del estrés seguirán ocasionando fracasos en los árboles urbanos dado que la compactación del suelo y la gran presión de la población humana son y seguirán siendo, por lo menos a mediano plazo, una característica de las grandes urbes. Por esto, conocer a fondo la problemática permitirá una gama más amplia de posibilidades para lograr en forma exitosa las plantaciones de árboles en las ciudades.

¿Cuál es el costo económico de los daños causados por los árboles a la infraestructura en la Ciudad de México? Dado que no se cuenta con esta información, se requiere efectuar un estudio bajo las condiciones locales. Cabe mencionar que en la Ciudad de México los causantes de estos

problemas no son los árboles mismos, sino más bien su inadecuado sitio de plantación, ya que con frecuencia no se considera la altura que alcanzarán en la madurez.

Nuestros resultados de inventario del arbolado de las calles de la Ciudad de México señalan que el pavimento afectó al 37% de los árboles y que el 47% de ellos crecía en sitios de alta compactación de suelo. Cabe recordar que el 66% del total de árboles inventariados fueron individuos jóvenes, cuyo diámetro fue menor a 20 cm ¿Que pasaría si después de 10 años de que realizamos el inventario se evaluara de nuevo el estado de esos árboles? Con seguridad las interferencias con su sitio de plantación y los levantamientos ocasionados en las banquetas serán aún mayores debido al aumento de tamaño de los árboles.

El suelo urbano.

En todo el mundo un número muy bajo de los científicos que estudian el suelo se dedica al conocimiento del suelo urbano. En Estados Unidos se estima que existen alrededor de 12 personas dedicadas a esta labor (Patrick Kelsey, comunicación personal 1996).

En nuestro país, el estudio del suelo urbano es una disciplina nueva que aún no goza de aceptación entre los expertos, a pesar de que el 73.5% de la población vive en ciudades (Inegi - Semarnap 1998). Esto significa que los que se interesen por el estudio del suelo urbano, además de realizar grandes esfuerzos para subsanar el rezago en la materia, deberán empezar realizando una labor de concientización y de convencimiento sobre su importancia, tanto en el ámbito científico como entre otros sectores relacionados con esta disciplina.

Una situación similar se presenta en relación con el arbolado urbano: ciertas disciplinas no son preferidas por los biólogos, agrónomos o ingenieros civiles. Tal vez esta sea la razón que explique la carencia de planificación y el desordenado uso de recursos en el Distrito Federal.

La Ciudad de México, una de las más grandes del mundo (tanto por su tamaño como por la concentración poblacional), se muestra frágil e inerte para afrontar los problemas de las megalópolis, lo mismo para atender recursos como el arbolado urbano, que requiere de inventarios y registros continuos (es decir, de trabajo constante y organizado), que ante las situaciones que se presentan en caso de eventos imprevistos, como lluvias intensas o incendios forestales.

Algunas alternativas para aliviar la compactación en el ambiente urbano comienzan por la planificación y el diseño. Si se evita el paso de personas y vehículos pesados en áreas verdes o se dirige la circulación a veredas específicas se puede prevenir que el suelo se compacte. La inoculación con lombrices y micorrizas, la adición de materia orgánica y presencia de fauna en el suelo ayudan a formar agregados, evitando así la compactación. En los sitios en construcción, cubrir el suelo temporalmente con mulch o con triplay, o instalar parrillas en las áreas de uso pesado son un ejemplo de prácticas preventivas.

La recuperación natural del suelo compactado puede tardar muchos años, ser una tarea muy costosa y no siempre lograr su objetivo, por lo que siempre será mejor evitar la compactación que aliviarla; esta afirmación se repitió varias veces a lo largo del capítulo de compactación de suelo escrito por Kozlowsky en 1998.

Impedancia mecánica.

La mayoría de la información disponible sobre los efectos de la impedancia mecánica en las raíces provino de estudios efectuados con plantas de interés comercial o comestible como por ejemplo, el maíz, este tipo de información detallada no se encontró para árboles.

En la Ciudad de México los viveros gubernamentales se beneficiarían enormemente si, al realizar los diferentes pasos que conlleva la plantación de árboles urbanos (producción en vivero, planificación, plantación y mantenimiento), se aplicara el concepto de proporción raíz vástago. Durante la producción de plantas, se deja a los árboles alcanzar hasta dos metros de altura en un envase muy pequeño y durante la plantación, el tamaño de la cepa que se utiliza es de 30x30x30 cm, lo cual es insuficiente en proporción al tamaño del árbol.

La forma en que se han plantado los árboles en la ciudad es una de las principales causas de los fracasos en las campañas de forestación, así como de que año tras año se tenga que volver a plantar en los mismos sitios. En el artículo *Por favor ya no planten más árboles* se desarrolló con mayor detalle la problemática al respecto (Chacalo 1997. <http://chandra.uam.mx/verde>).

Limitaciones del sitio para el crecimiento de los árboles.

La evaluación del arbolado de alineación en la Ciudad de México y de su sitio de plantación, mostró que algunas prácticas de arboricultura tales como la selección de especies, la plantación, la poda, la fertilización, el control de plagas y enfermedades o la instalación de cables y pasadores

no han logrado un nivel profesional, a pesar de que se ha invertido una cantidad considerable de trabajo.

El estudio reveló problemas que se pudieron haber evitado a través de una selección apropiada de especies, una mejor adecuación entre el árbol y su sitio específico, y a través de mayor sensibilidad de planeación urbana ambiental que tome en cuenta que los organismos vivientes crecen.

Hoy en día la responsabilidad del manejo y plantación de árboles en la Ciudad de México reside principalmente en el gobierno. Para poder hacer frente a las tareas de producción de planta de buena calidad, realización de programas de estudio para la capacitación en materia de arboricultura o para difundir la cultura del árbol, por mencionar sólo algunos ejemplos, se necesita la participación activa de organizaciones no gubernamentales, viveros particulares, profesionistas y universidades, así como de la sociedad civil. Una población más sensible demandará un arbolado urbano de mejor calidad.

La calidad del paisaje, relacionada estrechamente con la calidad de vida, se debe considerar una prioridad, no un lujo; se necesita reflexionar que la calidad del paisaje urbano se relaciona de manera importante con la calidad del arbolado urbano.

Selección de especies.

La selección de especies para realizar el artículo *Los árboles nativos e introducidos utilizados en la reforestación de la Ciudad de México* se basó en la investigación, la experiencia de los autores y la revisión bibliográfica; sin embargo, es importante insistir en la fase práctica para evaluar el éxito o el fracaso de cada especie en las condiciones urbanas y efectuar estudios detallados sobre más especies con potencial para tolerarlas.

Un aspecto vital es fomentar la cooperación entre las dependencias gubernamentales y las instituciones académicas para efectuar la selección de especies, como forma de evitar el empirismo y la desvinculación que ha caracterizado hasta ahora este trabajo.

Si se toma en consideración que nuestro país tiene el privilegio de ser uno de los más ricos en el mundo en diversidad vegetal, es necesario que se utilice de manera adecuada esta riqueza en

nuestras zonas urbanas y que se valoren nuestros recursos: qué mejor forma que viéndolos representados en nuestra ciudad.

Evaluación del sistema radical a través de la inspección de las raíces observadas contra el vidrio del rizotrón

Aunque los datos de longitud obtenidos contra el vidrio del rizotrón no fueron un buen estimador de la longitud real de la raíz, el rizotrón sirvió para visualizar el desarrollo del sistema radical permitiendo la observación de varios aspectos del mismo (que se deseaban conocer en este proyecto), como el crecimiento del sistema radical en el transcurso del tiempo, algunos rasgos de su morfología, longitud, ramificación, tasa de crecimiento, ocupación del suelo, densidad, competencia con otras especies, crecimiento comparativo en situaciones diferentes como suelo fino contra suelo grueso o suelo compactado contra suelo no compactado. Además, al cosechar las raíces se obtuvo información abundante de su peso seco, área y longitud, distribución real en el perfil del suelo y proporción de biomasa entre la parte aérea y la parte radical.

El rizotrón permitió evaluar la tendencia del crecimiento del sistema radical mediante el análisis acumulativo como lo mostraron las correlaciones altamente significativas obtenidas.

Es posible que si los encinos se hubieran cosechado en el momento en que llegaron al último nivel del rizotrón, las diferencias tan grandes entre la longitud contra el vidrio y la longitud real hubiesen sido menores.

Este trabajo fue un primer proyecto con rizotrones. Para realizar estudios posteriores es posible que con otros diseños de rizotrones se obtengan mejores resultados entre las mediciones de la longitud. Por ejemplo, un rizotrón con dos frentes transparentes o bien un modelo de menor espesor para favorecer que el crecimiento de la raíz se dé en su mayoría contra el vidrio.

Se debe considerar que la asociación entre la raíz que se veía contra el vidrio y la real no era en una dimensión sino en tres. Por este motivo algunos de los resultados obtenidos no fueron significativos.

CONCLUSIONES

En este estudio se probaron nuevas alternativas de especies que puedan soportar las condiciones urbanas antes de su plantación.

Dado que la compactación del suelo reduce la profundidad de la penetración del sistema radical, así como el crecimiento en biomasa de la parte aérea y de la parte radical, la selección adecuada de especies apropiadas para las condiciones de suelo puede minimizar los efectos nocivos.

El crecimiento de las raíces de tres especies en dos tipos de suelo, mostró que las condiciones del suelo parecidas a las que se encuentran en las áreas urbanas pueden crearse en los rizotrones. Aunque éstos no siempre fueron un buen instrumento para estimar la longitud total de la raíz a partir de las observaciones registradas contra el vidrio, sirvieron para visualizar su desarrollo, permitiendo así la observación de varios aspectos del sistema radical que se deseaban conocer en este proyecto.

El crecimiento enérgico de las raíces de *F. uhdei* (fresno) permite explicar por qué esta especie es capaz de crecer de manera tan fácil sobre prácticamente cualquier sitio urbano.

En este experimento las raíces de *Q. crassipes* y *Q. crassifolia* (encinos) penetraron en el suelo urbano moderadamente favorable representado por el suelo de textura fina, pero no tan bien en el suelo menos favorable de textura gruesa. Con base en estos datos, *Q. crassifolia* y *Q. crassipes* podrían funcionar bien para algunos sitios urbanos, pero no para los que presentan condiciones de suelo más difíciles. Los suelos de textura gruesa pueden ser una causa considerable del pobre crecimiento del sistema radical, así como de la baja supervivencia de los árboles en la Ciudad de México.

Un mayor conocimiento de los requerimientos de suelo de las especies nativas de México, permitirá combinar mejor el tipo de planta con el sitio de plantación en condiciones locales, así como introducir en forma exitosa una variedad más amplia de nuevas especies.