

DAÑOS A BANQUETAS POR ARBOLADO DE ALINEACIÓN ESTABLECIDO EN CEPAS EN LA DELEGACIÓN COYOACÁN, DISTRITO FEDERAL

Héctor M. Benavides Meza¹, Roberto López Martínez²
y Jesús Flores Hernández³

RESUMEN

Los daños a estructuras urbanas por raíces de los árboles, principalmente aceras y guarniciones, son un problema muy frecuente en las ciudades. La falta de selección de la especie al sitio de plantación, el espacio disponible para el desarrollo de la planta y las condiciones del suelo son factores importantes que propician la problemática anterior. Diferentes especies arbóreas y condiciones de plantación se utilizan en la Ciudad de México, por lo que es importante reconocer la respuesta de las mismas, con el fin de definir criterios para su correcta ubicación. Para determinar lo anterior se realizó un muestreo aleatorio estratificado en 40 árboles de las 11 especies más frecuentes en la Ciudad de México, ubicados en tres tamaños de cepa (chica, mediana y grande). En cada árbol se registró la presencia o ausencia de daño provocado a banquetas y guarniciones, de acuerdo a una escala categórica según la severidad del mismo. Los resultados se analizaron con la finalidad de obtener los porcentajes de árboles por especie en cada categoría de daño y por cada tipo de cepa. Especies tropicales como *Erythrina coralloides* y *Ficus elastica* presentaron altos porcentajes de individuos en las categorías de mayor destrucción; mientras que en especies de clima templado como *Cupressus lindleyi* y *Populus alba* se registraron bajos porcentajes de árboles en las categorías de daño semisevera y severa. Se concluye que el tamaño de cepa así como la especie arbórea son factores importantes que influyen en la severidad del daño causado a banquetas.

Palabras clave: Arbolado de alineación, cepas en banquetas, Ciudad de México, daños a banquetas, dasonomía urbana, especies arbóreas urbanas.

Fecha de recibido: 02 de julio de 2004.

Fecha de aceptación: 29 de noviembre de 2004.

¹ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF), INIFAP. Correo-e: benavides.hector@inifap.gob.mx

² Carrera de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM.

³ Carrera de Biología, ENEP Iztacala, UNAM.

ABSTRACT

A frequent problem in urban settlements is the damage caused by tree roots to urban structures, especially sidewalks and curbs. The lack of tree species selection to the planting place is among the main factors that promotes these problems, as well as the limited available space for tree root growth and the conditions and characteristics of the soil where the tree is developing. It is important to recognize the response of urban tree species that promote damages, especially in such conditions as in Mexico City, where different kind of planting holes and species are used. The purpose of this study was to determine the damages to sidewalks and curbs produced by trees placed in street planting holes, using a random stratified sampling. Tree species were selected considering their frequency in the urban forest of Mexico City and 40 trees in three different planting holes categories of each species were sampled. The damage to the sidewalks and curbs was classified according to four types of damage. The percentage of trees in each species and planting hole size was analyzed. Tropical species like *Erythrina coralloides* and *Ficus elastica* were founded that caused more damage than temperate climate species like *Populus alba* or *Cupressus lindleyi*. Small planting holes presented more damages than big planting holes, notwithstanding the tree species. Size of the planting hole but also tree species are important factors that have a great influence in the damage caused to sidewalks and curbs.

Key words: Street trees, street planting holes, Mexico City, damages to sidewalk, urban forestry, urban tree species.

INTRODUCCIÓN

El bosque urbano se conforma de los árboles, arbustos y vegetación herbácea asociada que se encuentra a lo largo de las banquetas de calles y avenidas (como arbolado de alineación); así como en los camellones, parques, jardines, cementerios, riberas o bordes de los ríos y arroyos que cruzan las ciudades, derechos de vía y otros espacios abiertos bajo la responsabilidad de los gobiernos municipales y tratándose del Distrito Federal, de los delegacionales (Benavides, 1989).

El arbolado de alineación es una parte importante de este tipo de bosque, pues suele ser un componente numeroso y la cobertura de sus copas proporciona una extensa cubierta vegetal, considerando además la limitada superficie que ocupan las áreas verdes en las ciudades de México. La presencia del arbolado de alineación impacta positivamente el ambiente de las ciudades y mejora las condiciones de vida de los ciudadanos, por lo que se le considera un componente importante de la infraestructura urbana verde (McPherson y Peper, 1996). Entre

los servicios ambientales y beneficios antropocéntricos derivados del arbolado de alineación destacan su uso estético y funcional, depuración de contaminantes atmosféricos como las partículas suspendidas totales, lo cual inclusive repercute en una mejor salud de los habitantes urbanos; así como la producción de oxígeno, regulación de la temperatura e incremento de la humedad relativa, sombra, protección al suelo y hábitat a la fauna (Jorgensen, 1970; Bernatzky, 1978; Jim, 1987; Benavides, 1989; McPherson, 1991; Simpson y McPherson, 1998).

El árbol dentro del ambiente urbano debe ser tratado mediante puntos de vista muy especiales. Por una parte es una unidad que los arquitectos paisajistas usan como elementos decorativos o funcionales en la realización de sus obras; mientras que para los biólogos, agrónomos y profesionistas afines, es un ser vivo que tiene que interactuar con el ambiente y la comunidad en donde se desarrolla. Las funciones vitales de la planta dan como resultado algunos de los beneficios que obtenemos del arbolado, pero también el origen de ciertos problemas como los derivados del crecimiento de su parte subterránea (Whitlow y Bassuk, 1988); por lo que lamentablemente es posible mencionar que el arbolado urbano no está exento de causar algunos daños y problemas a los habitantes o a la infraestructura urbana.

El suelo en el desarrollo de los árboles

El cambio en la estructura de un suelo debido a factores físicos, principalmente mecánicos, se le conoce como compactación y ocurre cuando los conglomerados del suelo son fragmentados, lo que ocasiona la reducción de los poros que contienen aire o agua (Craul, 1992). La zona de crecimiento de la raíz es una parte muy delicada y sensible a la dureza de los suelos, pues si un suelo está demasiado compactado para que la penetración de la raíz sea posible, ésta detendrá su crecimiento o se desviará (Harris, 1992). Los árboles plantados en suelos poco compactados suelen tener buena aireación y desarrollar sistemas radicales adecuados y bien proporcionados (Douglas, 1984). Sin embargo, el suelo en los ambientes urbanos ha sufrido modificaciones debidas a los factores inherentes a los procesos de su formación y mantenimiento, así como a la actividad constante en las ciudades que promueve su compactación, como es el caso del tránsito peatonal y vehicular, la cimentación de calles y edificaciones y el peso de las mismas, por lo que una de las principales características del suelo en ambientes urbanos es su elevado nivel de compactación (Craul, 1992), lo que altera o modifica las condiciones de crecimiento de las plantas que se desarrollan en ese suelo, principalmente los árboles (Kopinga, 1991).

El suelo en la superficie siempre se encuentra menos compactado en relación con las partes más profundas, así que la gran compactación causada por las actividades y edificaciones típicas de las ciudades favorece la formación de

sistemas radicales superficiales que fácilmente dañan las banquetas. El problema se acentúa cuando se eligen especies tropicales, cuyo hábito de crecimiento es precisamente ese, la formación de un extenso y poco profundo sistema de raíces (Douglas, 1984).

Daños materiales provocados por el arbolado urbano

Los sistemas radicales se extienden para explotar el agua y nutrientes del suelo, sin embargo, las raíces son muy sensibles a las condiciones del mismo, especialmente a la compactación, aireación, cantidad de nutrientes minerales y abasto de agua (Brennan *et al.*, 1985). Son varios los factores que intervienen en la forma en que la porción subterránea de la planta se desarrolla y como ésta provoca o no daños en las estructuras aledañas. Entre estos factores destacan el tamaño de la cepa, las características de la especie, el tipo y condición del suelo y la humedad del suelo (Wagar, 1983). El crecimiento de las raíces es variable y depende del tipo de especie, las condiciones del suelo, el estado de la cobertura y la irrigación a que están expuestas y es esencial para un sano desarrollo de las plantas. Sin embargo, las raíces también pueden causar problemas al romper y levantar banquetas, guarniciones, pavimentos y cimientos (Harris, 1992).

Espacio para plantación

La cepa en las banquetas proporciona un espacio básico a la planta para su subsistencia, al permitir a la misma obtener agua y aire para que las raíces puedan mantener su actividad fisiológica; por lo que el espacio que se le proporcione a las mismas es de gran importancia para asegurar su mejor desarrollo. Con base en lo anterior, la cepa puede describirse como aquella excavación en el suelo cuya superficie está descubierta de asfalto o concreto y por la cual el arbolado de alineación obtiene agua y aire.

La plantación de especies de árboles que alcanzan grandes dimensiones en cepas pequeñas es un problema muy habitual en las ciudades de México y a menudo se observa en las banquetas, especímenes de grandes dimensiones establecidos en cepas diminutas (Figura 1), que ven limitado su desarrollo por las aceras, tuberías y ductos subterráneos, así como con edificios y casas o bardas aledañas. Lo anterior es agravado por la utilización de especies de climas tropicales y subtropicales, como es el caso de *Ficus elastica* Roxb. ex Hornem, *Erythrina coralloides* D.C., *Jacaranda mimosifolia* D. Don y *Casuarina equisetifolia* L. ex J. R. & G. Forst, que en muchas ocasiones presentan gruesos troncos, vigorosas raíces superficiales y grandes contrafuertes, necesarios para sostener las amplias y pesadas copas que los hacen atractivos para la gente que los planta y que frecuentemente no toman en cuenta las características del árbol a futuro (Douglas, 1984; Benavides, 1990). Gran parte de este problema obedece a la nula

selección de las especies al sitio de plantación por parte de las dependencias encargadas de la reforestación urbana, quienes no respetan el principio básico de la arboricultura urbana de que debe ubicarse la especie adecuada al sitio de plantación, lo que ha ocasionado que los daños a la infraestructura urbana en las ciudades de la República Mexicana sean muy recurrentes.



Figura 1. Árboles de gran porte que frecuentemente son mal ubicados en las banquetas de calles y avenidas de la Ciudad de México.

Impacto económico de los daños a banquetas

Lamentablemente no existe información para las ciudades de México con respecto al costo que implica la reparación de banquetas de calles y avenidas. Sin embargo, en las ciudades de los Estados Unidos de América, los costos por reparación de calles debido a los daños relacionados con el arbolado urbano son

estimados en aproximadamente \$27,000 dólares anuales en promedio por ciudad y esta cantidad puede llegar a sumar más de \$200,000 dólares en algunos casos (Douglas, 1984). En el Estado de California se han llegado a gastar más de 7 millones de dólares en reparaciones de banquetas y obras públicas dañadas (Dodge, 2000). Asimismo, McPherson (2000) reportó con base en un sondeo que hizo en 18 ciudades de ese estado, un gasto de 6.6 millones de dólares de los EUA para la reparación de problemas en banquetas originados por los árboles. Lo anterior pone de manifiesto que se deben considerar seriamente los costos de una plantación mal planeada o negligente.

Pese a lo evidente del problema, es sorprendente la falta de trabajos en nuestro país encaminados a conocer las especies que provocan mayores daños en ambientes urbanos (Benavides, 1990). El vacío en la documentación de esta problemática es lo que motivó la realización del presente trabajo, que tuvo como objetivo la caracterización y cuantificación de los daños producidos a banquetas por las especies de árboles más utilizados en el arbolado de alineación de la Ciudad de México, así como identificar aquellas especies que provocan mayores problemas en las banquetas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación de los daños provocados a las banquetas se realizó en calles de varias colonias ubicadas en la Delegación Coyoacán, Distrito Federal, México, dentro de la zona que presenta suelos arcillosos de tipo Feozem Háptico de acuerdo con la carta E-14-A-39 de la CETENAL (1977). Este tipo de suelo es el más común dentro del área urbana de la Ciudad de México y corresponde en su gran mayoría con los antiguos lechos de los lagos que formaban esta cuenca endorreica. Con el fin de tener resultados representativos de esta condición no se consideró en el estudio el área dentro de la zona del antiguo derrame volcánico del Xitle, que se conoce en términos generales como zona de pedregales, es decir, sólo se muestrearon colonias en donde se tenía la certeza que el litosol volcánico no se presentara a nivel superficial.

Para la elección de los árboles que conformaron la muestra se usaron los siguientes criterios:

- a) Plantas con un diámetro normal superior a 10 cm y altura de dos m.
- b) Individuos plantados en cepas ubicadas en la banqueta, las cuales se clasificaron de acuerdo con la superficie descubierta en el concreto (Cuadro 1).
- c) Árboles de las especies más frecuentemente presentes en la Ciudad de México (Cuadro 2), de acuerdo con la información generada en diferentes estudios realizados previamente en el Subprograma de Investigación de Dasonomía Urbana del INIFAP (Benavides y Segura, 1996).

Con base en los anteriores criterios se realizaron recorridos a pie por diferentes calles de la delegación, en los que se tomaron al azar los datos de 40 árboles de cada especie en cada tamaño de cepa definido. Por lo tanto el método de muestreo usado fue aleatorio estratificado, en el que se incluyeron 120 árboles por especie y el total, considerando todas las especies y tamaños de cepa fue de 1320 individuos.

Cuadro 1. Características de los tamaños de cepa definidos para llevar a cabo el muestreo en el arbolado de alineación en la Delegación Coyoacán.

Categoría	Área mínima (cm ²)	Área máxima (cm ²)	Largo x ancho mínimo (cm)	Largo x ancho máximo (cm)
Pequeña	1600	3600	40 x 40	60 x 60
Mediana	3601	6400	61 x 60	80 x 80
Grande	6400	16,900	81 x 80	120 x 120

Evaluación de los daños a banquetas

Los daños provocados a banquetas fueron catalogados por medio de una escala ordinal, de acuerdo a los criterios que se describen en el Cuadro 3 para cada categoría y se ilustran en la Figura 2.

La elevación de las banquetas y/o separación de las guarniciones se midió con una regla, mientras que el diámetro de los troncos se determinó con cinta diamétrica (Forestry Suppliers) y la altura se estimó con una pistola Haga.

RESULTADOS

Los daños a banquetas provocados por el arbolado de alineación es un problema que se encontró con frecuencia en la Delegación Coyoacán, pues el 71.8% del total de los árboles muestreados, sin considerar el tamaño de cepa en el que estuvieran establecidos, habían provocando algún tipo de daño. Asimismo, en las siguientes especies se observaron los mayores porcentajes de árboles que produjeron algún tipo de daño: *Jacaranda mimosifolia* (98.33%), *Erythrina coralloides* (90.83%), *Ficus elastica* (86.33%) y *Casuarina equisetifolia* (85.84%), (Figura 3). No obstante lo anterior, la respuesta de las especies difiere en relación al tamaño de la cepa en que se encuentren ubicados.

Cuadro 2. Especies arbóreas muestreados en la delegación Coyoacán y sus nombres comunes.

Especie	Clave	Nombre común
<i>Casuarina equisetifolia</i> L. ex J.R. & G. Forst	Ce	casuarina
<i>Cupressus lindleyi</i> Klotch	Cl	cedro blanco
<i>Erythrina coralloides</i> D.C.	Ec	colorin
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnhardt	Eu	eucalipto
<i>Ficus elastica</i> Roxb. ex Hornem.	Fe	Hule
<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenzing) Ling.	Fu	fresno
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	Jm	jacaranda
<i>Ligustrum lucidum</i> Aiton	Ll	trueno
<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	Ls	liquidámbar
<i>Populus alba</i> L.	Pa	álamo
<i>Ulmus parvifolia</i> Jacq.	Up	olmo chino

Cepas pequeñas.- En los árboles establecidos en cepas de menor superficie se encontró que en la mayoría de las especies se presentó un mayor número de individuos que produjeron algún tipo de daño a la banqueta, que aquellos que no lo provocaron. Es importante resaltar que el 100% de los ejemplares de *J. mimosifolia* ocasionaron algún daño; mientras que en *C. equisetifolia*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Ulmus parvifolia* y *F. elastica*, más del 70% de los árboles generaron daños a las banquetas. El caso contrario se presentó en *Populus alba* y *Cupressus lindleyi*, en las cuales fue mayor el porcentaje de ejemplares que no provocaron daños que los que sí lo indujeron (Figura 4).

En el Cuadro 4 se presentan los valores porcentuales obtenidos en cada especie de acuerdo a las diferentes categorías de daño a banquetas, en términos generales se observa que los mayores porcentajes de árboles que ocasionaron un daño a banquetas se encontraron en los tipos mínimo y regular, con la

Cuadro 3. Escala ordinal de los daños provocados a banquetas por el arbolado de alineación.

Categoría	Valor numérico	Características
Ninguno	0	Banqueta en buenas condiciones (no se encuentra levantada ni fracturada).
Mínimo	1	Banqueta con una elevación superficial (máximo de 3 cm del nivel original) y aparición de fisuras).
Regular	2	Banqueta con una elevación entre 3 y 6 cm y fisuras muy evidentes.
Severo	3	Banqueta con una elevación entre 6 y 10 cm, fragmentada y la guarnición comienza a separarse.
Muy severo	4	Banqueta elevada más de 10 cm y con fragmentos sueltos. La guarnición está muy separada o ya no se encuentra.

excepción de *E. coralloides*, en la cual se obtuvo un alto porcentaje de individuos en la categoría severa (Cuadro 4). El 50% de los individuos o más de las especies *C. equisetifolia*, *E. coralloides* y *J. mimosifolia*, provocaron daños de gran importancia a las banquetas, de acuerdo a la sumatoria de los porcentajes en los daños severo y muy severo y resalta el valor registrado en *Fraxinus uhdei* y *F. elastica*, pues cerca del 20% de los individuos muestreados ocasionaron este tipo de daños. Es conveniente mencionar que en las especies que se registraron los mayores valores de sumatoria de daño, presentaron asimismo los mayores diámetros promedio. Sin embargo en valores similares como es el caso de *F. uhdei* y *E. coralloides*, la sumatoria de daños 3 y 4 es muy diferente, pues en la primera llega a menos del 20% de los árboles, mientras que en la segunda alcanza al 70% de los individuos muestreados.

Cepas medianas.- En los árboles ubicados en este tipo de cepas se registró una respuesta similar a la obtenida en cepas pequeñas, pues en las *Populus alba* y *Cupressus lindleyi* se presentó un mayor porcentaje de árboles que no provocaron daños que de aquellos que produjeron alguno (Figura 5). En el caso de las especies *Casuarina equisetifolia*, *Erythrina coralloides*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Jacaranda mimosifolia* y *Ficus elastica*, nuevamente se encontró que un porcentaje muy considerable de árboles afectaron las aceras y guarniciones.

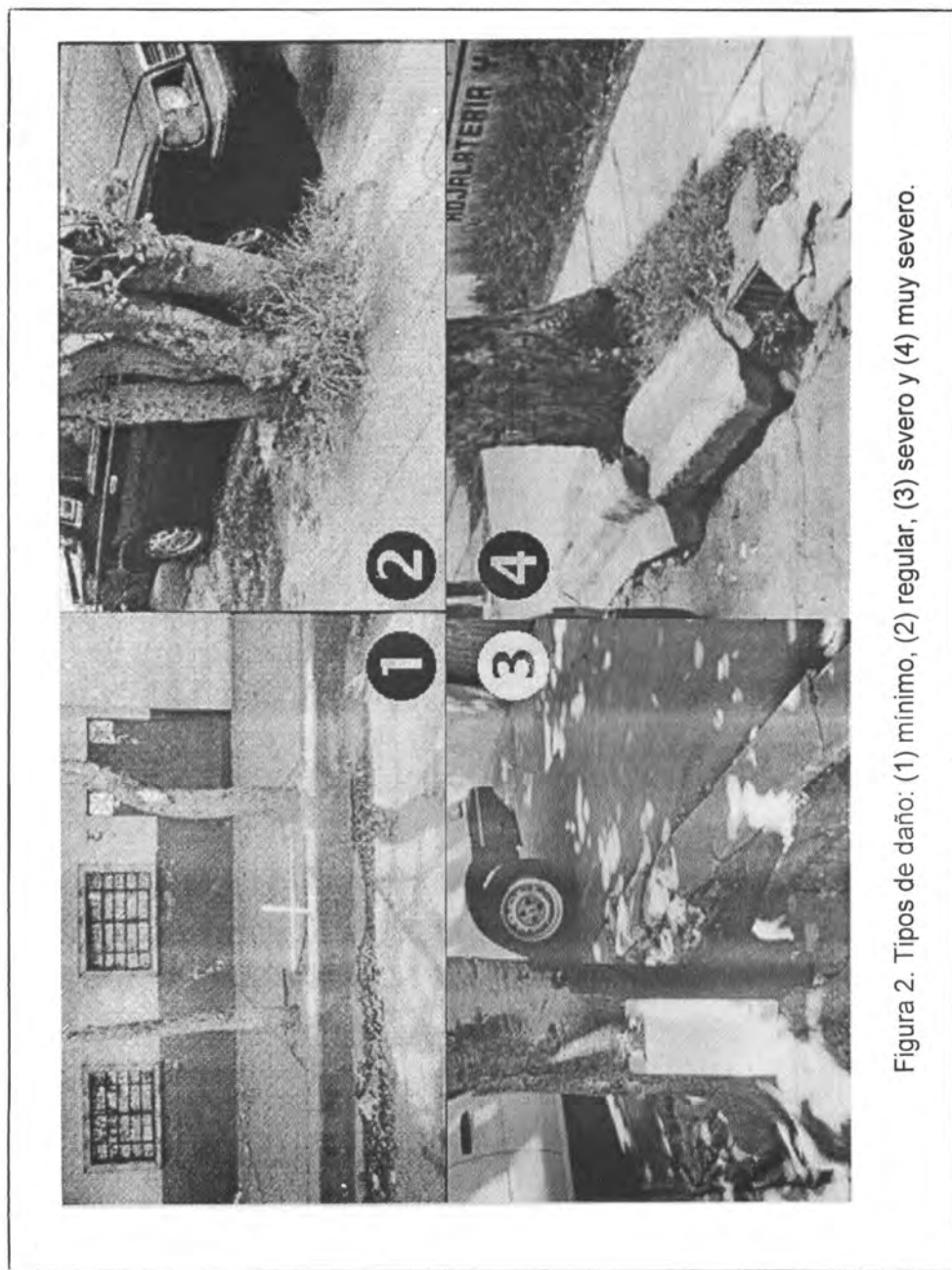


Figura 2. Tipos de daño: (1) mínimo, (2) regular, (3) severo y (4) muy severo.

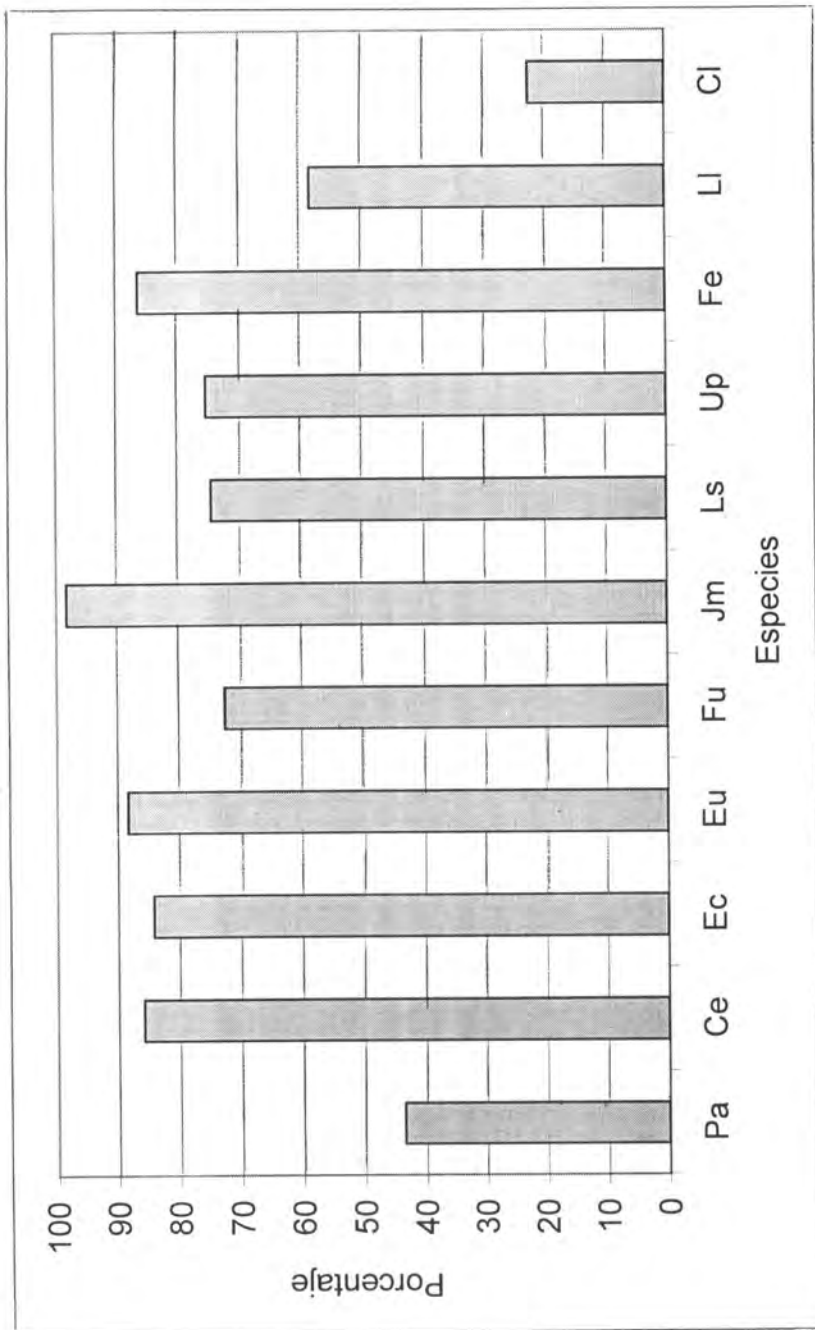


Figura 3. Frecuencia relativa de árboles por especie que provocaron algún tipo de daño a las banquetas, sin considerar el tamaño de cepa en que estaban ubicados.

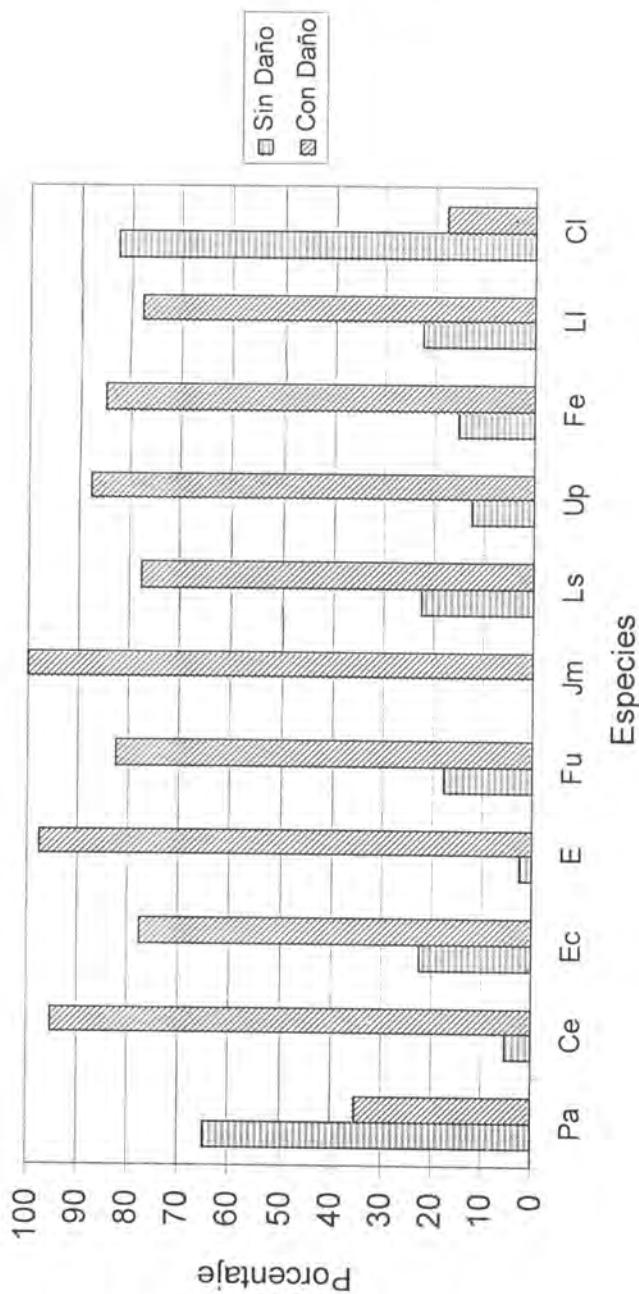


Figura 4. Frecuencia relativa de árboles por especie ubicados en cepas pequeñas que provocaron algún tipo de daño a banquetas.

Cuadro 4. Porcentaje de árboles en cada tipo de daño provocado a banquetas al estar ubicados en cepas pequeñas, así como la sumatoria de los porcentajes de daños severo y muy severo y los datos dendrométricos promedio por especie.

Especie	Daño muy severo (4)	Daño severo (3)	Daño regular (2)	Daño mínimo (1)	Sin daño (0)	Sumatoria de porcentajes daños 3 y 4	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (m)
<i>Casuarina equisetifolia</i>	32.5	12.5	37.5	12.5	5.0	45.0	38.79	10.71
<i>Cupressus lindleyi</i>	0.0	0.0	7.5	10.0	82.5	0.0	19.72	6.76
<i>Erythrina coralloides</i>	52.5	17.5	15.0	12.5	2.5	70.0	35.27	4.49
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	5.0	5.0	20.0	47.5	22.5	10.0	26.79	8.67
<i>Ficus elastica</i>	7.5	12.5	37.5	27.5	15.0	20.0	25.99	5.03
<i>Fraxinus uhdei</i>	7.5	10.0	42.5	22.5	17.5	17.5	32.08	6.84
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	27.5	22.5	42.5	7.5	0.0	50.0	39.87	6.69
<i>Ligustrum lucidum</i>	7.5	17.5	27.5	25.0	22.5	25.0	24.7	4.6
<i>Liquidambar styraciflua</i>	7.5	15.0	22.5	32.5	22.5	22.5	19.2	5.46
<i>Populus alba</i>	2.5	2.5	7.5	22.5	65.0	5.0	14.03	4.06
<i>Ulmus parvifolia</i>	5.0	7.5	32.5	42.5	12.5	12.5	20.67	6.03

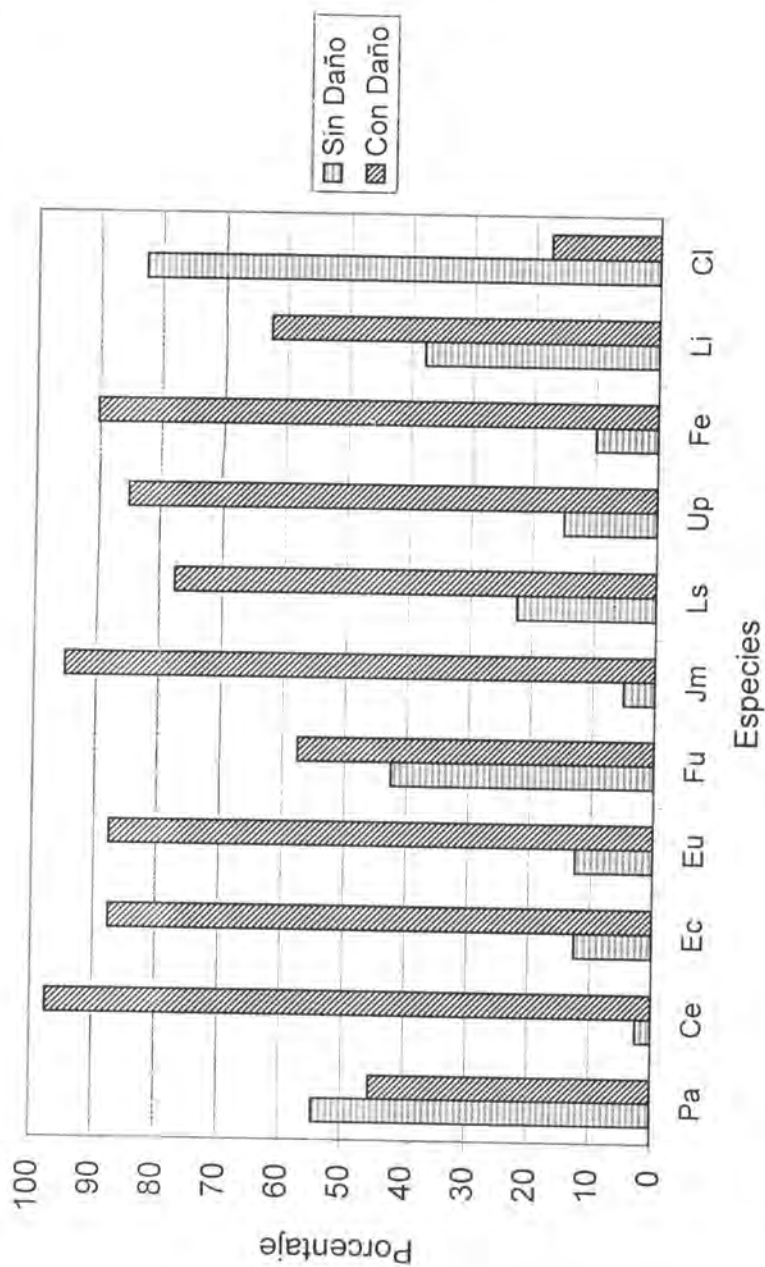


Figura 5. Frecuencia relativa de árboles por especie ubicados en cepas medianas, que provocaron algún tipo de daño a banquetas.

En el Cuadro 5 se observan los valores porcentuales por especie que se registraron en cada categoría de daño, entre las que destaca el alto valor porcentual de árboles de *C. lindleyi* (82.5%) que no provocaron daño. Sigue en importancia el porcentaje encontrado en *P. alba*, superior al 50%; mientras que en *Fraxinus uhdei* y *Ligustrum lucidum* se obtuvieron porcentajes relativamente elevados de árboles que no provocaron daño a banquetas y guarniciones (42.5% y 37.5% respectivamente).

Los menores porcentajes de individuos se encontraron en la categoría de daño severo en *P. alba*, *F. uhdei*, *L. lucidum*, *Liquidambar styraciflua* y *Ulmus parvifolia*, e incluso, en *C. lindleyi* no hubo individuo que ocasionaran este tipo de daño (Cuadro 5). En contraste, los mayores porcentajes de árboles causantes de daños graves se presentaron en *E. coralloides* y *J. mimosifolia*, si bien en esta última especie, el valor porcentual es igual al del daño regular.

Salvo las particularidades mencionadas anteriormente, los más altos porcentajes de árboles se encontraron en las categorías de daño regular y severo, aunque es importante resaltar que en las especies *F. uhdei*, *L. styraciflua*, *U. parvifolia* y *L. lucidum*, los porcentajes más elevados se registraron en la categoría de daño mínimo.

Lo anterior se ejemplifica mejor con los valores de sumatoria de los porcentajes de los daños severo y muy severo (Cuadro 5), pues los mayores valores se encontraron en *C. equisetifolia*, *E. coralloides*, *F. elastica* y *J. mimosifolia*, en las cuales el 50% o más de los individuos muestreados ocasionaron un daño importante a las banquetas y guarniciones y siguió en importancia *E. camaldulensis* que presentó un valor de 45%.

Al igual que en las cepas pequeñas, las especies que provocaron los mayores problemas de daños también presentaron los mayores diámetros promedio, aunque en el caso de *L. lucidum*, el diámetro es muy cercano al de *J. mimosifolia* o *F. elastica*, pero su distribución porcentual de árboles que indujeron daños es muy diferente, pues es mayor el número de árboles en categorías de daño menor en comparación con estas últimas especies (Cuadro 5).

Cepas grandes.- El porcentaje de árboles que provocaron daño al estar establecidos en cepas grandes se observa en el Cuadro 6. Nuevamente *Cupressus lindleyi* presentó un mayor porcentaje de individuos que no provocaron daño a las banquetas que aquellos que sí lo ocasionaron, respuesta que también se registró en *Ligustrum lucidum*.

En cuanto a los porcentajes encontrados en *Populus alba*, se registraron valores iguales de árboles que dañaron banquetas y guarniciones que de aquellos que no ocasionaron problemas (Figura 6), condición diferente a lo observado en los tamaños de cepa anteriores. En el resto de las especies fue mayor el valor

Cuadro 5. Porcentaje de árboles en cada tipo de daño provocado a banquetas al estar ubicados en cepas medianas, así como la sumatoria de los porcentajes de daños severo y muy severo y los datos dendrométricos promedio por especie.

Especie	Daño muy severo (4)	Daño severo (3)	Daño regular (2)	Daño mínimo (1)	Sin daño (0)	Sumatoria de porcentajes daños 3 y 4	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (m)
<i>Casuarina equisetifolia</i>	27.5	30.0	35.0	5.0	2.5	57.5	46.05	11.33
<i>Cupressus lindleyi</i>	0.0	2.5	5.0	10.0	82.5	2.5	23.14	6.16
<i>Erythrina coralloides</i>	35.0	22.5	20.0	10.0	12.5	57.5	38.18	4.19
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	27.5	17.5	22.5	20.0	12.5	45.0	38.31	13.36
<i>Ficus elastica</i>	27.5	22.5	20.0	20.0	10.0	50.0	30.07	5.72
<i>Fraxinus uhdei</i>	5.0	15.0	15.0	22.5	42.5	20.0	21.06	6.21
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	32.5	22.5	32.5	7.5	5.0	55.0	30.81	7.37
<i>Ligustrum lucidum</i>	5.0	0.0	17.5	40.0	37.5	5.0	27.49	5.06
<i>Liquidambar styraciflua</i>	5.0	20.0	25.0	27.5	22.5	25.0	20.26	5.45
<i>Populus alba</i>	4.5	4.5	22.5	13.5	54.5	9.0	18.63	4.75
<i>Ulmus parvifolia</i>	5.0	12.5	25.0	42.5	15.5	17.5	21.09	5.97

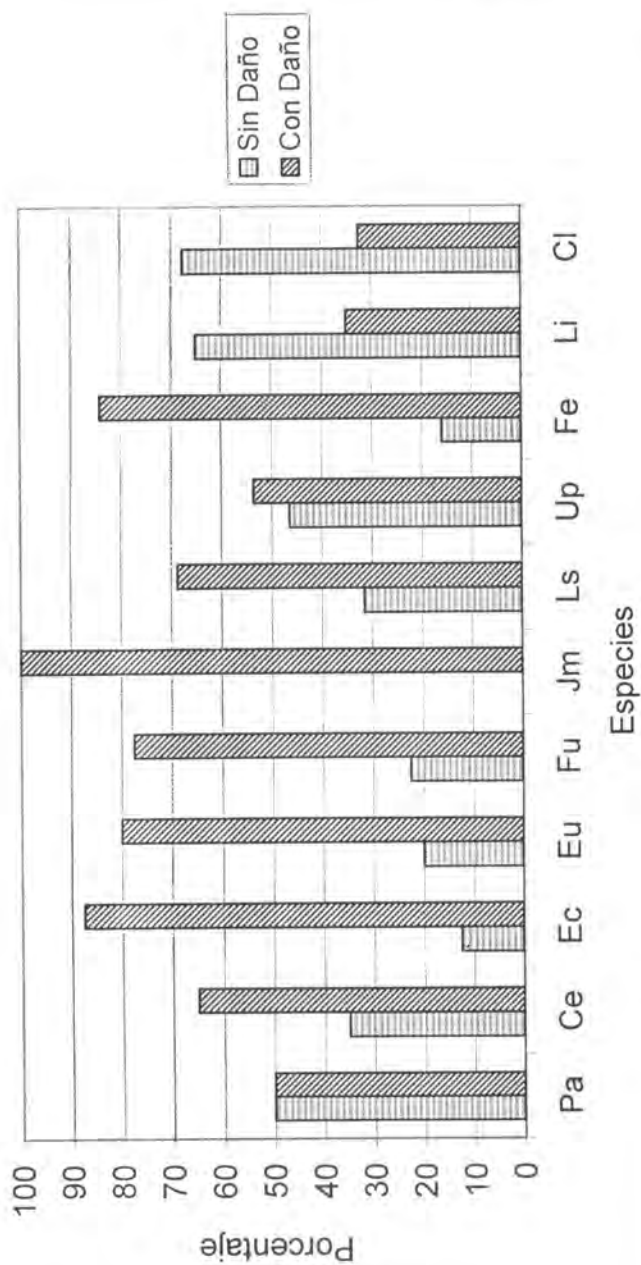


Figura 6. Frecuencia relativa de árboles por especie ubicados en cepas grandes que provocaron algún tipo de daño a banquetas.

porcentual de árboles que afectaban las banquetas que de aquellos que no lo hacían, entre las que resalta *Jacaranda mimosifolia* ya que el 100% de los individuos provocaron algún tipo de daño, no obstante el mayor espacio proporcionado por las cepas (Figura 6).

Se encontró una respuesta diferente entre las especies en las distintas categorías de daño (Cuadro 6), pues en *Casuarina equisetifolia*, *Erythrina coralloides*, *Ficus elastica* y *J. mimosifolia*, los mayores porcentajes de daño se presentaron en la categoría de daño severo; en *Eucalyptus camaldulensis* los mayores porcentajes se registraron en los tipos severo y regular, mientras que en *Ligustrum lucidum*, *Liquidambar styraciflua* y *Ulmus parvifolia*, los mayores porcentajes se encontraron en los daños regular y mínimo.

Es importante resaltar que los valores por tipo de daño registrados en los tamaños de cepa mediana y chica difieren con los resultados observados en las cepas grandes, pues en éstas los porcentajes de daño fueron mayores en las categorías de afectación mínima y regular y algo menores en los tipos de daño severo y muy severo. Lo anterior se ejemplifica con la sumatoria de los porcentajes de estas últimas categorías de daño (Cuadro 6), pues *J. mimosifolia* y *F. elastica* presentaron valores porcentuales elevados del 70 y 56% respectivamente, mientras que en *E. coralloides* y *E. camaldulensis* se registraron valores de 42.5 y 32.5% y en *C. equisetifolia* disminuyó a 30%, mientras que en el resto de las especies fue inferior a 20%. Resaltan en este tamaño de cepa los bajos valores de sumatoria encontrados en *C. lindleyi* y *L. lucidum*, pues un número menor al 10% de los individuos muestreados ocasionó un daño considerable a las banquetas (Cuadro 6).

En las especies que presentaron los mayores valores de sumatoria de porcentajes en las categorías de daño 3 y 4, también registraron los diámetros promedio más elevados. Resalta sin embargo la respuesta encontrada en *C. equisetifolia*, que no obstante presentar un diámetro promedio similar al de *E. coralloides* o *J. mimosifolia*, se observó que el mayor porcentaje de individuos se registró en la categoría de sin daño y la sumatoria de daños 3 y 4 fue de 30%, mientras que en las otras dos especies mencionadas, se registraron valores superiores a 40 y 70% respectivamente. También es importante comentar la respuesta encontrada en *C. lindleyi* y *L. lucidum*, pues no obstante haberse registrado un diámetro promedio superior a 35 cm (Cuadro 6), el mayor número de árboles no ocasionó daños a la banqueta y la sumatoria de daños severos y muy severos fue de 2.5 y 7.5% respectivamente.

DISCUSIÓN

Las especies con mayores diámetros promedio presentaron los más altos valores de sumatoria de los daños severo y muy severo, lo cual es lógico suponer ya que conforme se incrementa la dimensión del arbolado se aumenta la posibilidad de generar daños. Lo anterior se ejemplifica con los datos registrados en los

Cuadro 6. Porcentaje de árboles en cada tipo de daño provocado a banquetas al estar ubicados en cepas grandes, así como la sumatoria de los porcentajes de daños severo y muy severo y los datos dendrométricos promedio por especie.

Especie	Daño muy severo (4)	Daño severo (3)	Daño regular (2)	Daño mínimo (1)	Sin daño (0)	Sumatoria de porcentajes daños 3 y 4	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (m)
<i>Casuarina equisetifolia</i>	25.0	5.0	25.0	10.0	35.0	30.0	40.76	10.11
<i>Cupressus lindleyi</i>	0.0	2.5	12.5	17.5	67.5	2.5	37.34	9.35
<i>Erythrina coralloides</i>	32.5	10.0	30.0	15.0	12.5	42.5	41.20	5.87
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	5.0	27.5	27.5	20.0	20.0	32.5	50.87	12.78
<i>Ficus elastica</i>	28.0	28.0	16.0	12.0	16.0	56.0	31.73	6.50
<i>Fraxinus uhdei</i>	17.5	17.5	25.0	17.5	22.5	35.0	54.28	12.44
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	42.5	27.5	25.0	5.0	0.0	70.0	36.04	9.05
<i>Ligustrum lucidum</i>	2.5	5.0	5.0	22.5	65.0	7.5	36.96	4.88
<i>Liquidambar styraciflua</i>	10.5	5.5	31.5	21.5	31.5	16.0	22.57	5.50
<i>Populus alba</i>	0.0	16.5	16.5	16.5	50.0	16.5	22.75	4.58
<i>Ulmus parvifolia</i>	7.5	3.5	25.0	17.5	46.5	11.0	30.71	6.29

árboles de *Jacaranda mimosifolia*, *Casuarina equisetifolia* y *Erythrina coralloides* muestreados en cepas pequeñas, pues los mayores diámetros se registraron en éstas y también presentaron los más elevados porcentajes de daño en las categorías severo y muy severo; así como los valores de sumatoria más altos.

En las cepas medianas se observó una respuesta similar, aunque en este tipo de ubicación se encontraron los mayores porcentajes en el tipo de daño severo en *E. coralloides*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Ficus elastica*, en las que se registraron diámetros superiores al resto de las especies, con excepción de *J. mimosifolia* y *C. equisetifolia*, que no obstante presentaron diámetros considerables, el valor más frecuente de daño fue regular en ambos casos.

En las cepas grandes los mayores porcentajes de individuos en todas las especies tienden a presentarse en valores de daño menores, no obstante que los diámetros fueron mayores, con la excepción de *E. coralloides*. Lo anterior ejemplifica la influencia considerable del diámetro del tronco, como lo muestran los cuadros 4, 5 y 6, en los cuales se observa que las especies que presentaron mayores diámetros, se registraron por lo regular valores de sumatoria más elevados de daños severo y muy severo.

El espacio limitado influye considerablemente en el inicio del conflicto que se presenta entre las raíces del árbol y las banquetas (Barker, 1983). Lo anterior resalta la importancia de que los sistemas radicales de los árboles cuenten con un espacio adecuado, que redunde en una disminución en los daños a la banqueta. En algunas especies el porcentaje de árboles que causan daños de regulares a severos tiende a disminuir, conforme se incrementa el lugar disponible para las raíces y el árbol mismo, debido a que éstas tendrán una superficie mayor para explorar aunado a que se incrementa la posibilidad de infiltración de oxígeno y agua al suelo, factores fundamentales para el desarrollo de las raíces (Craul, 1992).

Wagar y Barker (1983) reportan una estrecha correlación entre el tamaño de los árboles y los problemas que se generan a las banquetas y guarniciones, pues registraron que los árboles de mayor tamaño causaban los daños más considerables en comparación con los árboles de tamaño pequeño y gran parte de esta respuesta se asociaba estrechamente con el diámetro de los mismos.

De igual manera el tamaño de la cepa en el que fueron plantados los árboles influye considerablemente y los datos registrados en *Ligustrum lucidum* ejemplifican esta situación pues el valor de sumatoria de porcentajes de árboles que ocasionaron daños de tipo severo y muy severo pasó de 25.0% en cepas chicas, a 7.5% en cepas grandes. Situación similar se encontró en *Ulmus parvifolia* que disminuyó de 12.5 a 11% e incluso en *E. coralloides*, que descendió de 70.0 a 42.5%.

No obstante el tamaño de la cepa, la especie plantada en ellas y el hábito de crecimiento de sus raíces será un factor importante en el levantamiento y rompimiento de las banquetas. Las especies que permiten fundamentar lo anterior son *J. mimosifolia*, *F. elastica*, *E. coralloides* y *C. equisetifolia*, pues en los árboles plantados en cepas grandes se registraron valores de sumatoria de daños tipo severo y muy severo de 70, 56, 42.5 y 30% respectivamente.

En las especies provenientes de selvas bajas y medianas se registraron los mayores porcentajes de daños severos y muy severos, como lo muestran los resultados registrados en *Erythrina coralloides*, *Jacaranda mimosifolia* y *Ficus elastica*. La primera es nativa de la selva baja caducifolia del centro de México, en donde se presentan suelos pobres, pedregosos y de una estacionalidad climática muy marcada, pues la época de estiaje está claramente definida (Rzedowski, 1978). Lo anterior explica la necesidad de esta especie a desarrollar sistemas radicales superficiales para captar lo más rápido posible los nutrientes y agua del suelo. *J. mimosifolia* es originaria de las zonas secas tropicales de América del Sur, específicamente del sur de Brasil, noreste de Argentina y norte de Uruguay (Kunkel, 1978), lo que permite suponer condiciones similares de desarrollo como las reportadas para *E. coralloides*. *F. elastica* es nativa de las áreas tropicales del norte de India, en donde puede alcanzar hasta 60 m de altura (Kunkel, 1978) y sus características morfológicas (contrafuertes y raíces adventicias), hacen suponer que provenga de zonas selváticas donde los suelos frecuentemente son delgados y pobres desde el punto de vista nutricional y por lo mismo, las raíces tienden a ser superficiales para capturar lo más rápido posible los nutrientes (Wilde, 1958).

Casuarina equisetifolia proviene de zonas tropicales costeras de Australia con suelos arenosos y presenta raíces laterales extensas y superficiales (Maino y Howard, 1955; Kunkel, 1978; Pennington y Sarukhan, 1998, Parrota 2004); lo que permite explicar el hábito de crecimiento de las raíces de esta especie en la Ciudad de México, pues en la zona de estudio se presentan suelos tipo Feozem Háptico (CETENAL, 1977), que al ser arcillosos, dificultan la infiltración de agua y oxígeno a las capas subyacentes. En los suelos arenosos estos factores vitales para las plantas no están tan limitados y suelen alcanzar mayores profundidades (Craul, 1992). *C. equisetifolia* también tiene una tendencia muy fuerte a la reproducción vegetativa por medio de la emisión de vástagos a partir de la parte baja del tronco (Parrota, 2004) lo que favorece la aparición de fustes competidores dotados de sistemas radicales propios, aunque esta situación no fue observada en el arbolado muestreado. Situación similar ocurre con *Eucalyptus camaldulensis*, ya que si bien es conocido que esta especie tiene una gran rusticidad, rápido crecimiento y plasticidad para adaptarse a diferentes condiciones, comúnmente no se le planta en terrenos de escasa consistencia ya que carece de un sistema radical profundo (Mangieri y Dimitri, 1961). Una publicación de la FAO (1981) menciona que las especies de este género no

deben ser plantados en lugares cercanos a los cimientos de las casas por lo vigoroso de sus raíces. Por lo anterior, las raíces superficiales de esta especie la hacen proclive a levantar banquetas, guarniciones y aún más lamentable en condiciones urbanas, su caída por los altos fustes y amplias copas que desarrollan, lo que puede provocar serios problemas al estar ubicada en lugares donde no debieron ser plantados este tipo de árboles.

Lo anterior no implica que las especies de clima templado no provoquen daños a las aceras y guarniciones, pues se llegó a encontrar estos problemas en los árboles muestrados de *Fraxinus uhdei*, *Liquidambar styraciflua*, *Ulmus parvifolia* y *Ligustrum lucidum*, aunque presentaron menores valores de sumatoria de daños tipo severo y muy severo, no obstante se registraran diámetros promedio considerables. En este aspecto cabe destacar la respuesta registrada en los árboles de *Cupressus lindleyi* ubicados en cepas grandes, ya que un número elevado de éstos no provocaron daños de importancia a las banquetas y la sumatoria de porcentajes de daños tipo severo y muy severo fue de 2.5%; mientras que en los árboles de *F. uhdei* se registró en las cepas grandes un valor de sumatoria de daños severos y muy severos de 35%, aunque el valor promedio de diámetro (54.28 cm) fue el más elevado de todas las especies (Cuadro 6).

La variación entre especies con respecto a daño a banquetas también fue comparado en California por Wagar y Barker (1983), en donde *Liquidambar styraciflua* fue catalogada como la especie que ocasionaba los mayores desplazamientos a las banquetas y guarniciones, mientras que en *Prunus* spp. se registraron los menores porcentajes de árboles que ocasionaron un daño. En este estudio la respuesta de *L. styraciflua* fue intermedia en cuanto a los daños provocados, lo cual puede estar relacionado a que ha sido utilizada recientemente en forma considerable y las dimensiones que alcanzan estos árboles no han propiciado aún la afectación de las estructuras urbanas y seguramente se presentará en forma más notoria en un futuro.

Un aspecto de interés que debe ser considerado en trabajos posteriores se relaciona con las características y condiciones del suelo en donde se desarrollan los árboles. En este trabajo no fue posible llevar a cabo lo anterior, principalmente por la imposibilidad física de obtener muestras de las cepas, debido a que las raíces de los árboles ocupaban gran parte de las mismas, lo que habría ocasionado un daño al intentar dicho muestreo. Es posible suponer que todos los individuos se encontraban en condiciones similares de suelo, pues el muestreo se realizó en colonias cercanas dentro de la Delegación Coyoacán y nunca se intervino en la zona donde el pedregal es superficial; sin embargo, es conveniente tomar en cuenta lo que menciona Craul (1992), en cuanto a la gran variabilidad de suelos que se encuentran en las zonas urbanas debido a los procesos de cimentación, pavimentación así como de construcción de viviendas y banquetas, que

frecuentemente recurren al relleno con material ajeno a la zona con el fin de mejorar el sitio desde el punto de vista de la ingeniería. De igual manera, será conveniente en el futuro, evaluar las condiciones de compactación del suelo, pues en este caso no fue posible determinar esa condición, pero sin embargo, al tratarse de árboles en banquetas los niveles de compactación deben ser considerables.

Este trabajo permite documentar para la Ciudad de México uno de los criterios básicos de la dasonomía urbana, en cuanto a la importancia de la selección de la especie al sitio de plantación y para lo cual es necesario que se conozcan las características y hábitos de crecimiento de las especies. De igual manera, el tamaño de la cepa disponible es fundamental para la selección de la especie, con el fin de reducir la posibilidad de daños o molestias que provoque el arbolado en el futuro a los habitantes o la infraestructura urbana.

CONCLUSIONES

El tamaño de la cepa y por ende el espacio disponible para el desarrollo de las raíces, es fundamental para disminuir el daño ocasionado por el arbolado de alineación a las banquetas y guarniciones. Por esta razón, las cepas pequeñas deberán evitarse en las banquetas de las ciudades o en su defecto, plantar en las mismas preferentemente arbustos o árboles de bajo porte.

El hábito de crecimiento de las raíces en la especie influye considerablemente en el daño a las banquetas, por lo que las especies con raíces superficiales como *Casuarina equisetifolia*, *Erythrina coralloides*, *Jacaranda mimosifolia* y *Ficus elastica*, no deberán ser plantadas en cepas pequeñas y medianas, es decir, con una superficie menor a 6,400 cm². Incluso, estas especies es preferible no utilizarlas como arbolado de alineación en banquetas o camellones angostos, pues aun cuando son plantadas en cepas grandes, llegan a provocar daños a las aceras en forma considerable.

Especies altamente recomendables para ser utilizadas en las banquetas son *Cupressus lindleyi* y *Ligustrum lucidum*, ya que presentaron bajos porcentajes de daños a las mismas. Los resultados de este trabajo muestran que la primera especie es idónea para cepas pequeñas, aunque habrá de considerarse el espacio disponible en la parte aérea, ya que estos árboles alcanzan altos portes aunque son tolerantes a la poda en su etapa juvenil.

REFERENCIAS

- Barker. P. A. 1983. Some urban trees of California: Maintenance problems and genetic improvement possibilities. In: Proceedings of the 4th Biennial Conference of the Metropolitan Tree Improvement Alliance. pp. 47-54.

- Benavides, M., H. M. 1989. Bosque urbano: la importancia de su investigación y correcto manejo. *In: Memoria del Congreso Forestal Mexicano 1989. Tomo II. Toluca, Estado de México, 19 al 22 de julio de 1989. Gobierno del Estado de México y Academia Nacional de Ciencias Forestales, A. C. pp. 966-992.*
- Benavides, M., H. M. 1990. Relación entre el tamaño de la cepa y los daños provocados a banquetas por árboles urbanos. *In: Memoria de la Segunda Reunión Científica Forestal y Agropecuaria del CIFAP-D.F. INIFAP, Coyoacán, D.F. pp. 46-48.*
- Benavides, M., H. M. 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.
- Bernatzky, A. 1978. *Tree ecology and preservation.* Elsevier Scientific Publishing Cny. New York, U.S.A. 357 p.
- Brennan, G., D. Patch and F. R. W. Stevens. 1985. Tree roots and underground pipes. *Arboriculture Research Note* 36-85. Arboricultural Advisory & Information Officer. Forestry Commission Research Station Alice Holt Lodge. Farnham, Surrey. 2 p.
- Comisión para el Estudio del Territorio Nacional (CETENAL). 1977. Carta Edafológica de los Estados Unidos Mexicanos E-14-A-39. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D.F.
- Craul, P. J. 1992. *Urban soil in landscape design.* John Wiley & Sons, Inc. New York, U.S.A. 396 p.
- Dodge, L. 2000. Tree root and urban Infrastructure conflicts: Symposium Sets Research and Education Goals. *Growing Points* 4 (2-3):1-12.
- Douglas, H. 1984. Sidewalk/curb-breaking tree roots. 1-Why tree roots cause pavement problems. *Arboricultural Journal* 8: 37-44.
- FAO. 1981. *El eucalipto en la repoblación forestal.* Colección FAO: Montes No. 11. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 723 p.
- Harris, R.W. 1992. *Arboriculture: Integrated management of landscape trees, shrubs, and vines.* Prentice Hall, New Jersey. 2nd ed. pp. 503-510.
- Jim, C.Y. 1987. Urban trees in Honk Kong-benefits and constrains. *Arboricultural Journal* 11: 145-164.
- Jorgensen, E. 1970. *Urban forestry in Canada.* The Shade Tree Research Laboratory. Faculty of Forestry, University of Toronto. 15 p.
- Kopinga, J. 1991. The effect of restricted volumes of soil on the growth and development of street trees. *Journal of Arboriculture* 17: 57-63.
- Kunkel, G. 1978. *Flowering trees in subtropical gardens.* Dr. W. Junk b.v., Publishers. The Hague. 346 p.
- Maino, E. and F. Howard. 1955. *Ornamental trees: an illustrated guide to their selection and care.* University of California Press. Berkeley, CA. U.S.A. 219 p.

- Mangieri, H. R. y M. J. Dimitri. 1961. Los eucaliptos en la silvicultura. Editorial ACME, S. A. de C. I. Buenos Aires, Argentina. 226 p.
- McPherson, E. G. 1991. Cooling urban heat islands with sustainable landscapes. Drachman Institute Working Paper 91-10. Sustainable Cities Symposium. October 4-6, 1990. Chicago, ILL., U.S.A. 16 p.
- McPherson, E. G. 2000. Expenditures associated with conflicts between street tree root growth and hardscape in California. *Journal of Arboriculture* 26: 289-297.
- McPherson, E. G. and P. P. Peper. 1996. Cost of street tree damage to infrastructure. *Arboricultural Journal* 20: 143-160.
- Parrota, J. A. 2004. Bioecología de árboles nativos y exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales. <http://www.fs.fed.us/global/iitf/Casuarinaequisetifolia.pdf>. (23 de junio de 2004).
- Pennington, T. D. y Sarukán, J. 1998. Árboles tropicales de México. U.N.A.M. y Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 521 p.
- Rzedowski, J. 1978. La vegetación de México, Editorial Limusa. México, D. F. 432 p.
- Simpson, J. R. and E. G. McPherson. 1998. Simulation of tree shade impacts on residential energy use for space conditioning in Sacramento. *Atmospheric Environment* 32 (1): 69-74.
- Wagar, J. and P. Barker. 1983. Tree root damage to sidewalks and curbs. *Journal of Arboriculture* 9 (7): 177-181.
- Whitlow, T. and N. Bassuk. 1988. Ecophysiology of urban trees and their management-The North American Experience. *HortScience* 23 (3): 542-546.
- Wilde, S. 1958. *Forest Soils*. Ronald Press, New York, NY, U.S.A. pp. 133-138.