



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO  
POSTGRADO FORESTAL

**ESTIMACIÓN E IMPACTO DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN ÁREAS VERDES  
URBANAS DEL DISTRITO FEDERAL**

ALEJANDRA YUNUEN ZARAGOZA HERNÁNDEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2014



La presente tesis titulada “Estimación e impacto de contaminantes atmosféricos en áreas verdes urbanas del Distrito Federal” realizada por la alumna **Alejandra Yunuen Zaragoza Hernández** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTORA EN CIENCIAS  
FORESTALES**

**CONSEJO PARTICULAR**

**CONSEJERO**



---

DR. VICTOR MANUEL CETINA ALCALÁ

**ASESOR**



---

DR. MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ LÓPEZ

**ASESOR**



---

DRA. ALICIA CHACALO HILÚ

**ASESOR**



---

DRA. MA. DE LOURDES DE LA I. DE BAUER

**ASESOR**



---

DR. HÉCTOR GONZÁLEZ ROSAS

**Montecillo, Texcoco, Estado de México, Febrero de 2014**

El presente trabajo se realizó con el apoyo de:

- Proyecto **120593** “Evaluación del impacto de la contaminación del aire en zonas boscosas y agrícolas rurales y urbanas del Distrito Federal” del Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del DF.
- Personal a cargo del Sistema de Monitoreo Ambiental de la Ciudad de México (SIMAT).
- Representación de las Delegaciones Coyoacán, Iztacalco y Azcapotzalco del Distrito Federal.
- Grupo de Modelización y Ecotoxicidad de la Contaminación Atmosférica del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) de Madrid, España.
- Laboratorio de Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado para la realización de los estudios de doctorado.

Al Colegio de Postgraduados y en especial al Postgrado Forestal por darme todas las oportunidades para completar esta etapa académica.

A mi comité asesor por todo el tiempo invertido en la planeación y realización del proyecto, así como los ajustes, correcciones y críticas constructivas para la elaboración del documento final.

Al Dr. Víctor Manuel Cetina Alcalá por todo su apoyo desde antes de iniciar la investigación. No sólo le agradezco la orientación brindada para alcanzar este objetivo sino también todas las pláticas que me alentaron a dar siempre mi mejor esfuerzo, no sólo como estudiante sino también como ser humano.

Al Dr. Miguel Ángel López López por su asesoría y la atención para resolver mis dudas, aun cuando su agenda estaba llena. Su tiempo es valioso y estoy muy agradecida porque haya compartido el suyo conmigo cuando fue necesario.

Como expertas en los campos de la arboricultura y el estudio de los contaminantes atmosféricos, fui afortunada al ser asesorada por dos mujeres a las que admiro, respeto y de las que he aprendido mucho como estudiante, profesionista y ser humano: Dra. Alicia Chacalo Hilú y Dra. Ma. Lourdes I de Bauer, gracias por ser parte de este proceso.

Al Dr. Héctor González Rosas, no sólo le agradezco que haya aceptado involucrarse en este proyecto, sino también su apoyo incondicional desde el día uno. Gracias por brindarme su confianza, su amistad, por animarme en los momentos de duda, por estar dispuesto a escucharme y a aligerar mi terquedad.

Al Dr. Dionicio Alvarado Rosales por su apoyo para la realización de la fase de campo, gracias por compartir sus conocimientos, su disposición para resolver las dudas surgidas y su participación en el proceso de graduación.

Al Dr. José Luis García Cué por su apoyo incondicional en la sección estadística. Por su disposición y ayuda aun siendo un participante externo en esta investigación.

Al Grupo de Modelización y Ecotoxicidad de la Contaminación Atmosférica del CIEMAT de Madrid, España. La experiencia obtenida al permitirme involucrarme en el proyecto EDEN me permitió completar una parte importante de mi investigación y tener una perspectiva diferente del mundo científico. Gracias por el apoyo y la atención durante y posterior a mi estadía: Rocío Alonso, Victoria Bermejo, Susana Elvira, Fernando Valiño, Javier Sanz, Ignacio González, Héctor García, Héctor Calvete, Fernando Martín y Benjamín Gimeno.

A todos los profesores y profesoras del Postgrado Forestal por sus valiosas enseñanzas dentro y fuera de las aulas de clase, de todos aprendí mucho.

A las secretarias del Postgrado Forestal por su apoyo en todo momento: Maru, Bety, Lupita y Mayra.

A todas las personas que contribuyeron a la realización de esta investigación, desde la planeación y la toma de datos hasta las consultas y análisis de la misma. Gracias.

“La esperanza, dije, es la expectativa real de una gloria futura, efecto tanto de la gracia divina como de méritos precedentes”

Dante Alighieri

Canto XXV. 067-069 ***Purgatorio***

A mi familia: sin ustedes dudo que hubiese llegado hasta el día de hoy como lo he hecho. Les agradezco en la misma medida por el apoyo incondicional y por su paciencia infinita. Cada uno me ha dado lo justo para salir adelante en los momentos que lo necesité: Lucía, Coquis, Isabel, Martha, Paty, Manuel, Tere, Lalo, Yolanda, Omar, Claudia y Dana. Los quiero.

Este momento no es sólo mío, este logro es de dos...gracias mamá, podemos decir que ambas nos hemos graduado y estamos listas para el siguiente paso. Te amo.

Hermanito, sabes cuán importante eres para mí aunque nunca te lo diga... ¡ni esperes que eso cambie pronto! Te quiero.

Mary, gracias por todo, todo, todo y por hacerme saber que estás conmigo aunque no siempre estemos de acuerdo.

Nani, te quiero desde el día uno y hasta el último. Siempre.

A Paty y Manuel por ser mis primeros ejemplos y por exigirme más de lo que nadie podría haberlo hecho, espero que se sientan orgullosos, gran parte de este momento se los debo a ustedes.

A mis primos a los que quiero con todo mi corazón, y a los que cada triunfo les sabe a propio: Nicolás y Natalia. Los espero de este lado, ustedes lo harán mucho mejor.

A mis pequeños, por alegrarme todos los días: Jimena, Mauricio, Isabella, Gabriel e Ivana. ¡Creczan y sean más increíbles!

A las personas que confiaron ciegamente en mí, que con cada dificultad me hicieron sentir que todo era posible y me ayudaron a salir adelante, apoyándome siempre o sólo demostrando que la vida es más que ciencia: Daniela, Daniel, Ariadna, Verónica, Paola Alejandra, Adriana, Rosario, Mayra, Moe, Mark. Ustedes también son mi familia y cuentan conmigo siempre.

A mis amigos y amigas: a los de siempre por estar ahí y a los recién llegados porque ahí seguirán, por perdonarme los olvidos y por recordarme los buenos momentos: Lucía Jairoth, Aranza, Belem, Enrique, Magda, Misael, Gabriel, Alma Cristina, Aurora y Luisma.

Lo que ya no forma parte de mi vida: ¡gracias! Sólo por las lecciones aprendidas.

**ESTIMACIÓN E IMPACTO DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN ÁREAS VERDES URBANAS DEL  
DISTRITO FEDERAL**

**Alejandra Yunuen Zaragoza Hernández, DC.**

**Colegio de Postgraduados, 2014.**

**RESUMEN GENERAL**

El objetivo general de este trabajo fue identificar la concentración y presencia de contaminantes atmosféricos y su influencia sobre el estado de salud del arbolado en áreas verdes urbanas, adaptando las metodologías propias de los Inventarios Forestales de México y EUA a las condiciones del área urbana, así como el monitoreo pasivo y continuo del principal contaminante atmosférico ozono ( $O_3$ ) y sus precursores ( $NO_2$ ), para establecer la relación con los principales daños registrados en el arbolado de las áreas verdes seleccionadas. Los sitios elegidos para realizar el estudio fueron parques dentro del Distrito Federal (DF) conocidos como Alamedas Norte, Oriente y Sur. Los muestreos se realizaron de acuerdo con cada fase de la investigación y el objetivo de cada estudio, entre Mayo 2011 y Diciembre 2012. La primera fase comprendió el diagnóstico general del estado de salud del arbolado en las Alamedas a través del indicador condición de copa y sus variables densidad de copa (dnc), transparencia de follaje (trpf) y muerte regresiva (mr). La segunda parte evaluó la condición general del arbolado a través de este indicador de acuerdo con las especies forestales identificadas en cada uno de los sitios seleccionados, proporcionando información confiable y adecuada para dicho diagnóstico. En la tercera etapa se analizaron las concentraciones de contaminantes atmosféricos ( $O_3$  y  $NO_2$ ) utilizando monitores pasivos Radiello® en cada Alameda y analizando las bases de datos del Sistema de Monitoreo Ambiental de la Ciudad de México (SIMAT). Finalmente, se analizaron los daños presentes en el arbolado de cada parque para establecer las posibles causas y determinar su relación con la contaminación presente en la ciudad. Para evaluar los datos obtenidos se emplearon análisis de distribución de frecuencias, estadísticos descriptivos, pruebas no paramétricas, pruebas de normalidad, análisis de varianza y geoestadística.

En general se determinó que el arbolado de Alameda Oriente presenta un estado general de salud bueno. En contraste, el arbolado de Alameda Norte se consideró con el estado de salud más precario. También, las especies en mejor estado general de salud dentro de cada parque *Cupressus sempervirens*, *Ligustrum lucidum*, *Populus alba* y *Fraxinus uhdei*. Se identificó la tendencia de distribución espacial de  $O_3$  y  $NO_2$  en el área urbana de norte a sur-suroeste de la ciudad. Las concentraciones más altas de  $O_3$  se registraron en Alameda Sur, mientras que los niveles más altos de precursores se registraron en Alameda Norte confirmando la distribución espacial dentro de la ciudad señalada por otros autores. . De igual forma, el comportamiento en estos parques confirmó el papel de  $NO_2$  como sustrato para la formación de  $O_3$ , cuando una mayor concentración y distribución espacial de este contaminante, correspondió con la menor concentración y distribución de  $NO_x$  y viceversa. El vandalismo, asociado a la alta afluencia de visitantes, se identificó como el principal daño general. En Alameda Sur el problema más severo fue la incidencia de muérdago (*Cladocolea sp.*) en árboles de los géneros *Ligustrum*, *Populus* y *Acer*. El mayor número de árboles muertos (en pie y removidos) se registró en las Alamedas Norte y Sur y el menor número en Alameda Oriente.

## APPRAISAL AND IMPACT OF AIR POLLUTANTS IN URBAN GREEN AREAS OF MEXICO CITY

Alejandra Yunuen Zaragoza Hernández, DC.

Colegio de Postgraduados, 2014.

### ABSTRACT

The main objective of this research was to identify the presence and concentrations of air pollutants, as well as their influence over the urban trees general health status. This was carried out by adapting the methodologies of the Forest National Inventory and the Forest Inventory and Analysis to the urban conditions, and by monitoring the main air pollutants: ozone (O<sub>3</sub>) and their precursors (NO<sub>2</sub>) in order to establish the relationship between the tree damages of the selected green areas. The chosen sites were parks within Mexico City (DF) known as Alamedas Norte, Oriente and Sur. The samplings were carried out according to every designed stage and objective of the research, from May 2011 to December 2012. The first stage involved the general diagnose of the trees health status in the Alamedas through the crown condition indicator and its variables: crown density (dnc), foliage transparency (trpf) and crown dieback (mr). The second stage assessed the tree health status by analyzing the crown condition indicator variables according to the species identified in every sampling site. The third stage of the research estimated the spatial distribution and concentrations of O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub> through passive samplers Radiello® and databases obtained from the Environmental Monitoring System of Mexico City (SIMAT). Finally, tree damages were analyzed in order to establish the probable relationship between damages and air pollutants exposure within the city. In order to analyze the data, frequency distribution, descriptive statistics, nonparametric tests, normality tests, analysis of variance and geostatistics were used.

Overall, it was found that urban trees in Alameda Oriente registered a better health status. On the other hand, trees in Alameda Norte registered a poorer health condition. Also, the species with a better health status, according to the values obtained through the crown condition variables, were *Cupressus sempervirens*, *Ligustrum lucidum*, *Populus alba* and *Fraxinus uhdei*. The spatial distribution of O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub> went north to south –southeast of the city. The higher O<sub>3</sub> concentrations were registered for Alameda Sur, while the highest levels of precursors were registered for Alameda Norte, confirming the spatial distribution pattern found by other studies. The role of NO<sub>2</sub> as substrate for the O<sub>3</sub> formation was confirmed when a higher O<sub>3</sub> distribution and concentration corresponded to a lower distribution and concentration of NO<sub>2</sub> and vice versa. Vandalism, related to the high frequency of visitors within the parks, was identified as the main tree damage in all of the parks. In Alameda Sur, the presence of mistletoe (*Cladocolea* sp.) in *Ligustrum*, *Populus* and *Acer* species was recorded as the most severe damage. The highest number of dead trees (standing and removed) was registered in Alamedas Norte and Sur, and the lowest number in Alameda Oriente.

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN GENERAL .....	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
OBJETIVOS.....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
<b>CAPÍTULO UNO.</b> Indicador condición de copa y su aplicación en tres parques del Distrito Federal .....	3
RESUMEN .....	3
ABSTRACT.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
Sitios de muestreo.....	6
Registro de variables .....	7
Análisis de datos.....	7
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	8
Condición de copa .....	8
Comparación estadística de la condición de copa.....	14
Estado general de salud del arbolado .....	16
CONCLUSIONES .....	17
LITERATURA CITADA.....	18
<b>CAPITULO DOS</b> . Diagnóstico general de salud en especies forestales de alamedas del DF: condición de copa.....	21
RESUMEN .....	21
ABSTRACT.....	22
INTRODUCCIÓN.....	23
MATERIALES Y MÉTODOS.....	24

Sitios de muestreo.....	24
Registro de variables .....	25
Análisis de datos.....	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	26
Identificación de especies .....	26
Condición de copa .....	27
Comparación estadística de la condición de copa .....	32
CONCLUSIONES .....	33
LITERATURA CITADA.....	35
<b>CAPITULO TRES. Distribución espacial y concentraciones de o<sub>3</sub> y no<sub>2</sub> en tres parques del Distrito Federal</b> .....	38
RESUMEN .....	38
ABSTRACT.....	39
INTRODUCCIÓN.....	40
MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
Sitios de muestreo.....	40
Monitoreo pasivo .....	42
Elaboración de mapas .....	42
RESULTADOS .....	42
Distribución espacial y niveles de contaminantes en el área urbana .....	43
Distribución espacial y niveles de contaminantes en alamedas .....	44
DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	48
Distribución espacial y niveles de contaminantes en el área urbana .....	48
Distribución espacial y niveles de contaminantes en alamedas .....	49
CONCLUSIONES .....	52
LITERATURA CITADA.....	52
<b>CAPÍTULO CUATRO. Daños en arbolado de parques del Distrito Federal</b> .....	56
RESUMEN .....	56
ABSTRACT.....	57

INTRODUCCIÓN .....	58
MATERIALES Y MÉTODOS.....	59
Sitios de muestreo.....	59
Toma de datos.....	59
Análisis de datos.....	60
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	60
Daños registrados.....	60
Localización de daños.....	62
Principales daños en arbolado .....	65
Distribución espacial de daños en arbolado .....	68
CONCLUSIONES .....	72
LITERATURA CITADA.....	73
CONCLUSIONES GENERALES.....	76
RECOMENDACIONES .....	76
LITERATURA GENERAL CITADA.....	77
ANEXO 1. Códigos para la identificación de daños en arbolado urbano.....	79
ANEXO 2. Daños identificados en alamedas del Distrito Federal .....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Sitios para el estudio en el Distrito Federal .....	6
<b>Figura 1.2.</b> Tarjeta para evaluar las variables del indicador.....	7
<b>Figura 1.3.</b> Variable densidad de copa (dnc) en Alamedas del DF.....	11
<b>Figura 1.4.</b> Variable transparencia de follaje (trpf) en Alamedas del DF.....	11
<b>Figura 1.5.</b> Variable muerte regresiva (mr) en Alamedas del DF.....	13
<b>Figura 2.1.</b> Sitios seleccionados dentro de la Ciudad de México (DF).....	24
<b>Figura 2.2.</b> Tarjeta utilizada para evaluación de las variables del indicador.....	25
<b>Figura 2.3.</b> Variable densidad de copa (dnc) en especies identificadas en Alamedas del DF. ....	29
<b>Figura 2.4.</b> Variable transparencia de follaje (trpf) en especies identificadas en Alamedas del DF.....	30
<b>Figura 2.5.</b> Variable muerte regresiva (mr) en especies identificadas en Alamedas del DF.....	32
<b>Figura 3.1.</b> Ubicación de estaciones de monitoreo y sitios de muestreo.....	41
<b>Figura 3.2.</b> Distribución de O <sub>3</sub> y precursores (NO <sub>2</sub> ) en el DF en la época seca-fría 2012.....	44
<b>Figura 3.3.</b> Distribución espacial de O <sub>3</sub> y precursores NO <sub>2</sub> en Alamedas (Campaña seca-fría 2011).....	45
<b>Figura 3.4.</b> Distribución espacial de O <sub>3</sub> y precursores NO <sub>2</sub> en Alamedas (Campaña seca-cálida 2012).....	46
<b>Figura 3.5.</b> Distribución espacial de O <sub>3</sub> y precursores NO <sub>2</sub> en Alamedas (Campaña seca-fría 2012).....	47
<b>Figura 4.1.</b> Parques recreativos seleccionados dentro de la Ciudad de México (DF).....	60
<b>Figura 4.2.</b> Localización de daños registrados en arbolado de Alameda Norte.....	63
<b>Figura 4.3.</b> Localización de daños registrados en arbolado de Alameda Oriente.....	64
<b>Figura 4.4.</b> Localización de daños registrados en arbolado de Alameda Sur.....	65
<b>Figura 4.5.</b> Distribución espacial de daños por árbol en Alameda Norte.....	69
<b>Figura 4.6.</b> Distribución espacial de daños por árbol en Alameda Oriente.....	70
<b>Figura 4.7.</b> Distribución espacial de daños por árbol en Alameda Sur.....	71

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.1.</b> Pruebas de normalidad para las tres variables del indicador condición de copa.....	8
<b>Cuadro 1.2.</b> Estadísticos descriptivos para las tres variables del indicador condición de copa.....	10
<b>Cuadro 1.3.</b> Resultados y estadísticos de contraste para la prueba Kruskal-Wallis en Alamedas del DF.....	15
<b>Cuadro 1.4.</b> Rangos y estadísticos de contraste para la prueba U de Mann-Whitney en Alamedas del DF.....	15
<b>Cuadro 2.1.</b> Distribución de frecuencias de especies identificadas en Alamedas del DF.....	27
<b>Cuadro 2.2.</b> Estadísticos de la prueba Kruskal-Wallis por especie identificada en Alamedas del DF.....	33
<b>Cuadro 2.3.</b> Valores de los rangos obtenidos de la prueba Kruskal-Wallis por especie identificada.....	34
<b>Cuadro 3.1.</b> Estaciones de monitoreo automático (RAMA y REDMET) seleccionadas.....	41
<b>Cuadro 3.2.</b> Temperaturas promedio (°C) por estación durante las campañas de monitoreo.....	43
<b>Cuadro 4.1.</b> Daños y especies registrados por percentiles en Alamedas del DF.....	61
<b>Cuadro 4.2.</b> Distribución de frecuencias de los daños principales registrados en Alamedas del DF.....	67

## INTRODUCCIÓN GENERAL

Las áreas verdes son parte estructural de cualquier comunidad, sea pequeña o grande. Se define como aquella porción de suelo descubierto que permite el desarrollo de cualquier tipo de vegetación (Castro, 2005). Sin embargo, por décadas se ha concebido que estos espacios no sólo son componentes estructurales (podría decirse, el elemento “verde” de una sociedad) sino un factor obligado para las grandes urbes y las que planean consolidarse como tales en próximos años. La importancia y demanda por vegetación dentro de las ciudades se incrementa debido al continuo proceso de urbanización. Hoy más del 70% de la población de Europa vive en áreas urbanas; pero en América Latina se cuenta con la mitad de las ciudades más pobladas del mundo. En 1995, 12 de las 65 ciudades más pobladas se encontraban en esta región y con un cálculo del crecimiento poblacional del 3% para el año 2000. En 2010 se reportaba al 81% de la población en las grandes ciudades de América Latina, con una estimación de crecimiento poblacional del 86% para el año 2030 (EIU, 2010; Ode y Fry, 2002; Sorensen *et al.*, 1998).

Los beneficios de los árboles urbanos van desde la regulación del clima, la captación de carbono, de humedad, ruido y polvo, conformación de hábitat para aves residentes y migratorias, además del aumento en la calidad de vida y el valor de la propiedad. La mezcla de especies forestales, su tamaño y su buen estado de salud influyen en la intercepción y captación de agua de lluvia, sobre todo si las precipitaciones pluviales son abundantes, ya que no es lo mismo tener árboles de gran tamaño perennifolios que contribuyan con mayor captación de agua que árboles caducifolios de porte más pequeño (Rowntree y Nowak, 1991; Westphal, 2003; Wolf, 2003; Xiao, *et al.*, 1998). En áreas urbanas, plantar árboles, al mismo tiempo que mantenerlos saludables, reduce la erosión y la pérdida de perfil de suelo, beneficio considerable e importante a largo plazo.

El problema en ciudades que influye en el estado de salud del arbolado de parques y jardines en el Distrito Federal (DF) es la exposición crónica a contaminantes como el ozono ( $O_3$ ) y los compuestos precursores como el dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ). El proceso por el cual se han convertido en uno de los factores más importantes para la salud forestal en el Valle de México, comienza con la continua emisión de  $NO_2$  en diversas zonas de la ciudad, que durante el transcurso del día son arrastrados por las corrientes de vientos hacia el sur y suroeste, y a su paso, la alta radiación solar y temperatura de la ciudad activan los procesos fotoquímicos que transforman dichos contaminantes primarios en  $O_3$ . Las montañas altas localizadas en los límites de la ciudad bloquean la libre circulación de estas masas de contaminantes, haciéndolos recircular durante el día, manteniendo así los niveles elevados de contaminantes del aire. En la zona sur y suroeste existen masas forestales importantes para la ciudad, por lo que esta producción continua de contaminantes representa un daño crónico en dichos bosques. (Bravo y Torres, 2002; Sillman, 1999; SIMAT, 2012).

Entre las herramientas usadas actualmente para establecer el estado actual de una masa forestal se contemplan las metodologías del Inventario Forestal Nacional (2012) y del Forest Inventory and Analysis (2012) que se enfocan en determinar el estado de salud del bosque y del árbol como individuo, a través de ciertos indicadores y sus variables. El indicador condición de copa es un indicador visual que cumple con este objetivo, ya que la copa de un árbol es la principal fuente de captura y procesamiento de

energía. Por lo tanto, árboles con copas vigorosas y sanas se asocian con tasas de crecimiento más altas debido a un incremento en la capacidad fotosintética. Cuando las copas empiezan a declinar, dicha capacidad se reduce. Por lo general, la declinación de la copa es producto de factores estresantes previos y actuales como plagas, enfermedades, eventos climáticos (heladas, viento, lluvias), sequía, senescencia y competencia inter e intra especies, y cuando alguno de estos factores inciden de forma severa el tiempo suficiente, el resultado esperado es la mortalidad del árbol (Randolph *et al.*, 2010).

Los monitores pasivos son relativamente económicos, fáciles de utilizar y no requieren de electricidad para estar en funcionamiento, tal vez la mayor ventaja ya que no se sujetan a posibles desperfectos o fallas por cambios en los voltajes de luz, cortes no programados por tormentas eléctricas (como es frecuente en la zona metropolitana) y elevadas cuentas por gastos de mantenimiento. Se usan durante períodos semanales o quincenales de muestreo, aunque también se ha reportado el uso de estos monitores de forma mensual, para evaluar las concentraciones de O<sub>3</sub> con cálculos a través de la exposición acumulada. Sin embargo, estos datos no pueden explicar la dinámica o el contexto del sitio en el que fueron expuestos los monitores, la biología de la planta o plantas que se encuentran en el sitio y la relación entre éstas y la exposición al O<sub>3</sub> (Krupa *et al.*, 2001; Delgado, 2005) sobre todo por las características de la Cuenca de México y las condiciones meteorológicas presentes que contribuyen a que las concentraciones de O<sub>3</sub> varíen drásticamente en un sitio dado por lo que se necesitaría colocar monitores pasivos de forma periódica para inferir la situación real de una zona específica, lo cual no siempre es factible en México por cuestiones administrativas y financieras.

Con esto, la necesidad de fomentar lo que se puede llamar “cultura del árbol ciudadano”, donde el respeto y cuidado a los parques, alamedas y árboles como individuos, abarcará el concepto que éstos también sufren, sienten, se debilitan y requieren atenciones y cuidado.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

- Realizar un diagnóstico general del estado de salud del arbolado en áreas verdes urbanas del Distrito Federal.

### Objetivos específicos

- Utilizar la metodología del indicador condición de copa para diagnosticar el estado de salud del arbolado en tres Alamedas del DF.
- Identificar las principales especies en las Alamedas del DF.
- Estimar la distribución espacial y concentraciones de contaminantes O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub> en Alamedas del DF.
- Identificar los principales daños en el arbolado urbano de las alamedas Norte, Oriente y Sur del Distrito Federal.

## CAPITULO UNO

### INDICADOR CONDICIÓN DE COPA Y SU APLICACIÓN EN TRES PARQUES DEL DISTRITO FEDERAL

#### RESUMEN

El indicador condición de copa se usa para estimar la proporción de árboles con alta muerte regresiva o densidad de copa que se considere inferior o distinta a la forma natural del árbol. Por lo general, las copas grandes y densas se relacionan con tasas de crecimiento altas, mientras que copas pequeñas y escasas indican sitios con condiciones desfavorables para el desarrollo de las especies forestales. Este indicador proporciona información confiable y adecuada para diagnosticar el estado general de salud del arbolado urbano. Los sitios elegidos son parques dentro del Distrito Federal conocidos como Alamedas. Tres muestreos se realizaron durante la época de lluvias (Mayo a Octubre) y uno durante la época seca (Noviembre a Abril) de 2011. Las variables registradas fueron: densidad de copa (dnc), transparencia de follaje (trpf) y muerte regresiva (mr) en incrementos porcentuales (5%) en una escala de 0 a 100. Se realizaron pruebas de normalidad, análisis de varianza y pruebas no paramétricas U de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis. Los resultados de las pruebas no paramétricas indicaron que el arbolado de Alameda Oriente presenta valores más altos de densidad de copa y valores más bajos de muerte regresiva, por lo tanto, un estado general de salud bueno. En contraste, el arbolado de Alameda Norte registró valores más altos de muerte regresiva, por lo que su condición general de salud se consideraría como la más precaria de las tres Alamedas.

**Palabras clave:** Alamedas, densidad de copa, muerte regresiva.

## CHAPTER ONE

### CROWN CONDITION INDICATOR AND ITS USE IN THREE PARKS OF MEXICO CITY

#### ABSTRACT

The crown condition indicator is used to know the proportion of trees that display a crown dieback or a foliage density considered lower than normal or different from the natural shape of the tree. Usually, thick and large crowns relate to high growth rates whilst small ones suggest sites with unfavorable conditions for an appropriate development of the urban forest. Crown condition and its variables can provide reliable and adequate information to diagnose the urban trees' general health condition. The chosen sites are three parks within Mexico City known as Alamedas. Three samplings were carried out during the rainy season (May to October) and one during the dry season (November to April) of 2011. Variables registered were crown density (dnc), crown dieback (mr) and foliage transparency (trpf) as percentual increases (5%) on a scale of 0 to 100. Normality tests, variance analysis and a non-parametric U Mann-Whitney and Kruskal-Wallis analysis were carried out. According to the results, trees within Alameda Oriente had better health status since they showed the highest values for the variable dnc and the lowest values for mr. On the other hand, trees within Alameda Norte showed the lowest values for the variable dnc and the highest values for mr, therefore, the poorest health condition of the tree parks evaluated.

**Key words:** Alamedas, crown density, crown dieback.

## INTRODUCCIÓN

En ambientes urbanos es frecuente la sustitución de ejemplares forestales que no se adaptan al ambiente en la ciudad, al establecerse en sitios poco adecuados. También, su vitalidad y salud declina como resultado de la exposición crónica a contaminantes emitidos por industrias y automóviles. Esta remoción y sustitución continua provoca que zonas aisladas en la ciudad se encuentren desprovistas de vegetación, situación que se agrava con el incremento de urbanizaciones en el Distrito Federal y Área Metropolitana (construcción de viviendas y vialidades). En ocasiones, las áreas verdes de la ciudad no cuentan con el mantenimiento insuficiente por falta de recursos económicos y personal capacitado (GDF 2010; GDF, 2011; GDF, 2012; Martínez y Chacalo, 1994; PAOT, 2010).

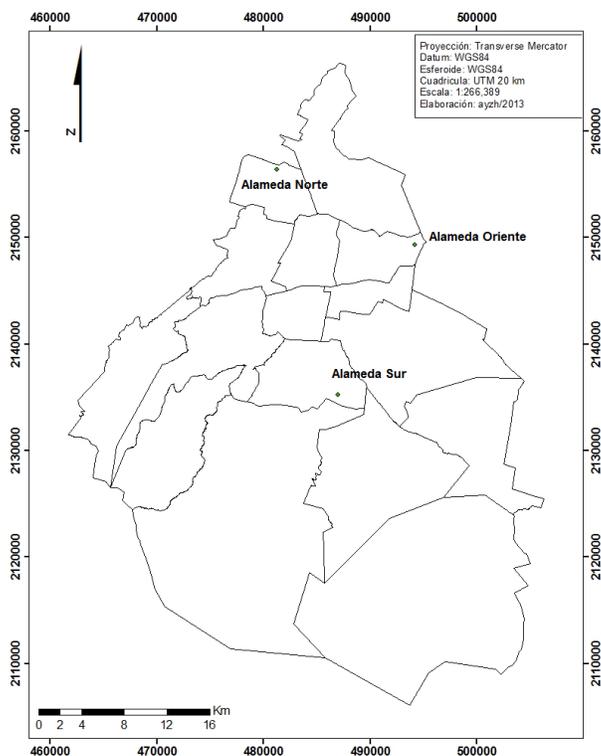
En 1987, en el DF surgió el proyecto de creación de las Alamedas cuyo objetivo fue incrementar la superficie de áreas arboladas en toda la ciudad, utilizando especies de fácil adaptación como *Casuarina equisetifolia* Forst, *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh y del género *Eucalyptus* (Chacalo y Corona, 2009; Martínez, 2008). Sin embargo, en estas áreas verdes es frecuente que factores como contaminación, condiciones de sitio inadecuadas, plagas, enfermedades y fenómenos meteorológicos extremos, afecten el estado de salud del arbolado urbano donde el primer signo de deterioro se observa en las copas del mismo (Schomaker *et al.*, 2007). El indicador condición de copa forma parte del criterio *Salud y vitalidad* del Inventario Forestal (aplicable en México, EUA y Canadá) y se asocia con la definición de que mientras los ecosistemas forestales sean saludables serán mayores los bienes y servicios que brindan a la población humana y animal (CFC, 2004; INFyS, 2012). Esta metodología se ha aplicado en años recientes por ser sencilla, práctica, confiable y rápida, pues este indicador se basa en que el estado general de salud se refleja en la cantidad y condición del follaje presente en el arbolado (FIA, 2012; INFyS, 2012). Sus tres variables principales estiman la proporción de árboles que presentan menor densidad de copa o mayor muerte regresiva, a partir de los cambios en apariencia y volumen del dosel para relacionarlos con el estado general de salud, al asociarse copas grandes y densas con tasas de fotosíntesis y crecimiento, y copas pequeñas y escasas con indicios de condiciones de sitio poco favorables u otros factores que afecten directamente la estructura del árbol (defoliación por insectos, enfermedades del follaje, daños por tormentas, granizadas, temperaturas extremas, escaso o nulo mantenimiento).

Este nuevo enfoque de las herramientas forestales en áreas urbanas y su aplicación permitirá integrar la información recabada a través de las variables (densidad de copa, muerte regresiva y transparencia de follaje) con trabajos previos en el área de diagnóstico fitosanitario para determinar, de forma general, el estado de salud de cada Alameda, e indicar si la metodología del indicador es adecuada, práctica y confiable para diagnosticar el estado de salud del arbolado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitios de muestreo

Los sitios seleccionados por su ubicación dentro de la ciudad fueron Alameda Oriente en la Delegación Iztacalco ( $19^{\circ}26'7.63''\text{N}$ - $99^{\circ}03'18.53''\text{W}$ ), Alameda Norte en la Delegación Azcapotzalco ( $19^{\circ}30'4.25''\text{N}$ - $99^{\circ}10'41.08''\text{W}$ ) y Sur en la Delegación Coyoacán ( $19^{\circ}18'32.70''\text{N}$ - $99^{\circ}7'22.29''\text{W}$ ) [Figura 1.1].

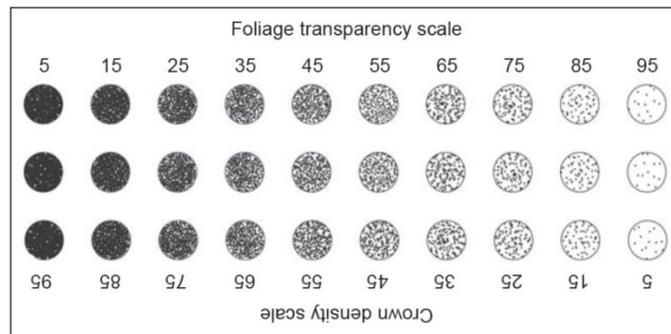


**Figura 1.1.** Ubicación de los sitios para el estudio dentro del Distrito Federal.

Se establecieron parcelas circulares en cada alameda, cada una con radio de 11.4 m y superficie de  $408.30 \text{ m}^2$ , en conglomerados de cuatro parcelas formando una Y invertida, como se indica en la metodología del indicador condición de copa, pero con modificaciones de acuerdo con la metodología del modelo I-Tree específico para áreas urbanas (I-Tree, 2010; Nowak, 2006; FIA, 2012, INFyS, 2012). En Alameda Norte se establecieron cinco conglomerados ( $8166 \text{ m}^2$  totales) y en Alamedas Sur y Oriente, cuatro conglomerados cada una ( $6\,532 \text{ m}^2$  totales). Se realizaron tres muestreos en período de lluvias (mayo a octubre) y uno en época seca (noviembre a abril) durante el año 2011. Se evaluaron todos los árboles dentro de los límites de las parcelas circulares, numerándose progresivamente, partiendo del norte en el sentido de las manecillas del reloj. Las variables dasométricas registradas para cada árbol fueron altura (m) con pistola Haga, diámetro (cm) con cinta diamétrica y ancho de copa (medidas N-S y E-O) [m] con cinta métrica. No se registraron arbustos, palmeras, setos o herbáceas.

## Registro de variables

Las variables del indicador evaluadas fueron densidad de copa (dnc), muerte regresiva (mr) y transparencia del follaje (trpf). La dnc estimó la cantidad de ramas de la copa, follaje y estructuras reproductivas que bloquean la luz que atraviesa la copa, pero considerando que cada especie tiene una forma normal que varía con el sitio, genética y daños infligidos al árbol. Por lo que se determinó la silueta de la copa proyectando una imagen de espejo completa alrededor del eje central del tronco principal basándose en la forma natural del árbol, incluyendo puntas faltantes o muertas. La variable trpf se registró estimando el porcentaje de copa viva con follaje que permite el paso de la luz y se consideró que el valor varía si el árbol ha sido sometido a una defoliación por estrés o daños recientes. En esta evaluación se excluyó follaje de plantas parásitas y ramas muertas en la parte baja de la copa viva, ramas faltantes o sin follaje. Estas dos variables se evaluaron utilizando la tarjeta diseñada por el FIA (Figura 1.2). La variable mr se evaluó como mortalidad reciente de ramas con ramillas comenzando en la porción terminal de la rama e internamente hacia el tronco. En las tres variables se registraron los incrementos porcentuales del 5% (en una escala de 0 a 100). La distancia de evaluación del árbol fue una vez la longitud total del árbol (m) para una mejor panorámica de la copa (FIA, 2012; INFyS, 2012; Randolph, 2006).



**Figura 1.2.** Tarjeta para evaluar las variables del indicador: densidad de copa y transparencia de follaje Tomado de FIA (2012).

## Análisis de datos

Para calcular las medias y varianzas se consideró que los tamaños de muestra por alameda fueron diferentes. Para conocer la distribución de los datos se realizaron pruebas de normalidad Kolmogorov-Smirnov (cuando  $n_{obs} \geq 2000$ ) y Shapiro Wilk (cuando  $n_{obs} \leq 2000$ ) ambas pruebas con un  $\alpha = 0.05$ . Se obtuvieron medidas de tendencia central, medidas de dispersión y diagramas de caja. Para la comparación del comportamiento de las tres variables entre alamedas se realizó un análisis de varianza y comparación de medias para encontrar diferencias significativas entre los valores obtenidos del indicador y sus variables. De acuerdo con la distribución de datos, se eligieron los análisis no paramétricos de Kruskal-Wallis para  $n$  muestras independientes ( $\alpha=0.05$ ) y de U-Mann-Whitney para dos muestras independientes ( $\alpha=0.05$ ) para realizar contraste entre alamedas por pares. Los grupos de datos se analizaron estadísticamente considerando que árboles con follaje (valores dnc=0%; mr=100% y trpf=100%) se pueden definir sin copa y por lo tanto ejemplares muertos, no empleándose en los

cálculos estadísticos (Randolph, 2006). Se utilizó el paquete estadístico SAS® v. 9.0 y 9.3 y SPSS® para Windows v. 15.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Uno de los puntos centrales en los programas de mantenimiento de áreas verdes del DF es la sustitución de árboles enfermos o especies poco adecuadas a las condiciones de la ciudad. Actualmente, en Alameda Oriente áreas verdes están siendo forestadas y se están construyendo infraestructuras para los usuarios (GDF, 2012b). Con respecto a la Alameda Central, estos espacios aún no se han sometido a planes tan intensivos de mejora de áreas verdes y sustitución de arbolado, ya que cada delegación tiene sus propios planes de mantenimiento y calendarios para hacer estos espacios más agradables y funcionales dentro de la ciudad (GDF, 2012a).

### Condición de copa

Tras realizar las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, la hipótesis nula (donde  $H_0$  = los datos se distribuyen normalmente) no se aceptó en ninguna de las tres variables evaluadas (Cuadro 1.1). Los valores de significancia de las mismas son menores que  $\alpha = 0.05$  establecido, lo que indica que los datos no se distribuyen normalmente. Esto se asoció a la existencia de distintos géneros, especies y edades del arbolado dentro de los parques, por lo que se registraron valores en el rango de 0 a 100% (Randolph, 2006). Sin embargo, la mayoría de las observaciones tendió a concentrarse en una pequeña sección de dicho rango. Esto fue corroborado a través de los valores de media, mediana, desviación estándar, asimetría y kurtosis (Cuadro 1.2).

**Cuadro 1.1.** Pruebas de normalidad para las tres variables del indicador condición de copa en Alamedas del DF.

Variable <sup>(b)</sup>	Parque	Kolmogorov-Smirnov <sup>(a)</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
<b>dnc</b>	Alameda Sur	0.1776	896	0.0000	0.9027	896	0.0000
	Alameda Norte	0.2550	1976	0.0000	0.8056	1976	0.0000
	Alameda Oriente	0.2305	996	0.0000	0.8176	996	0.0000
<b>mr</b>	Alameda Sur	0.3423	896	0.0000	0.6097	896	0.0000
	Alameda Norte	0.2935	1976	0.0000	0.6548	1976	0.0000
	Alameda Oriente	0.3954	996	0.0000	0.4504	996	0.0000
<b>trpf</b>	Alameda Sur	0.1536	896	0.0000	0.9217	896	0.0000
	Alameda Norte	0.2405	1976	0.0000	0.7920	1976	0.0000
	Alameda Oriente	0.2037	996	0.0000	0.8748	996	0.0000

(a) Corrección de la significación de Lilliefors

(b) Donde: dnc = densidad de copa; mr = muerte regresiva; trpf = transparencia de follaje

Las variables del indicador condición de copa se evaluaron en 493 árboles en Alameda Norte, 224 árboles en Alameda Sur y 249 árboles en Alameda Oriente. Los estadísticos descriptivos indicaron que los árboles con valores altos de la variable dnc y valores bajos de las variables mr y trpf presentan una copa más sana con un mayor potencial para fijar carbono, y dentro de las condiciones de la ciudad, mayores posibilidades de sobrevivir (Chacalo y Corona, 2009; Koeser *et al.*, 2013; Smiley *et al.*, 2006; Tiddens y Cloyd, 2006). Con esta evaluación de la copa se observó que las condiciones actuales del arbolado en las alamedas obligan a desarrollar programas de mantenimiento y manejo con una visión integral de las condiciones del sitio, pues existe una alta influencia de factores estresantes comunes en la ciudad como contaminación y vandalismo (INFyS, 2012). En este caso, el estadístico más adecuado para entender el comportamiento de datos con distribución no normal, fue la mediana, ya que si solo se consideraba la media los valores extremos (de 0 a 100%) influirían en el valor de este estadístico para la muestra. La mediana representó el punto medio o percentil del 50%, asegurando que la mitad de las observaciones de la muestra se encuentran debajo y la otra mitad por encima de la misma (Schomaker *et al.*, 2007).

Considerando los valores de la variable dnc en el percentil 50, esto explicó que al menos el 50% de los árboles en cada alameda presentaron un 55% de follaje, por lo que los árboles no se encontraron totalmente defoliados, donde dicha cantidad de follaje les ha permitido sobrevivir y realizar sus funciones de manera adecuada (Cuadro 1.2). En árboles con valores altos de dnc (mayor cantidad de follaje) se esperaba un potencial de crecimiento, reproductivo, vigor y supervivencia mayor a otros árboles, con menor cantidad de follaje (valores bajos de dnc), lo cual se observó en las Alamedas Oriente y Sur, donde el valor máximo para dicha variable fue de 95% en especies como *C. equisetifolia* y *F. uhdei*, respectivamente.

Los valores altos de trpf indicaron una pérdida de vigor del potencial de crecimiento, pero generalmente consecuencias serias para el desarrollo del árbol no se perciben a menos que éste pierda la mitad de su follaje o que el factor estresante que promueve dicha defoliación persista en más de una época de crecimiento (Schomaker *et al.*, 2007). En las Alamedas, los valores de trpf, en el percentil 50, se ubicaron entre 45 y 50%, por lo que se determinó que la presencia de factores estresantes como contaminación, vandalismo y mantenimiento insuficiente (PAOT, 2010; PAOT, 2011) ha actuado de forma crónica deteriorando la salud del arbolado, reflejándose en el incremento de los valores de mr.

Para la variable mr, el 90% de los árboles (percentil 90) de los árboles evaluados en Alameda Norte presentaron un valor de 35%, el más alto con respecto a las Alamedas Oriente y Sur, que presentaron un valor de 10 y 15% en el mismo percentil, lo que indica que en estas fue menos frecuente encontrar árboles afectados por daños (Cuadro 1.2). Los árboles con valores extremos se consideraron casos aislados con respecto al total de la muestra, en estos parques. En el caso de la variable dnc, las Alamedas Oriente y Sur presentaron un valor del percentil 90 de 65, indicando que árboles muy densos son escasos dentro de la muestra evaluada (Randolph, 2006; Schomaker *et al.*, 2007).

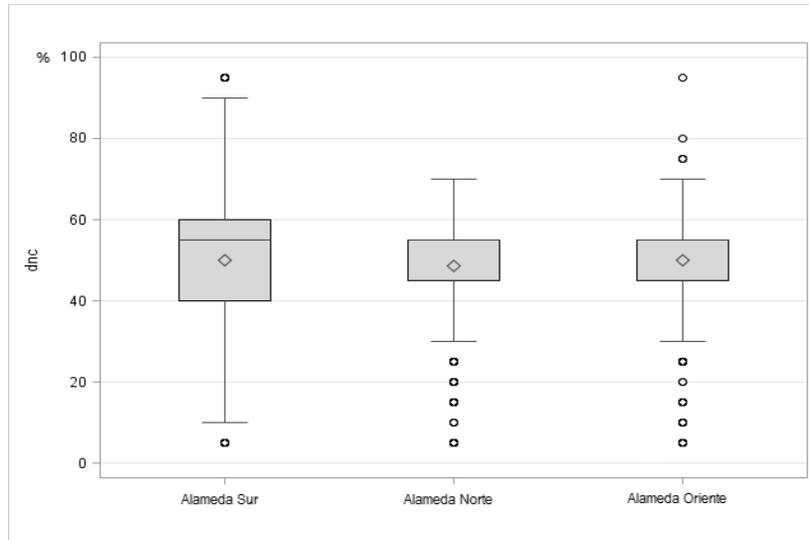
**Cuadro 1.2.** Estadísticos descriptivos para las tres variables del indicador condición de copa en Alamedas Norte, Sur y Oriente del DF.

Variables	N (*)	Media	Mediana	Desviación			Percentiles						
				estándar	Asimetría	Kurtosis	Mínimo	10	25	50	75	90	Máximo
<b>Alameda Norte</b>													
dnc	1755	48.67	55	12.11	-1.214	1.628	5	35	45	55	55	60	70
mr	1755	11.09	5	17.45	2.34	5.758	0	0	0	5	15	35	95
trpf	1755	51.32	45	10.81	1.258	2.193	30	40	45	45	55	65	95
<b>Alameda Oriente</b>													
dnc	932	49.96	55	11.29	-0.997	2.172	5	35	45	55	55	65	95
mr	932	5.14	0	14.28	4.308	19.349	0	0	0	0	5	10	95
trpf	932	53.29	50	13.3	0.749	0.611	0	40	45	50	60	75	95
<b>Alameda Sur</b>													
dnc	738	50.03	55	17.56	-0.382	0.4868	5	25	40	55	60	65	95
mr	738	7.68	0	15.21	3.516	13.789	0	0	0	0	10	15	95
trpf	738	51.4	45	17.64	0.21	0.421	5	35	45	45	65	75	95

Dónde: dnc=densidad de copa; trpf= transparencia de follaje y mr=muerte regresiva.

La presencia de valores en todo el rango (0 a 100%) se atribuyeron a las características de cada especie (edad del árbol, tipo de follaje), la afluencia de visitas de los usuarios y los diferentes programas de manejo y mantenimiento de cada delegación responsable de los parques, lo que influyó tanto en el estado general como en el individual de los árboles.

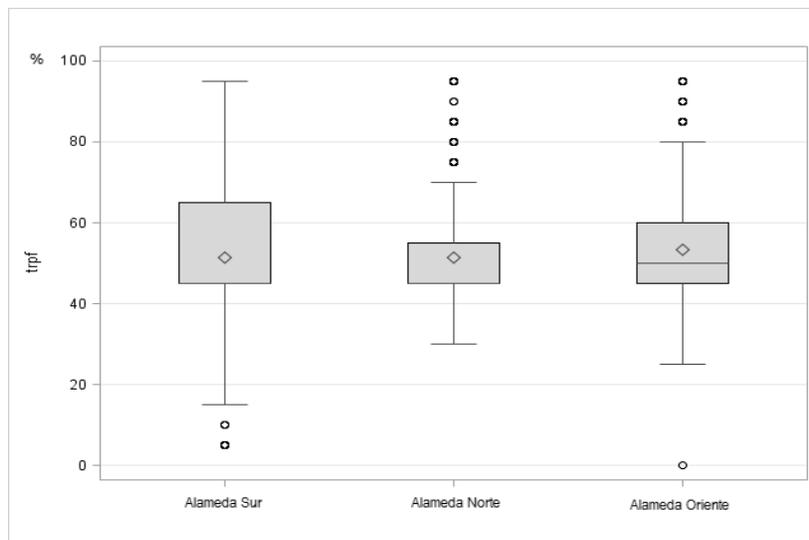
El rango intercuartil es una medida de la dispersión de los datos y es igual a la diferencia entre el percentil 25 y 75 (Cochran, 2008). El rango intercuartil más amplio fue de 10% para la variable dnc en Alamedas Norte y Oriente, y del 20% para Alameda Sur (Figura 1.3). Esto indica que dnc, en las tres alamedas, presentó una distribución de los datos hacia la izquierda y cercanos al valor de la media y la mediana, es decir, valores entre el 40 y 60% de densidad de copa (árboles poco densos) que se podrían considerar bajos pero más asociados con los diferentes programas de manejo de los parques, por ejemplo podas (de formación o de saneamiento), que no siempre se realizan de la forma adecuada, forma y tamaño de las hojas, además del manejo por parte de los usuarios, lo que en conjunto contribuyeron a las alteraciones en las formas naturales de las copas. También, plagas persistentes como *Stenomacra marginella* y enfermedades del follaje que promueven la caída del mismo, se consideraron un resultado directo de las condiciones estresantes de sitio y manejo al que el arbolado es sometido (Cibrián *et al.*, 2000; Cibrián *et al.*, 2007; Chacalo y Corona, 2009; Loh *et al.*, 2003; Koeser *et al.*, 2013; Tovar, 2007). Por lo tanto, a pesar de la presencia crónica de estos factores estresantes, el arbolado con al menos el 50% de la copa viva (percentil 50) y con valores de la variable dnc en el rango de 40 a 60% se consideró en buen estado general de salud.



**Figura 1.3.** Variable densidad de copa (dnc) del indicador condición de copa en Alamedas del DF.

<sup>a</sup> La media y la desviación estándar consideran todos los árboles agrupados en las parcelas.

En contraste, la mayoría de los valores de la variable trpf se concentró en el rango de 40 a 60%, pero que como con la variable dnc, también se observaron valores extremos, es decir, en todo el rango de 0 a 100% (Figura 1.4). Los valores de trpf indicaron que en las alamedas existen árboles con suficiente follaje en las copas para realizar funciones de fotosíntesis y respiración, pero cuyas copas no son lo suficientemente densas para interceptar el paso de la luz. Para interpretar la variable trpf se consideró que esta condición de la copa también podía relacionarse con factores externos estresantes o la misma edad del árbol, pues es más común que los valores de trpf se incrementen o disminuyan como respuesta al ataque de plagas, principalmente insectos defoliadores (Cibrián *et al.*, 2000), sequías prolongadas, defoliación natural, programas de poda e incluso vandalismo.

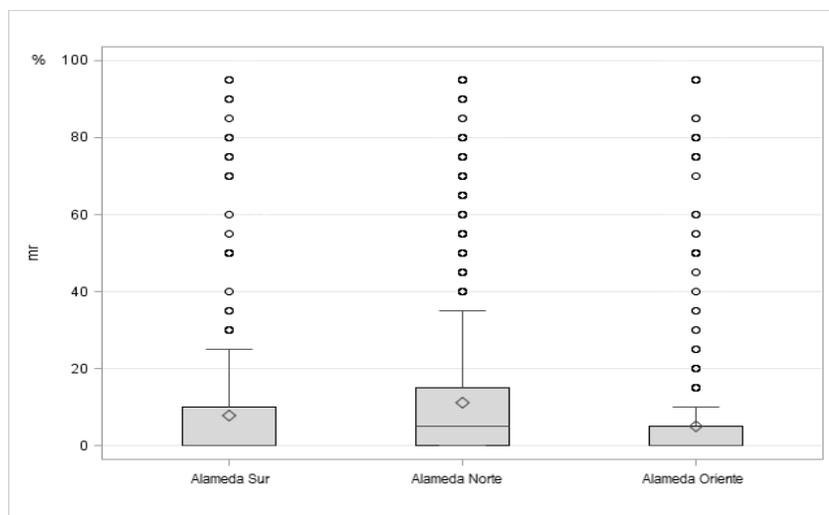


**Figura 1.4.** Variable transparencia de follaje (trpf) del indicador condición de copa en Alamedas del DF.

<sup>a</sup> La media y la desviación estándar consideran todos los árboles agrupados en las parcelas.

Las enfermedades suelen ser el principal factor contribuyente a la pérdida de follaje durante la temporada de crecimiento, lo que se refleja en las variaciones de los valores de trpf. Sin embargo, para conocer si esto contribuyó, y considerando el tamaño y tipo de especies en la muestra dentro de cada Alameda, se requerirían más muestreos. Por ejemplo, en estudios realizados en el sur de los EU, se observó que los valores promedio de trpf fueron ligeramente más altos en un grupo de especies forestales de madera blanda (18.4%) con respecto a un grupo de maderas duras (15.7%). Pero cuando el análisis para trpf se realizó de forma individual (53 especies en total), la variación por especie fue más notoria. Por ejemplo, *Quercus laurifolia* Michx registró un 13.4% mientras que *Pinus virginiana* Mill un 23.4%, con rango de 12.5 a 20% en total (Randolph, 2006). Esta variación tan alta impidió la comparación directa de especies porque es obvio que algunas tendrán una tendencia natural a formar copas más densas que otras, lo cual también complica el análisis a nivel sitio (en este caso a nivel Alameda) ya que dentro de cada conglomerado se registraron de tres a cinco especies diferentes.

En total, los valores registrados para mr en las tres alamedas fueron bajos, pero se encontraron árboles con valores muy altos (90 a 100%), donde era evidente el proceso de declinación. Dichos árboles estaban severamente afectados por muérdagos o muertos, pero fueron casos aislados con respecto al total de la muestra. En esta variable la causa registrada como principal estresante en el arbolado fue el aspecto fitosanitario, pero además se consideró la época del año con respecto al tipo de árbol (caducifolio o perennifolio), y si existían factores estresantes (como sequía y vandalismo) que estuviesen afectando tanto el desarrollo de follaje nuevo como la cantidad de follaje maduro. El arbolado de Alameda Oriente presentó los valores más bajos de mr con mayor número de especies perennifolias, seguido por Alameda Sur y Alameda Norte con mayor diversidad de especies (perennifolias y caducifolias) y donde se observaron más ejemplares con valores altos para mr (Figura 1.5). Con respecto a los valores de la mediana, la variable mr registró valores bajos en los tres sitios lo que indica que la muestra evaluada presentó en su mayoría copas sanas y vivas. Los valores de mr indicaron la presencia de algún tipo de estrés severo, daño crónico o agudo en el arbolado como enfermedades, fenómenos meteorológicos, o condiciones pobres de sitio (escasa humedad en el suelo o deficiencias nutrimentales), por lo que esta variable sirvió para inferir de forma general el estado de salud del arbolado. En ciudades, el valor de mr puede verse disminuido entre períodos de muestreo, pues aunque los árboles pierden ramillas y ramas muertas dependiendo de la época del año (para el caso de caducifolios) regeneran sus copas, sobre todo si los agentes estresantes se reducen o se eliminan, siendo normal observar variaciones en los valores de la variable del indicador a lo largo del período de muestreo, lo que hace conveniente extenderlo a dos o más ciclos de crecimiento (FIA, 2012).



**Figura 1.5.** Variable muerte regresiva (mr) del indicador condición de copa en las alamedas del DF.

<sup>a</sup> La media y la desviación estándar consideran todos los árboles agrupados en las parcelas.

Las limitantes para la aplicación de la metodología del indicador, en áreas naturales y áreas urbanas, recayeron sólo en la percepción de los evaluadores y lo que cada uno consideró el contorno de la copa para cada árbol. En los parques del DF es frecuente encontrar árboles con formas de copa distintas a las naturales, producto del espacio de crecimiento reducido en donde se desarrollan los árboles (banquetas angostas, interferencia con cables de luz y construcciones), de la estética preferida por los usuarios (poda topiaria) y de los planes de mantenimiento y mejora de cada delegación a cargo de ellos, principalmente podas de formación y saneamiento (Cibrián *et al.*, 2007; NADF, 2006). Cuando las densidades de plantación son altas es común que los costados de los árboles o las puntas de la copa no sean visibles de forma clara al mismo tiempo (traslape de doseles en sitios con alta densidad) como sucedió en la Alameda Norte, dificultando la percepción de los evaluadores para las variables dnc y trpf, por lo que un aumento en la frecuencia de muestreos fue necesaria para disminuir la posibilidad de una evaluación incompleta (FIA, 2012). Por el contrario, en una misma estación de crecimiento otro cambio en la percepción de la copa ocurre cuando se incrementa el espacio vital como resultado de la remoción y muerte de árboles vecinos, o cuando el árbol se recupera después de una defoliación severa producto del ataque de insectos defoliadores, enfermedades del follaje que promueven su caída o plantas parásitas como los muérdagos (por ejemplo género *Cladocolea*) que limitan la fotosíntesis que puede realizar el árbol (Alvarado, 2012; Cibrián *et al.*, 2000; Cibrián *et al.*, 2007) como ocurrió en Alameda Sur donde se registraron ejemplares sometidos a podas de saneamiento intensas tras detectarse la presencia de plantas parásitas en la copa de los árboles.

La falta de nutrimentos y agua también promueven la pérdida de ramas y ramillas, creando espacios por donde atraviesa la luz entre el dosel, o follaje aún vivo, de cada ejemplar (FIA, 2012; Schomaker *et al.*; 2007), lo que explicaría los valores similares entre las variables trpf y dnc, pues en el DF es frecuente la escasez de agua, donde en ocasiones la acumulación de humedad depende de la temporada de lluvias, la cual en años recientes no ha tenido un período definido. La mayoría de los árboles en las tres alamedas presentó valores promedio y altos de dnc que pueden considerarse adecuados para mantener un

balance positivo entre los procesos de fotosíntesis y respiración, con valores bajos de *mr*, excepto en aquellos ejemplares que se observaron muy afectados por plagas (*S. marginella*), enfermedades del follaje y del tronco, y plantas parásitas como muérdagos del género *Cladocolea*, o que se removieron de acuerdo con el plan de manejo de cada Delegación, pues el principal enfoque suele ser el rediseño para mejorar los espacios de recreación para los usuarios (Alvarado, 2012; Cibrián *et al.*, 2000; GDF, 2012; GDF, 2012a; GDF, 2012b).

La aplicación de estas variables en arbolado urbano fue útil para estimar el estado de la copa de los árboles e inferir el estado de salud a través de las mismas, para que en un futuro pueda anticiparse su funcionalidad en el rediseño y mejora de las áreas verdes, sobre todo pensando en la falta de espacio de crecimiento. Muchas especies en áreas urbanas se adaptan y sobreviven a las condiciones precarias comunes en la ciudad (contaminación, vandalismo, sequías, insuficiente nivel de nutrimentos), por lo tanto, el análisis de la condición de copa permitirá inferir e identificar los factores estresantes que están provocando una respuesta medible a través de las variables del indicador, pero aunque proporcionan un punto de partida para dicha identificación, los problemas de salud específicos serán difíciles de evaluar si actúan de forma conjunta o si son poco evidentes (Randolph, 2005). Esta información también se podrá emplear para la selección de especies más adecuadas a las condiciones del DF y así maximizar los beneficios de las áreas verdes a largo plazo (FIA, 2012; Stoffberg *et al.*, 2008). En las Alamedas esto obliga a una evaluación continua del arbolado con el fin de detectar las primeras señales de declinación en el arbolado que permitirán obtener información mucho más exacta a través del indicador condición de copa y sus variables.

### **Comparación estadística de la condición de copa**

Las variables del indicador condición de copa se analizaron como categorías independientes donde la hipótesis nula ( $H_0$ ) indica que no existen diferencias significativas entre los valores de las medianas, siendo:  $H_0 = \theta_1 = \theta_2 = \theta_3$  (Gaten, 2000). De acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis para comparar  $n$  muestras independientes, el valor de la significancia para las variables *dnc* y *mr* es menor a 0.0001, lo que significa que  $H_0$  se rechaza, ya que se encuentran diferencias significativas entre los grupos de valores y sus medianas entre las tres alamedas. Sin embargo, de forma individual, el valor del rango registrado para Alameda Oriente indica un comportamiento superior con respecto a la variables *dnc*, sitio donde se encontraron los árboles con mayores densidades de copa con el valor más alto para *dnc*, y por lo tanto en mejor condición general de salud con el valor más bajo para *mr* (Randolph, 2006). En la variable *trpf*, aunque no se registraron diferencias estadísticas significativas entre las alamedas, los valores más bajos se registraron en Alameda Norte, relacionándose con la menor cantidad de luz que atraviesa el follaje, debido a las altas densidades de plantación en cada sitio de muestreo, característico de este parque, donde los doseles son más cerrados al paso natural de la luz (Cuadro 1.3).

**Cuadro 1.3.** Resultados y estadísticos de contraste para la prueba de Kruskal-Wallis en Alamedas del DF.

Variable	Parque	N	Rango promedio
<b>dnc</b>	Alameda Sur	896	1885.51
	Alameda Norte	1976	1896.50
	Alameda Oriente	996	<b>2053.97</b>
<b>mr</b>	Alameda Sur	896	2004.34
	Alameda Norte	1976	2093.26
	Alameda Oriente	996	<b>1556.70</b>
<b>trpf</b>	Alameda Sur	896	1990.73
	Alameda Norte	1976	<b>1904.06</b>
	Alameda Oriente	996	1944.30

Estadísticos de contraste			
Variable	Chi-cuadrado	GL	Sig. Asintótica
<b>dnc</b>	15.963	2	0.000
<b>mr</b>	175.916	2	0.000
<b>trpf</b>	3.985	2	0.136

<sup>a</sup> Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

<sup>b</sup> Donde dnc= densidad de copa; mr= muerte regresiva y trpf = transparencia de follaje

**Cuadro 1.4.** Rangos y estadísticos de contraste para la prueba U de Mann-Whitney en Alamedas del DF.

Variable	Parque	Rango promedio	Suma rangos	Parque	Rango promedio	Suma rangos	Parque	Rango promedio	Suma rangos
Primer contraste			Segundo contraste			Tercer contraste			
<b>dnc</b>	<b>AS</b>	1428.62	1280042	<b>AS</b>	905.40	811234	<b>AN</b>	1444.92	2855165
	<b>AN</b>	<b>1440.07</b>	2845587	<b>AO</b>	<b>983.48</b>	979544	<b>AO</b>	<b>1568.99</b>	1562714
<b>mr</b>	<b>AS</b>	1393.95	1248977	<b>AS</b>	1058.89	948768	<b>AN</b>	1625.97	3212913
	<b>AN</b>	1455.80	2876652	<b>AO</b>	845.39	842010	<b>AO</b>	1209.80	1204966
<b>trpf</b>	<b>AS</b>	1476.66	1323087	<b>AS</b>	962.57	862460	<b>AN</b>	1474.27	2913166
	<b>AN</b>	1418.29	2802541	<b>AO</b>	932.05	928318	<b>AO</b>	1510.76	1504712

ESTADÍSTICOS DE CONTRASTE									
	Primer contraste (AS-AN)			Segundo contraste (AS-AO)			Tercer contraste (AO-AN)		
	dnc	mr	trpf	dnc	mr	trpf	dnc	mr	trpf
<b>U Mann-Whitney</b>	878185.5	847120.5	849265	409378	345504	431812	901888.5	708459.5	959890
<b>Z</b>	-0.349	-1.925	-1.787	-3.143	-9.274	-1.23	-3.809	-13.213	-1.125
<b>Sig. Asintótica</b>	0.727	0.054	0.074	0.002	0.000	0.219	0.000	0.000	0.261

<sup>a</sup> Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

<sup>b</sup> Donde: dnc= densidad de copa; mr= muerte regresiva y trpf = transparencia de follaje y Parque: AS= Alameda Sur; AN = Alameda Norte; AO= Alameda Oriente.

Con la prueba de U-Mann-Whitney se observaron resultados similares a los de la prueba de Kruskal-Wallis con respecto a las Alamedas (Cuadro 1.4). En esta prueba se partió de la hipótesis nula ( $H_0$ ) que establece que no existen diferencias entre los valores de las medianas, para cada variable del indicador, entre las tres alamedas ( $H_0 = \theta_{AS} = \theta_{AN}$ ) [Gaten, 2000]. De acuerdo con los resultados en el primer

contraste AS-AN, los valores de significancia para las variables fueron:  $dnc=0.727$ ,  $mr=0.054$  y  $trpf=0.074$ , superiores al valor establecido de  $\alpha=0.05$ , por lo que  $H_0$  no se rechaza. Esto significa que no existen diferencias significativas entre los valores de mediana para cada variable entre estas dos alamedas. Los valores registrados para el arbolado fueron diferentes por ubicación geográfica, diferencias entre árboles (especie y edad del arbolado) y programas de mantenimiento de cada alameda. El valor de significancia para  $mr$  (0.054) también puede interpretarse como una diferencia poco significativa entre las Alamedas Norte y Sur, pero con el valor del rango se interpreta que el valor de  $mr$  fue superior con respecto a Alameda Sur, ya que se registró mayor número de ejemplares afectados por altas densidades de plantación y presencia de plagas y enfermedades, aunque los valores más altos para  $dnc$  señala arbolado con copas más densas.

El segundo contraste AS-AO (donde  $H_0=\theta_{AS}=\theta_{AO}$ ) presentó valores de significancia menores a el valor de  $\alpha=0.05$  ( $dnc=0.002$  y  $mr=0.000$ ) por lo que  $H_0$  se rechazó, interpretándose como la existencia de diferencias significativas entre las medianas de las tres. Para la variable  $trpf$  el valor del estadístico 0.219 fue superior a  $\alpha=0.05$ , aceptándose  $H_0$  en este caso, lo que significa que entre los grupos de valores de medianas no existen diferencias significativas. De acuerdo con los valores del rango el arbolado de Alameda Oriente registró valores más altos para  $dnc$  con respecto a Alameda Sur, y los valores más bajos para  $mr$  y  $trpf$ , lo que indica una buena condición de copa de acuerdo con las categorías de clasificación establecidas en trabajos previos (Randolph, 2006; Schomaker *et al.*, 2007).

En el tercer contraste AN-AO (donde  $H_0=\theta_{AN}=\theta_{AO}$ ) los valores de  $dnc$  y  $mr$  presentaron valores del estadístico de contraste menores a  $\alpha=0.05$  ( $<0.000$  en ambas variables), por lo que  $H_0$  se rechazó. Esto significa que existieron diferencias significativas entre los valores de las medianas. En cambio, para la variable  $trpf$  el valor del estadístico 0.261 fue mayor que  $\alpha=0.05$  establecido por lo que  $H_0$  no se rechazó, lo que significa que los valores de las medianas de las alamedas, en esta variable son estadísticamente similares entre las Alamedas Norte y Oriente. Sin embargo, de acuerdo con los valores del rango y los lineamientos del indicador, la mejor condición general de salud para el arbolado se observó en Alameda Oriente, pues presentó los rangos superiores para  $dnc$  (1568.99) y  $trpf$  (1510.76), y el valor inferior para la variable  $mr$  (1209.80), probablemente porque la especie predominante (*Casuarina equisetifolia*) suele tener follaje que permite un mayor paso de la luz incidente (Randolph, 2006; Valdés *et al.*, 2004). Los resultados de las pruebas no paramétricas indicaron que el arbolado de Alameda Oriente es el que presenta mejor condición general de copa, con los valores más bajos de muerte regresiva. Por otra parte, el arbolado de Alameda Norte registró los valores superiores de muerte regresiva, por lo que su condición general de salud se consideró como la más pobre entre las tres Alamedas.

### **Estado general de salud del arbolado**

La evaluación del indicador condición de copa en bosques del sur de EU (Randolph, 2006) permitió establecer umbrales de clasificación del estado general de salud del arbolado a partir de los valores de  $dnc$  (medianas), de la siguiente forma: valores de 10 a 20% se consideraron como condición de copa pobre, valores de 25 a 50% se consideran como condición de copa promedio, y valores de 55 a 100% se consideran como condiciones de copa buenas. Considerando estas categorías, las tres Alamedas

presentaron un valor de mediana del 55% lo que las ubica dentro de la categoría “buena condición de copa”. Aunque al observar el valor de las medias y sus desviaciones estándar, habría que considerar de forma individual e interespecífico los estadísticos descriptivos para emitir el diagnóstico correspondiente, pues como ya se ha reportado, existieron árboles con los valores máximos y mínimos posibles del rango. Antes de emitir una valoración final debe considerarse que la variable *mr* es otro factor importante por considerar. En este caso el valor más alto fue de 5%, con arbolado más afectado en Alamedas Sur y Norte. Cuando los umbrales son establecidos, en el transcurso del tiempo la disminución de los valores de *dnc* tiende hacia la categoría de condición de copa pobre, e interpretarse como una declinación en la salud del arbolado y que tal vez se deban a alguno de los factores ya mencionados, por lo que si se observan especies con mejores condiciones de copa que otras, se dificultará la detección de la declinación específica para un género y especie.

Una segunda limitante de usar sólo las categorías buena, promedio y pobre es que la información de ejemplares con valores extremos (datos en las colas de la distribución de probabilidad) se pierden cuando los datos se agrupan en pocas categorías. En condiciones urbanas, la dinámica del bosque o arbolado se condiciona a los programas y prácticas de manejo y mantenimiento de acuerdo con cada delegación política, lo que hace más difícil mantener el registro de cada especie a lo largo de la estación de crecimiento.

## CONCLUSIONES

Los valores bajos de la variable densidad de copa se relacionan con copas escasas y follaje poco denso con una disminución de los procesos de evapotranspiración y fotosíntesis. Los árboles han desarrollado mecanismos de adaptación que les permiten sobrevivir en condiciones de sitio pobres, aun si la forma natural de su copa es alterada. El estado general de salud del arbolado en las tres alamedas se considera bueno (categoría de buena condición de copa) con valores promedio para la variable densidad de copa y bajos para la variable muerte regresiva.

La Alameda Oriente presenta valores superiores para la variable densidad de copa e inferiores para la variable muerte regresiva, por lo que se considera la alameda con el mejor estado general de salud de arbolado. Por otra parte, Alameda Sur presenta valores intermedios mientras que Alameda Norte presenta los valores más bajos para densidad de copa y más altos para muerte regresiva. Se infiere que en Alameda Norte se presentan uno o más factores estresantes que influyen en el estado general de salud, reflejado en los valores elevados de la variable muerte regresiva, dentro del estudio realizado. Por lo tanto, el indicador condición de copa se considera una herramienta útil y sencilla para diagnosticar de forma general el estado de salud del arbolado.

## LITERATURA CITADA

- Alvarado R., D. 2012. Enfermedades de actualidad en los bosques y arbolado urbano de la Ciudad de México. pp. 55-74. *In: Deforestación, desertificación y reforestación*. 2012. M.L.I. de Bauer (compiladora). Comité de Acción para Saneamiento del Ambiente (CASA). México. 181 p.
- CFC (Canadian Forest Service). 2004. EMAN Monitoring Protocols and Standards. Brochure: Tree Health. 28 p.
- Chacalo H., A. y V. Corona N.E. 2009. Árboles y arbustos para ciudades. UAM-Azcapotzalco. México, DF. 600 p.
- Cibrián T., D., J.T. Méndez M., R. Campos B., H.O. Yates y J. Flores L. 2000. Insectos forestales de México. UACH. México. 453 p.
- Cibrián T., D., D. Alvarado R. y S.E. García D (Editores). 2007. Enfermedades forestales de México. UACH. México. 587 p.
- Cochran, W. 2008. Diseños experimentales. Trillas. México, DF. 661 p.
- FIA (Forest Inventory and Analysis National Program). 2012. *Forest Health Indicators: Crown condition method guide (Version 3.0-2005)*. (Fecha de consulta: Noviembre 2012). Disponible en: <http://www.fia.fs.fed.us/program-features/indicators/crown/default.asp>
- Gaten, T. 2000. Kruskal-Wallis non-parametric ANOVA. *Online Statistics*. University of Leicester. UK. (Fecha de consulta: Octubre 2013). Disponible en: <http://www.le.ac.uk/bl/gat/virtualfc/Stats/kruskal.html>
- GDF (Gobierno del Distrito Federal). 2010. Delegación Azcapotzalco: Programa de Gobierno Delegacional 2009-2012. 83 p.
- GDF (Gobierno del Distrito Federal). 2011. Palabra Clave: Ecoturismo. *Secretaría de Turismo*. (Fecha de consulta: Julio 2012). Disponible en: <http://www.mexicocity.gob.mx/>
- GDF (Gobierno del Distrito Federal). 2012. Estudio base para el manejo de arbolado urbano infestado por muérdago. *Dirección de reforestación urbana, parques y ciclovías*. (Fecha de consulta: 20 de junio 2012). Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx/drupc/index.php?opcion=15>
- GDF (Gobierno del Distrito Federal). 2012a. Historia: Alameda Central. *Secretaría del Medio Ambiente*. (Fecha de consulta: Noviembre 2012). Disponible en: [http://www.sma.df.gob.mx/planverde/index.php?option=com\\_content&view=section&layout=blog&id=5&Itemid=89&limitstart=10](http://www.sma.df.gob.mx/planverde/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=5&Itemid=89&limitstart=10)

- GDF (Gobierno del Distrito Federal). 2012b. Historia: Alameda Oriente. *Secretaría de Obras y Servicios*. (Fecha de consulta: Junio 2012). Disponible en: [http://www.obras.df.gob.mx/?page\\_id=998](http://www.obras.df.gob.mx/?page_id=998)
- INFyS (Inventario Nacional Forestal y de Suelos). 2012. Indicador Condición de Copa. *Sistema Nacional de Información Forestal*. (Fecha de consulta: Junio 2013). Disponible en: <http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/infys/temas/documentos-metodologicos>
- Koeser, A., R. Hauer, K. Norris and R. Krouse. 2013. Factors influencing long-term street tree survival in Milwaukee, WI, USA. *Urban For. Urban Green*. (Article in press). Available in: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2013.05.006>
- Loh, F.C.W., J.C. Grabosky and N.L. Bassuk. 2003. Growth response of *Ficus benjamina* to limited soil volume and soil dilution in a skeletal soil container study. *Urban For. Urban Green*. 2:053-062.
- Martínez G., L. 2008. Árboles y áreas verdes urbanas. Fundación Xochitla. México, DF. 549 p.
- Martínez G., L. y A. Chacalo H. 1994. Los árboles de la Ciudad de México. UAM-Azcapotzalco. México, DF. 351 p.
- Norma Ambiental para el Distrito Federal: NADF-001-RNAT-2006. Requisitos y especificaciones técnicas que deberán cumplir las autoridades, empresas privadas y particulares que realicen poda, derribo, trasplante y restitución de árboles en el Distrito Federal. Publicado: 8 de diciembre de 2006.
- Nowak, D. J., D.E. Crane and J.C. Stevens. 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban For. Urban Green*. 4:115–123.
- PAOT (Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial). 2010. Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la Ciudad de México. Gobierno del Distrito Federal. México, D.F. 260 p.
- PAOT (Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial). 2011. Diagnóstico fitosanitario del arbolado de Alameda Oriente. Gobierno del Distrito Federal. Reporte. México, D.F. 31 p.
- Randolph, K.C. 2005. A comparison of tree crown condition in areas with and without gypsy moth activity. *Proceedings of the Seventh Annual Forest Inventory and Analysis Symposium* 1:107-113.
- Randolph, K.C. 2006. Descriptive statistics of tree crown condition in the Southern United States and impacts on data analysis and interpretation general technical. USDA Forest Service. Report SRS–94. 17 p.

- Schomaker, M., S.J. Zarnoch, W.A. Bechtold, D.J. Latelle, W.G. Burkman and S.M. Cox. 2007. Crown-Condition Classification: A Guide to Data Collection and Analysis. USDA. General Technical Report SRS-102. 78 p.
- Smiley, E.T., L. Calfee, B.R. Fraedrich and E.J. Smiley. 2006. Comparison of structural and noncompacted soils for trees surrounded by pavement. *Arboriculture & Urban Forestry* 32(4): 164-169.
- Stoffberg, G.H., M.W. van Rooyen, M.J. van der Linde and H.T. Groeneveld. 2008. Predicting the growth in tree height and crown size of three street tree species in the city of Tshwane, South Africa. *Urban For. Urban Greening*. 7:259-264.
- Tiddens, P.T. and R.A. Cloyd. 2006. Susceptibility of three rose genotypes to Japanese beetle adult feeding. *Arboriculture & Urban Forestry* 32(3):108-113.
- Tovar C., G. 2007. Manejo del arbolado urbano en Bogotá. *Territorios* (16-17): 149-173.
- I-TREE: Eco. United States Forest Service (USDA). 2010. I-Tree User's Manual. Version 3.1. URL: [www.itreetools.org](http://www.itreetools.org) . (Abril 2012).
- Valdés, M., A. Cayetano R., M.A. Leyva y A. D. Camacho. 2004. Promoción del crecimiento en vivero de *Casuarina equisetifolia* (Forst) por microorganismos simbiotes. *Terra Latinoamericana* 22(2): 207-215.

## CAPITULO DOS

### DIAGNÓSTICO GENERAL DE SALUD EN ESPECIES FORESTALES DE ALAMEDAS DEL DF: CONDICIÓN DE COPA

#### RESUMEN

El indicador condición de copa se usa para estimar la proporción de árboles que presentan una muerte regresiva o una densidad de copa que se considere inferior a lo normal o distinto de la forma natural del espécimen: copas grandes y densas se relacionan con una tasa de crecimiento alta, mientras que copas pequeñas y escasas pueden indicar sitios con condiciones desfavorables para el desarrollo de la especie. Este indicador puede proporcionar información confiable y adecuada para diagnosticar la condición general de salud del arbolado urbano. Los sitios elegidos son parques dentro del Distrito Federal conocidos como Alamedas. Tres muestreos se realizaron durante la época de lluvias (Mayo a Octubre) y uno durante la época seca (Noviembre a Abril) de 2011. Las variables registradas fueron: densidad de copa (dnc), transparencia de follaje (trpf) y muerte regresiva (mr) en incrementos porcentuales (5%) en una escala de 0 a 100. Se realizaron pruebas de normalidad, análisis de varianza y pruebas no paramétricas Kruskal-Walis para conocer la distribución de los datos y las diferencias significativas entre los valores de las variables por especie, encontrándose que el valor de significancia para cada variable fue menor que el valor establecido de alfa ( $\alpha=0.05$ ). De acuerdo con los resultados, las especies con mejor condición general de salud fueron aquellas con los valores más altos para la variable dnc y los valores más bajos para las variables trpf y mr, destacando las especies *Cupressus sempervirens*, *Ligustrum lucidum*, *Populus alba* y *Fraxinus uhdei*.

**Palabras clave:** Alamedas, densidad de copa, muerte regresiva.

## CHAPTER TWO

### GENERAL HEALTH CONDITION IN FOREST SPECIES OF THREE PARKS IN MEXICO CITY: CROWN CONDITION

#### ABSTRACT

The crown condition indicator is used to know the proportion of trees that display a crown dieback or a foliage density considered lower than normal: thick and large crowns relate to high growth rates whilst small ones suggest sites with unfavorable conditions, and it can provide reliable and adequate information to diagnose the urban trees' general health condition. The chosen sites are three parks within Mexico City known as Alamedas. Three samplings were carried out during the rainy season (May to October) and one during the dry season (November to April) of 2011. Variables registered were crown density (dnc), crown dieback (mr) and foliage transparency (trpf) as percentual increases (5%) on a scale of 0 to 100. Normality tests, variance analysis and a non-parametric Kruskal-Walis analysis were carried out to find the distribution of data and significant differences in the values of the three variables, showing that the value of significance for each variable was lower than the significance value established ( $\alpha=0.05$ ). According to the results, species with better health status were those with highest values for the variable dnc and the lowest values for variables trpf and mr. Outstanding species were *Cupressus sempervirens*, *Ligustrum lucidum*, *Populus alba* and *Fraxinus uhdei*.

**Key Words:** Alamedas, crown density, crown dieback

## INTRODUCCIÓN

Los espacios verdes en áreas urbanas influyen positivamente en la salud de los usuarios al reducir la sensación de estrés y remover partículas contaminantes del entorno. Los árboles también contribuyen a la intercepción del agua de lluvia, por lo que mantenerlos saludables reduce la erosión y la pérdida de perfil de suelo, beneficio considerable y muy importante a largo plazo (Escobedo y Chacalo, 2008; Peck *et al.*, 2009; Rowntree y Nowak, 1991; Westphal, 2003; Wolf, 2003; Xiao, *et al.*, 1998). En 1987 se inicia el Proyecto Alamedas cuyo objetivo era aumentar las áreas verdes recreativas en todos los puntos de la ciudad utilizando especies de fácil adaptación a las condiciones particulares de la ciudad y que además buscaba la recuperación de suelos degradados por la fuerte actividad industrial tanto en el DF como en el Estado de México (GDF, 2000; GDF, 2010; GDF, 2011; GDF, 2012a; GDF, 2012b). Existen estudios en México sobre áreas verdes urbanas enfocados en la planeación consciente de las mismas así como el cálculo del valor económico y ambiental que aportan. Sin embargo, aún no se realiza alguno donde el objetivo sea inferir el estado de salud del arbolado urbano a través de una muestra de éste, midiendo las características estructurales de la copa. Se han realizado estudios sobre calidad de arbolado urbano como las de PAOT (2010) donde se registraron la diversidad y distribución de especies para evaluar su condición general, y otras donde estos mismos elementos permiten sugerir cuáles especies se adaptan mejor a la ciudad (Aguillón y Zamudio, 2002; Nunci, *et al.*, 2005; Uribe, 2010). Incluso, otros estudios consideran las variables dasométricas como largo y ancho de copa, y área foliar para evaluar la condición de copa del arbolado con el registro de los porcentajes faltantes de follaje (CFS, 2004), también se utilizan los porcentajes de defoliación de copa en relación con áreas geográficas determinadas y las condiciones meteorológicas específicas del sitio (por ejemplo patrones de lluvia) como indicadores del estado de salud del arbolado (Carnicer *et al.*, 2011; Johnson y Jacob, 2009).

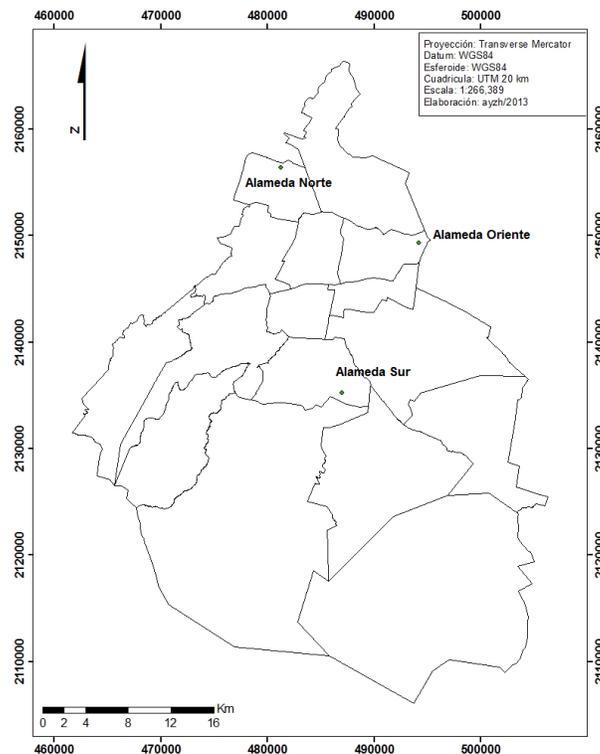
La información que proporciona el indicador de condición de copa se usa para estimar la proporción de árboles (por especie o tipo de bosque) que presentan muerte regresiva o una densidad de copa menor a la considerada normal (FIA, 2012; INFyS, 2012). En una masa forestal la copa es el componente principal para el factor productividad primaria neta (PPN) a través de las funciones de fotosíntesis y respiración, sus dimensiones reflejan de forma general el estado de salud del árbol considerando que las copas densas y grandes suelen asociarse con tasas de crecimiento elevadas (por mayor actividad fotosintética); y al contrario, copas pequeñas o escasas sugieren sitios con condiciones poco favorables (competencia con otros árboles por luz y nutrientes, estrés hídrico, exceso de humedad, altos niveles de contaminación) u otros factores en la zona (daños relacionados con plagas y enfermedades). El indicador condición de copa se incluye en los indicadores de salud en el Inventario Nacional Forestal (2012) y el Forest Inventory and Analysis (2012) y que se aplica satisfactoriamente en áreas naturales y bosques suburbanos para diagnosticar el estado general fitosanitario de estas comunidades forestales. Su aplicación en parques dentro de la zona urbana permitirá demostrar su eficiencia en la colecta de información confiable. Al mismo tiempo, proporcionará una nueva perspectiva del estado de salud de las especies predominantes en las alamedas del DF. Este estudio se realizó para identificar las principales especies en las alamedas, determinar si la metodología del indicador condición de copa es aplicable para la evaluación del arbolado urbano, y obtener información confiable y suficiente para

emitir un diagnóstico general del estado de salud del arbolado, utilizando las principales variables del indicador: densidad de copa, muerte regresiva y transparencia de follaje.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitios de muestreo

Los sitios seleccionados por su ubicación dentro de la ciudad fueron Alameda Oriente en la Delegación Iztacalco ( $19^{\circ} 26' 7.63''\text{N}/99^{\circ} 03' 18.53''\text{W}$ ), Alameda Norte en la Delegación Azcapotzalco ( $19^{\circ} 30' 4.25''\text{N}/99^{\circ} 10' 41.08''\text{W}$ ) y Sur en la Delegación Coyoacán ( $19^{\circ} 18' 32.70''\text{N}/99^{\circ} 7' 22.29''\text{W}$ ) [Figura 2.1].



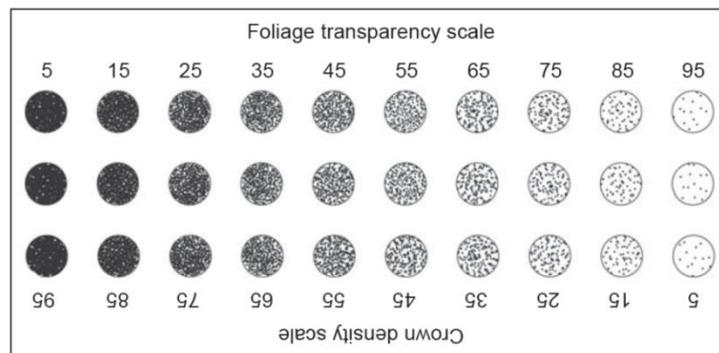
**Figura 2.1.** Ubicación de sitios seleccionados dentro de la Ciudad de México (DF).

Una vez definidas las áreas se establecieron parcelas circulares con radio de 11.4 m y superficie de  $408.30 \text{ m}^2$  cada una, en conglomerados de cuatro parcelas formando una Y invertida, como se indica en la metodología del indicador condición de copa (FIA, 2012, INFyS, 2012), pero con modificaciones de acuerdo con la metodología del modelo I-Tree para áreas urbanas (I-TREE, 2010; Nowak, 2006). En Alameda Norte se establecieron cinco conglomerados (superficie total  $8,166 \text{ m}^2$ ) y en Alameda Sur y Oriente cuatro conglomerados (superficie total  $6,532 \text{ m}^2$ ). Se realizaron tres muestreos en período de lluvias (mayo a octubre) y uno en época seca (noviembre a abril) durante el año 2011. Se evaluaron todos los árboles dentro de los límites de las parcelas circulares, numerándose progresivamente, partiendo del norte en el sentido de las manecillas del reloj. Las variables dasométricas registradas para

cada árbol fueron altura (m) con pistola Haga, diámetro (cm) con cinta diamétrica y ancho de copa (medidas N-S y E-O) [m] con cinta métrica. No se registraron arbustos, palmeras, setos o herbáceas.

### Registro de variables

Las variables del indicador condición de copa evaluadas fueron densidad de copa (dnc), muerte regresiva (mr) y transparencia del follaje (trpf). La dnc estima la cantidad de ramas de la copa, follaje y estructuras reproductivas que bloquean la luz que atraviesa la copa, considerando que cada especie tiene una copa normal que varía con el sitio, genética y daños infligidos al árbol. Además se determinó la silueta de la copa proyectando una imagen de espejo completa alrededor del eje central del tronco principal basándose en la forma natural del árbol, incluyendo puntas faltantes o muertas. La variable trpf se registró estimando el porcentaje de copa viva con follaje que permite el paso de la luz, considerando que este valor varía si el árbol ha sido sometido a una defoliación por estrés o daños recientes, especialmente en áreas urbanas. Se excluyó el follaje de plantas parásitas y las ramas muertas en la parte baja de la copa viva, ramas faltantes o áreas sin follaje. Estas dos variables se evaluaron utilizando la tarjeta diseñada por el FIA (2012) [Figura 2.2]. La variable mr se evaluó como mortalidad reciente de ramas con ramillas comenzando en la porción terminal de la rama e internamente hacia el tronco. Se registraron los incrementos porcentuales (5%) en las tres variables (en una escala de 0 a 100). La distancia de evaluación del árbol fue de la mitad a una vez la longitud total del árbol para una mejor panorámica de la copa (FIA, 2012; INFyS, 2012; Randolph, 2006). La identificación de especies se realizó con ayuda de expertos, material fotográfico y bibliografía sobre el tema.



**Figura 2.2.** Tarjeta utilizada para evaluación de las variables del indicador: densidad de copa y transparencia de follaje. Tomado de FIA (2012).

### Análisis de datos

Se realizaron pruebas de normalidad para conocer la distribución de los datos utilizando las de Kolmogorov-Smirnov (si  $n_{obs} \geq 2000$ ) y Shapiro Wilk (si  $n_{obs} \leq 2000$ ) ambas pruebas con un alfa ( $\alpha$ ) = 0.05. Los datos obtenidos en los muestreos fueron analizados para obtener medidas de tendencia central, medidas de dispersión y diagramas de caja. Se realizó el análisis de varianza y la comparación de medias para encontrar diferencias significativas en los valores obtenidos de las tres variables del indicador en los parques. Se realizó un análisis no paramétrico Kruskal-Wallis para  $n$  muestras independientes (con un

$\alpha=0.05$ ) para contrastar los valores de las principales especies identificadas. Los grupos de datos se analizaron estadísticamente considerando que árboles con valores de  $dnc=0$  (0%);  $mr=100$  (100%) y  $trpf=100$  (100%) se definen como ejemplares sin copa y, por lo tanto, ejemplares muertos, por lo que no se consideraron en los cálculos estadísticos (Randolph, 2006). Se utilizó el paquete estadístico SAS® versiones 9.0 y 9.3, y SPSS® para Windows versión 15.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Identificación de especies

En Alameda Oriente las especies con mayor frecuencia relativa son *Casuarina equisetifolia* Forst y *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh (Cuadro 1) predominantes en áreas arboladas y cortinas rompevientos en el perímetro de los parques. Ambas especies fueron de amplio uso al considerarse buenas opciones para la reforestación rural y urbana por su rápido crecimiento. *C. equisetifolia* es un árbol fijador de nitrógeno atmosférico, cuyo uso como cortina rompevientos se demostró en diversas áreas de la ciudad, además de que sus características le permiten sobrevivir y crecer en condiciones muy adversas (Valdez *et al.*, 2004). Estas especies son introducidas y se emplearon para contrarrestar los efectos nocivos de la deforestación y la degradación de los suelos, por lo que es frecuente ver estas especies como parte del paisaje de la ciudad. Chacalo y Corona (2009) reportaron que el 6% del total de especies inventariadas en el DF corresponde a *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh, *Jacaranda mimosaeifolia* D. Don, *Erythrina coralloides* Mill, *Eucalyptus* sp., *Ulmus parvifolia* Jacq y *C. equisetifolia*, lo que habla de una pobre diversidad y sobre todo, de la presencia de especies no nativas del país.

En Alameda Sur se registró una abundancia de latifoliadas con una frecuencia relativa alta de *F. uhdei* (Cuadro 1), especie nativa de México de fácil adaptación, rápido crecimiento y excelente auxiliar en recuperación de suelos degradados (CONABIO, 2011a), esta especie se encontró distribuida en todo el parque, aunque también se registró una frecuencia importante de *Acer negundo* L. subsp. *mexicanum* Deyerm en zonas aisladas de la alameda. La Alameda Sur presentó una mayor diversidad de especies en la muestra con respecto a las Alamedas Norte y Oriente. En Alameda Norte *Cupressus lusitanica* Miller var. *lindleyi* fue la especie con mayor frecuencia relativa (Cuadro 1); esta especie se considera útil para controlar la erosión y conservar del suelo, y también como barrera rompevientos (CONABIO, 2011). Otros géneros destacados fueron *Pinus* y *Eucalyptus* (Cuadro 1). En este parque se detectó un problema de alta densidad de población en determinadas secciones del parque, lo que limita el desarrollo adecuado de algunos árboles. Esta característica permite categorizar los ejemplares en árboles dominantes, codominantes y suprimidos, lo que podría asociarse a los valores de las variables del indicador. En los programas de mejora delegacional, Alameda Oriente está llenando espacios abiertos con nuevas plantaciones y más infraestructura para los usuarios (GDF, 2012b), sin afectar las áreas arboladas existentes. En las Alamedas Sur y Norte se detectó la remoción de ejemplares registrados en el primer muestreo, principalmente por daños ocasionados por plantas parásitas.

## Condición de copa

Para analizar la distribución de los datos se aplicaron las pruebas Kolmogorov-Smirnov para todo el conjunto de datos, y Shapiro-Wilk para cada grupo de datos por especie identificada. La hipótesis nula  $H_0 = \text{datos se distribuyen normalmente}$ ; se rechazó en ambas pruebas para las tres variables analizadas (dnc, mr y trpf) ya que el valor de significancia estadística en los grupos de datos estuvieron por debajo del valor establecido de  $\alpha = 0.05$ . Esto indica que existen ejemplares forestales en los tres parques con valor extremos para las tres variables (en la escala 0 a 100%), lo que puede deberse a la heterogeneidad en edades de los ejemplares, su capacidad de adaptación a las condiciones del sitio (estrés hídrico, variaciones de temperatura ambiental, altos niveles de contaminantes, escasa o nula fertilización, ataque de plagas y enfermedades) y la influencia de los programas de mantenimiento de cada parque y la afluencia de visitantes.

**Cuadro 2.1.** Distribución de frecuencias de especies identificadas en Alamedas del DF.

Especies	Alameda Norte		Alameda Oriente		Alameda Sur	
	Frecuencia absoluta (Fi)	Frecuencia relativa (Fri)	Frecuencia absoluta (Fi)	Frecuencia relativa (Fri)	Frecuencia absoluta (Fi)	Frecuencia relativa (Fri)
<i>Eucalyptus globulus</i>	0	0.00	0	0.00	41	18.30
<i>E. camaldulensis</i>	72	14.60	36	14.36	0	0.00
<i>Acer negundo</i>	0	0.00	0	0.00	29	12.72
<i>Fraxinus uhdei</i>	61	12.32	1	0.40	50	22.21
<i>Populus alba</i>	2	0.46	0	0.00	4	1.79
<i>Populus tremuloides</i>	10	1.98	3	1.00	1	0.45
<i>Cupressus lindleyi</i>	139	28.09	0	0.00	5	2.34
<i>C sempervirens</i>	1	0.20	0	0.00	12	5.36
<i>Ulmus parvifolia</i>	1	0.20	6	2.31	6	2.57
<i>Ligustrum lucidum</i>	40	8.11	0	0.00	18	8.15
<i>Pinus sp.</i>	51	10.34	0	0.00	0	0.00
<i>Casuarina equisetifolia</i>	27	5.48	186	74.60	0	0.00
Diversas especies	36	7.20	2	0.80	19	8.37
Árboles muertos	54	11.00	16	6.53	40	17.75
<b>Total</b>	<b>493</b>	<b>100</b>	<b>249</b>	<b>100</b>	<b>224</b>	<b>100</b>

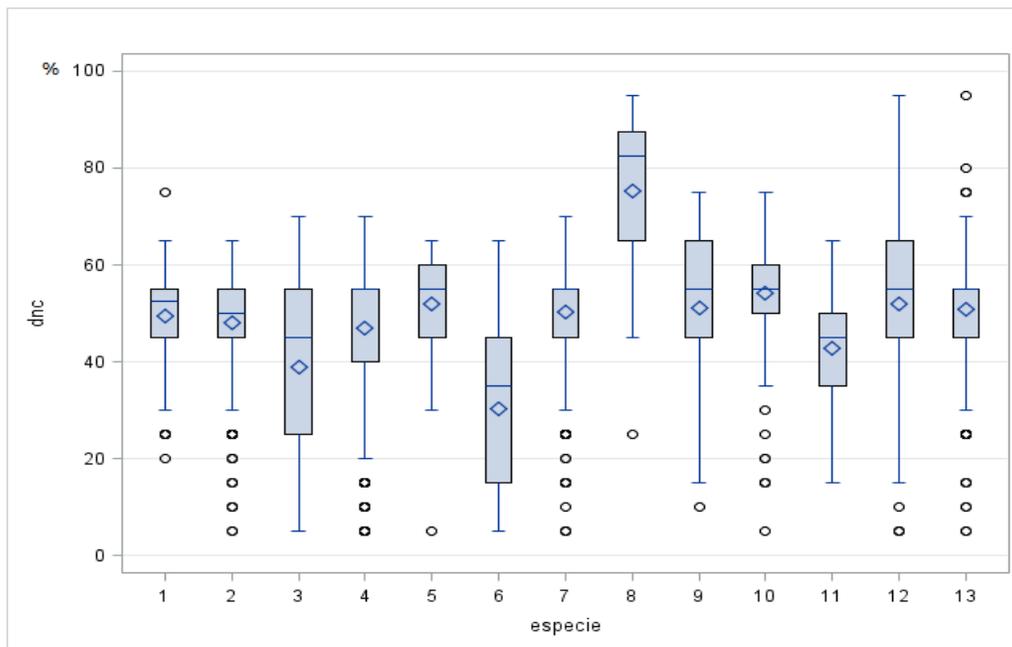
El indicador condición de copa se evaluó en 493 árboles en Alameda Norte, 224 árboles en Alameda Sur y 249 árboles en Alameda Oriente, con 12 especies destacadas en la muestra total de los tres parques (Cuadro 2.1). Especies identificadas pero con cinco o menos ejemplares en la muestra se agruparon en la categoría número 12 (diversas especies) para su análisis. En este tipo de datos, la mediana es más apropiada que la media estadística para interpretar el comportamiento de las variables una vez que se ha comprobado que no existe una distribución normal y que se presenta una alta asimetría de datos (al observarse valores extremos) que influyen en la media de la muestra. La mediana representa el punto medio o percentil del 50% donde la mitad de las observaciones de la muestra se encuentran debajo y la

otra mitad por encima de la misma (Schomaker *et al.*, 2007). En la evaluación del indicador condición de copa una limitante es la percepción del evaluador con respecto a lo que se considera la forma natural del árbol, que depende de la especie (caducifolia o perenne) y la época del año. Debe tomarse en cuenta que en ocasiones los costados de los árboles o las puntas de la copa no son visibles al mismo tiempo (traslape de doseles en sitios con alta densidad de población) como en Alameda Norte en el género *Pinus*, árboles que requieren más espacio para su desarrollo óptimo y que sobreviven en espacios muy reducidos modifica el desarrollo de su follaje y por lo tanto, los valores registrados para las variables dnc y trpf. Otros factores que influyen en la dnc es el incremento del espacio de crecimiento tras la remoción por muerte de árboles vecinos o la recuperación del árbol después de una defoliación severa causada por algún factor estresante. En Alameda Sur, ejemplares de *A. negundo* se sometieron a podas de saneamiento como parte de los programas de mejora delegacional donde los ejemplares más afectados por presencia de plantas parásitas fueron removidos (de acuerdo con cambios registrados entre el primer y último muestreo) lo que se reportó como una variación en valores de dnc en esta especie. La densidad de copa disminuye con el tiempo como resultado de la competencia y la edad del árbol; el estrés y la falta de nutrientes y agua causan pérdidas de ramas creando espacios entre el dosel vivo de cada ejemplar al no permitir un desarrollo adecuado de nuevos brotes foliares, también puede ocurrir la ruptura de ramas por vandalismo o fenómenos meteorológicos atípicos (FIA, 2012; Schomaker *et al.*; 2007) lo cual es muy común en áreas urbanas del DF, donde el flujo de usuarios, especialmente los fines de semana y días festivos se incrementa por ser áreas con fines recreativos.

Las especies con valores más altos para la variable dnc fueron *C. equisetifolia* con una mediana de 55%; *C. lusitanica* var. *lindleyi* con un valor de 55%; *Eucalyptus globulus* Labill. con un 52.5%; *E. camaldulensis* con 50% y *F. uhdei* con un 50% (Figura 2.3). Los porcentajes de la variable dnc indican que la mayoría de los árboles poseen en promedio al menos un 50% de su follaje, por lo que se puede considerar suficiente para realizar fotosíntesis y sobrevivir en las condiciones de la ciudad. Árboles con valores extremos bajos se registraron en condiciones de poco espacio de crecimiento para desarrollar su copa de forma óptima, o afectados severamente por plagas, enfermedades y plantas parásitas. Valores altos de dnc se dieron en especies como *C. equisetifolia* en Alameda Oriente con amplios espacios de crecimiento; o en *Eucalyptus* sp. que se adaptan fácilmente en suelos pobres en nutrientes y períodos prolongados de sequía. En Alameda Norte *C. lusitanica*, especie poco tolerante a la sombra, registró valores bajos de dnc relacionados con su condición suprimida por especies de mayor altura y poca luz recibida en el estrato inferior. Árboles caducifolios presentan patrones normales de defoliación a lo largo del año, por lo que muestreos estacionales son óptimos para registrar estos cambios, como el caso de *F. uhdei* en las tres alamedas (CONABIO, 2011; CONABIO, 2011a; Rodríguez y Cohen, 2003).

Especies como *F. uhdei* y *C. equisetifolia* que presentan buena condición general de copa y que son frecuentes en parques del DF, se utilizan por su alta tolerancia a la contaminación, su capacidad de retener partículas suspendidas y polvo en el follaje, y la tolerancia a bajos niveles de humedad en el suelo y sequías prolongadas (CONABIO, 2011; Rodríguez y Cohen, 2003; Uribe, 2010; Valdés *et al.*, 2004) lo que se refleja en los valores altos de dnc y bajos en mr (figuras 2.3 y 2.5). En estudios con *Picea abies* L (Karst), la condición de copa se estimó a través de los parámetros defoliación y decoloración del follaje analizando las variables de acuerdo con los factores que afectan directamente los valores: influencias

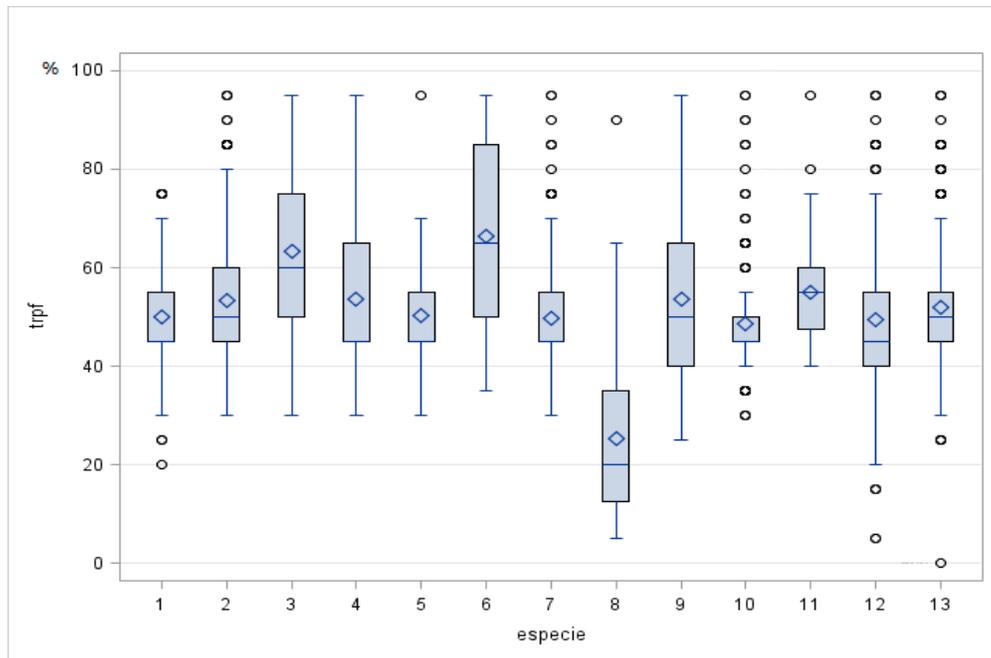
metodológicas sistemáticas, factores antropogénicos y naturales (por ejemplo edad del árbol) [Mues y Fischer, 2001]. En ambientes urbanos, estos factores son aplicables pero con restricciones. Sí existe una relación entre defoliación por edad y zona geográfica donde se desarrolla la especie (como *P. abies* en Europa) pero en las alamedas también se asociarán las tres variables del indicador con la época del año, la especie y el nivel de adaptación a la ciudad.



**Figura 2.3.** Variable densidad de copa (dnc) en especies identificadas en Alamedas del DF. 2011.

Dónde: 1: *Eucalyptus globulus*; 2: *E. camaldulensis*; 3: *Acer negundo*; 4: *Fraxinus uhdei*; 5: *Populus alba*; 6: *P. tremuloides*; 7: *Cupressus lusitanica* var. *lindleyi*; 8: *C. sempervirens*; 9: *Ulmus parvifolia*; 10: *Ligustrum lucidum*; 11: *Pinus* sp.; 12: Diversas especies; 13: *Casuarina equisetifolia*.

Las especies donde la variable trpf registró valores más altos que la variable dnc se relacionó con árboles con copas poco densas, con follaje joven, o afectados por podas intensivas de mantenimiento, vandalismo y daños por plantas parásitas. Las especies con valores altos en trpf fueron *Populus tremuloides* Michx con 65%; *A. negundo* con 60%; y *U. parvifolia* con 50% (Figura 2.4). Estas especies se observaron severamente afectadas por plantas parásitas en las Alamedas Norte y Sur, lo cual se reflejó en los valores registrados. En el género *Eucalyptus* los valores de trpf se relacionaron más con la apertura de las ramas en el dosel y la mayor penetración de la luz a través del follaje.



**Figura 2.4.** Variable transparencia de follaje (trpf) en especies identificadas en Alamedas del DF. 2011. Dónde: 1: *Eucalyptus globulus*; 2: *E. camaldulensis*; 3: *Acer negundo*; 4: *Fraxinus uhdei*; 5: *Populus alba*; 6: *P. tremuloides*; 7: *Cupressus lusitanica* var. *lindleyi*; 8: *C. sempervirens*; 9: *Ulmus parvifolia*; 10: *Ligustrum lucidum*; 11: *Pinus* sp.; 12: Diversas especies; 13: *Casuarina equisetifolia*.

Por lo general, el promedio del valor de trpf en árboles sanos es propio de género y especie que se trate (Schomaker *et al.*, 2007). En las alamedas los géneros *Eucalyptus* y *Pinus* se desarrollan en condiciones poco adecuadas para tener una copa y follaje adecuados de acuerdo con la forma natural de cada especie, en gran parte atribuido a las altas densidades de plantación y las reducciones en el espacio de crecimiento, condiciones frecuentes en la ciudad. Sin embargo las especies con defoliación natural, como *F. uhdei* presentan variaciones en los valores de trpf a lo largo de la estación de crecimiento.

La variable mr estima la severidad de estrés reciente al que se somete el arbolado, con reducciones en el crecimiento del árbol, por lo que se emplea como indicador temprano de la pérdida de vigor y crecimiento potencial en respuesta a daños o estrés severos (Schomaker *et al.*, 2007). Si los valores altos para la variable mr se interpretan como un mal estado general de salud, las especies *P. tremuloides* con 50%; *Pinus* sp. con 20%, *C. lusitanica* var. *lindleyi* y *A. negundo*, ambas con 5%, se considerarían en condiciones más precarias de salud (Figura 2.5). En las Alamedas Norte y Sur, *P. tremuloides* y *A. negundo* registraron mayor número de ejemplares afectados por plantas parásitas, las que comienzan a ser un problema severo en el arbolado de la ciudad (Alvarado, 2012; GDF, 2012) y que contribuyeron a elevar los valores de mr. En Alameda Norte ejemplares de *C. lusitanica* se ven afectados por espacios de crecimiento reducidos y escasa luminosidad promoviendo una muerte progresiva en el arbolado y valores altos de mr. Un valor elevado de mr indica que uno o más factores afectan directamente el follaje del árbol, pero descartando que dichos valores sean producto de procesos normales del árbol como la producción excesiva de semillas, y que no implica necesariamente una condición anormal en el arbolado. Sin embargo, en coníferas valores de mr altos se registran cuando el árbol ya se encuentra en

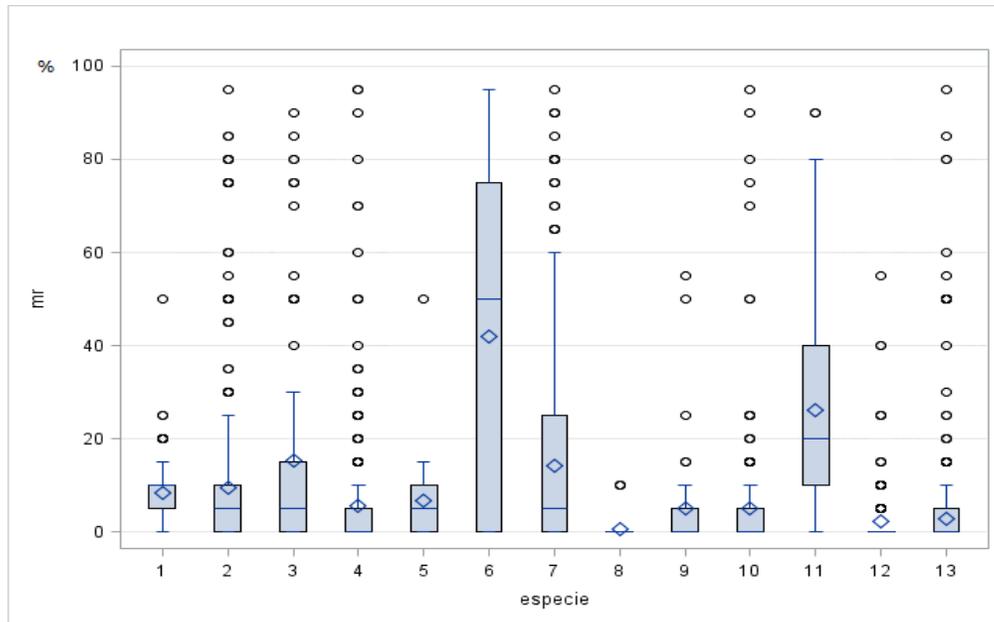
un proceso de declinación severo independientemente de los factores causantes (Schomaker *et al.*, 2007) por lo que hay que considerar las condiciones generales del sitio antes de emitir un diagnóstico, sobre todo en condiciones urbanas. Por ejemplo, árboles del género *Pinus* sp. en Alameda Norte registraron valores altos de mr, que pueden asociarse al estrés provocado por reducción del espacio de crecimiento y altas densidades de plantación.

La especie más afectada por las condiciones de sitio en las alamedas del DF con los valores más altos de mr fue *P. tremuloides*, la cual se desarrolla mejor en suelos con buen drenaje, ricos en material orgánica, nutrientes, con suficiente humedad y exposición a la luz del sol (USDA-NRCS, 2013). En áreas naturales, esta especie se adapta a un gran rango de suelos, sin embargo, es intolerante a los contaminantes urbanos y a la escasa humedad del suelo. En la ciudad de México la escasez de agua y la alta contaminación presente a lo largo de la estación de crecimiento son factores que contribuyen a la declinación de esta especie. El resto de las especies identificadas registraron valores bajos de mr por lo que se puede inferir una mejor adaptación a las condiciones de la ciudad y si bien, es frecuente que el arbolado urbano pierda ramillas, también regenera sus copas una vez que el o los factores estresantes son reducidos o eliminados, lo que explica los valores extremos de la variable a lo largo del período de muestreo (USDA-NRCS, 2013; PAOT, 2010).

Las copas de árboles pequeñas y escasas suelen indicar condiciones de sitio desfavorables. En el DF se esto se explica por la acción conjunta entre alta competencia por diseños inadecuados de plantación, estrés hídrico por poca disponibilidad de agua, defoliación por insectos y enfermedades del follaje (FIA, 2012) y programas de mantenimiento en el rubro de podas formativas y fitosanitarias, que suelen ser inadecuadas a la forma natural del árbol. Los cambios en la copa del arbolado pueden ser temporales si las condiciones de estrés se eliminan o se reducen, pero las condiciones pobres de sitio se reflejarán eventualmente en las copas de los árboles, asociando valores bajos de dnc con la reducción del dosel comparándose con árboles de copas simétricas y completas (Anderson y Belanger, 1987). En la ciudad se espera que árboles con copas más densas tengan mayores tasas de fotosíntesis, crecimiento y reproducción, alto vigor y supervivencia que un árbol de la misma especie pero con menor follaje en su copa. Si valores bajos de la variable dnc se relacionan con la pérdida de vigor y el potencial de crecimiento, entonces un árbol se considerará con un estado de salud de malo a regular cuando presente pérdidas importantes y persistentes de follaje en muestreos consecutivos, además de valores altos para las variables mr y trpf, como sucedió con ejemplares de *P. tremuloides* y *C. lusitanica* en Alameda Norte y *A. negundo* en Alameda Sur, que registraron disminuciones en los valores de dnc y un incremento en mr y trpf, a lo largo del muestreo.

La especie con el valor más alto de dnc (82.5%), y los valores más bajos para mr y trpf (0% y 20% respectivamente) fue *Cupressus sempervirens* L., especie que se adapta a condiciones bajas de humedad, tolerante a la contaminación, a la sombra y a bajas disponibilidades de nutrimentos. Además, la forma de su copa ha contribuido al incremento en su uso como cortina rompevientos y ornamental en plazas, jardines y banquetas de la ciudad (CONABIO, 2009). También *C. equisetifolia* presentó valores altos de dnc y bajos para mr, lo que se relaciona con la buena adaptación a las condiciones urbanas y, por lo tanto, un estado general de salud bueno, siendo una especie introducida en México que se considera

poco estética y más apta para cortinas rompevientos o regeneración de suelos degradados. La especie menos adaptada a las condiciones de las alamedas del DF con una baja frecuencia relativa, valores bajos de dnc y altos para la variable mr es *P. tremuloides*.



**Figura 2.5.** Variable muerte regresiva (mr) en especies identificadas en Alamedas del DF. 2011.

Dónde: 1: *Eucalyptus globulus*; 2: *E. camaldulensis*; 3: *Acer negundo*; 4: *Fraxinus uhdei*; 5: *Populus alba*; 6: *P. tremuloides*; 7: *Cupressus lusitanica* var. *lindleyi*; 8: *C. sempervirens*; 9: *Ulmus parvifolia*; 10: *Ligustrum lucidum*; 11: *Pinus* sp.; 12: Diversas especies; 13: *Casuarina equisetifolia*.

### Comparación estadística de la condición de copa

Se analizaron 13 de las 14 categorías de especies ya que la última corresponde a árboles muertos. Para comparar más de dos muestras independientes se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis tras determinarse que los datos no se distribuyen normalmente (con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk). Se planteó como hipótesis nula ( $H_0$ ) que los valores de las medianas de las tres variables del indicador condición de copa por especie son estadísticamente similares, sin influencia del sitio de muestreo (alamedas), esto es:  $H_0 = \vartheta_{esp1sitio1} = \vartheta_{esp2sitio1} = \dots = \vartheta_{esp^n sitio^n}$ , mientras que la hipótesis alterna ( $H_a$ ) indica que si existen diferencias entre los valores de las variables por cada especie. Tras realizar la prueba, el valor de significancia (sig. asintótica) para cada variable es 0.0001, menor que el valor de significancia establecido para  $\alpha=0.05$ , por lo que se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), siendo que los valores registrados de cada variable del indicador, por especie identificada, son estadísticamente diferentes y pueden estar influidos por el sitio de muestreo donde se desarrollan cada una de ellas (cuadros 2.2 y 2.3).

**Cuadro 2.2.** Estadísticos de la prueba Kruskal-Wallis por especie identificada en Alamedas del DF.

<b>Estadísticos de contraste *</b>			
<b>Variabes del indicador<sup>a</sup></b>	<b>dnc</b>	<b>mr</b>	<b>trpf</b>
Chi-cuadrado	365.962	822.751	292.49
Grados de libertad	12	12	12
Sig. Asintótica	0.000	0.000	0.000

\* Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

<sup>a</sup> Donde: dnc= densidad de copa; mr= muerte regresiva y trpf = transparencia de follaje

De acuerdo con la prueba Kruskal-Wallis (Cuadro 2.3) la especie con el rango más alto para la variable dnc y los valores más bajos para las variables trpf y mr es *C. sempervirens*, localizada en las Alamedas Sur y Norte, lo que significa que esta especie se desarrolla de forma óptima aún si se presentan condiciones estresantes. Así mismo, la especie con los valores de rango más bajos para la variable dnc y más altos para la variable trpf es *P. tremuloides*, que se identificó en las tres alamedas. El género *Pinus*, identificado en Alameda Norte, registra el rango más alto para mr lo que indica que este género es más susceptible a las condiciones pobres de sitio en las que se desarrolla, aun si los árboles han desarrollado mecanismos de adaptación a factores estresantes (reducido espacio de crecimiento, suelos pobres en nutrientes, escasa humedad, altas temperaturas y niveles de contaminación) que les han permitido sobrevivir con densidades de copa diferentes a su forma natural, pero suficientes para realizar sus actividades fisiológicas básicas (Chacalo y Corona, 2009).

## CONCLUSIONES

El estado de salud general del arbolado en las alamedas del DF se considera regular, existen especies (independientemente de si son introducidas o nativas de la Cuenca de México) mejor adaptadas a las condiciones urbanas lo cual se refleja en los valores de las tres variables del indicador condición de copa. Las especies con mayor frecuencia relativa fueron: *C. lusitanica* var. *lindleyi* en Alameda Norte, *C. equisetifolia* en Alameda Oriente y *F. uhdei* en Alameda Sur. Las especies con mejor estado general de salud son aquellas con los valores más altos de densidad de copa y valores más bajos de transparencia de follaje y muerte regresiva destacando *C. sempervirens*, *Ligustrum lucidum* Ait, *Populus alba* L y *F. uhdei*.

**Cuadro 2.3.** Valores de los rangos obtenidos con valores sobresalientes (negritas) de la prueba Kruskal-Wallis por especie identificada en Alamedas del DF.

Variable <sup>a</sup>	Especies	N	Rango promedio
<b>dnc</b>	<i>Eucalyptus globulus</i>	164	1694.63
	<i>E. camaldulensis</i>	432	1590.40
	<i>Acer negundo</i>	114	1189.30
	<i>Fraxinus uhdei</i>	451	1588.65
	<i>Populus alba</i>	25	2054.50
	<i>Populus tremuloides</i>	53	<b>727.63</b>
	<i>Cupressus lindleyi</i>	575	1806.14
	<i>Cupressus sempervirens</i>	52	<b>3057.07</b>
	<i>Ulmus parvifolia</i>	52	1896.52
	<i>Ligustrum lucidum</i>	234	2132.86
	<i>Pinus sp.</i>	208	1090.05
	Diversas especies	226	1968.73
	<i>Casuarina equisetifolia</i>	851	1803.02
<b>mr</b>	<i>Eucalyptus globulus</i>	164	2213.20
	<i>E. camaldulensis</i>	432	1950.07
	<i>Acer negundo</i>	114	2170.70
	<i>Fraxinus uhdei</i>	451	1551.69
	<i>Populus alba</i>	25	1757.50
	<i>Populus tremuloides</i>	53	2516.52
	<i>Cupressus lindleyi</i>	575	2051.06
	<i>Cupressus sempervirens</i>	52	<b>983.04</b>
	<i>Ulmus parvifolia</i>	52	1512.03
	<i>Ligustrum lucidum</i>	234	1460.37
	<i>Pinus sp.</i>	208	<b>2750.42</b>
	Diversas especies	226	1183.98
	<i>Casuarina equisetifolia</i>	851	1278.18
<b>trpf</b>	<i>Eucalyptus globulus</i>	164	1613.91
	<i>E. camaldulensis</i>	432	1836.02
	<i>Acer negundo</i>	114	2410.00
	<i>Fraxinus uhdei</i>	451	1810.64
	<i>Populus alba</i>	25	1511.96
	<i>Populus tremuloides</i>	53	<b>2478.70</b>
	<i>Cupressus lindleyi</i>	575	1559.56
	<i>Cupressus sempervirens</i>	52	<b>351.56</b>
	<i>Ulmus parvifolia</i>	52	1735.73
	<i>Ligustrum lucidum</i>	234	1388.06
	<i>Pinus sp.</i>	208	2079.67
	Diversas especies	226	1524.89
	<i>Casuarina equisetifolia</i>	851	1742.15

<sup>a</sup> Donde: dnc= densidad de copa; mr= muerte regresiva y trpf = transparencia de follaje

## LITERATURA CITADA

- Aguillón L., R. y E. Zamudio C. 2002. Análisis del arbolado público urbano en la ciudad de Linares, N. L. Facultad de Ciencias Forestales. UANL. 10 p.
- Alvarado R., D. 2012. Enfermedades de actualidad en los bosques y arbolado urbano de la Ciudad de México. pp. 55-74. *In: Deforestación, desertificación y reforestación.* 2012. M.L.I. de Bauer (compiladora). Comité de Acción para Saneamiento del Ambiente (CASA). 181 p.
- Anderson, R.L. and R.P. Belanger. 1987. A crown rating method for assessing tree vigor of loblolly pine and shortleaf pines. *In: Phillips, D.R., (comp.) Proceedings of the fourth biennial southern silvicultural research conference.* Gen. Tech. Rep. SE-42. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station: 538-543.
- Carnicer, J., M. Coll, M. Ninyerola, X. Pons, G. Sánchez y J. Peñuelas. 2011. Widespread Crown condition decline, food web disruption and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. *PNAS Ecology-Environmental Sciences.* Stanford, California. 5 p.
- Chacalo H., A. y V. Corona N.E. 2009. Árboles y arbustos para ciudades. UAM-Azcapotzalco. México, DF. 600 p.
- CONABIO. 2009. *Naturalista: Cupressus sempervirens.* Versión: 2010 URL: <http://conabio.inaturalist.org/taxa/64261-Cupressus-sempervirens> (20 de junio de 2012).
- CONABIO. 2011. *Ficha: Cupressus lindleyi.* Versión 2011. URL: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/26-cupre1m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/26-cupre1m.pdf) (20 de junio 2012).
- CONABIO. 2011a. *Ficha: Fraxinus uhdei.* Versión 2011. URL: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/53-oleac1m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/53-oleac1m.pdf) (20 de junio de 2012).
- Escobedo F. y A. Chacalo. 2008. Estimación preliminar de la descontaminación atmosférica por el arbolado urbano de la Ciudad de México. *Interciencia* 33(1): 29-33.
- FIA (Forest Inventory and Analysis National Program). 2012. *Forest Health Indicators: Crown condition method guide.* Versión 3.0 - 2005. URL: <http://www.fia.fs.fed.us/program-features/indicators/crown/default.asp> (28 noviembre 2012).
- GDF (Gobierno del Distrito Federal). 2000. Ley Ambiental del D.F. Gaceta Oficial del Distrito Federal, decreto del 13 de enero de 2000. Última reforma publicada en la *GODF* el 24 de febrero de 2009.

- GDF (Gobierno del Distrito Federal). 2010. Delegación Azcapotzalco: Programa de Gobierno Delegacional 2009-2012. 83 p.
- GDF (Gobierno del Distrito Federal). 2011. *Secretaría de Turismo. Palabra Clave: Ecoturismo*. URL: <http://www.mexicocity.gob.mx/> (8 de julio de 2012).
- GDF (Gobierno del Distrito Federal). 2012. *Estudio base para el manejo de arbolado urbano infestado por muérdago. Dirección de reforestación urbana, parques y ciclovías*. URL: <http://www.sma.df.gob.mx/drupc/index.php?opcion=15> (20 de junio de 2012).
- GDF (Gobierno del Distrito Federal). 2012a. *Secretaría del Medio Ambiente. Historia: Alameda Central*. URL: [http://www.sma.df.gob.mx/planverde/index.php?option=com\\_content&view=section&layout=blog&id=5&Itemid=89&limitstart=10](http://www.sma.df.gob.mx/planverde/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=5&Itemid=89&limitstart=10) (28 de noviembre de 2012).
- GDF (Gobierno del Distrito Federal). 2012b. *Secretaría de Obras y Servicios. Historia: Alameda Oriente*. URL: [http://www.obras.df.gob.mx/?page\\_id=998](http://www.obras.df.gob.mx/?page_id=998) (20 de junio de 2012).
- INFyS (Inventario Nacional Forestal y de Suelos). 2012. *Indicador Condición de Copa. Sistema Nacional de Información Forestal*. URL: <http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/infys/temas/documentos-metodologicos> (20 de junio de 2013).
- Johnson, J. and M. Jacob. 2010. Monitoring the effects of air pollution on forest condition in Europe: is crown defoliation an adequate indicator? *Biogeosciences and Forestry*. iForest (3):86-88
- Mues, V. and R. Fischer. 2001. Temporal development of crown condition of *Picea abies*: two-step approach using statistical and geostatistical methods. Work report. Institute of World Forestry. Berlin, Germany. 23 p.
- Nowak, D. J., D.E. Crane and J.C. Stevens. 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban For. Urban Green*. 4:115–123.
- Nunci R., E., H. Marcano V., I. Vicens, G. Bartolomedi y A.E. Lugo. 2005. El bosque del parque central de la urbanización el paraíso: estructura, composición de especies y crecimiento de árboles. *Acta Científica* 19(1-3):73-81.
- Peck, S. W., R.D. Cameron and T. Liptan. 2009. *Green roofs: Beautiful and innovative solutions to stormwater pollution*. Webcast. Watershed Academy. EPA. URL: [http://water.epa.gov/learn/training/wacademy/upload/greenroofs\\_feb18\\_slides.pdf](http://water.epa.gov/learn/training/wacademy/upload/greenroofs_feb18_slides.pdf) (20 de junio de 2013).

- Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial (PAOT). 2010. Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la Ciudad de México. Gobierno del Distrito Federal. 1ª Edición. México, D.F. 260 p.
- Randolph, K.C. 2006. Descriptive statistics of tree crown condition in the Southern United States and impacts on data analysis and interpretation general technical. USDA Forest Service. Report SRS-94. 17 p.
- Rodríguez S., L.M. y E. J. Cohen F. 2003. Guía de árboles y arbustos de la zona metropolitana de la Ciudad de México. UAM-GDF. México, DF. 383 p.
- Rowntree, R.A. and D.J. Nowak. 1991. Quantifying the role of urban forests in removing atmospheric carbon dioxide. *Journal of Arboriculture* 17(10):269-275.
- Schomaker, M., S.J. Zarnoch, W.A. Bechtold, D.J. Latelle, W.G. Burkman and S.M. Cox. 2007. Crown-Condition Classification: A Guide to Data Collection and Analysis. USDA. General Technical. Report SRS-102. 78 p.
- Uribe B., J.I. 2010. Parámetros de valoración económica de las especies arbóreas predominantes en las áreas verdes urbanas. Tesis de Maestría. Agroforestería. Chapingo, México. 110 p.
- USDA-NRCS (United States Department of Agriculture and National Resources Conservation Service). 2013. *Plant profile: Populus tremuloides*. U.S. Gov. URL: <http://plants.usda.gov/java/profile?symbol=POTR5> (2 de junio 2013).
- I-TREE: Eco. United States Forest Service (USDA). 2010. I-Tree User's Manual. Version 3.1. URL: [www.itreetools.org](http://www.itreetools.org) . (Abril 2012).
- Valdés, M., A. Cayetano R., M.A. Leyva y A. D. Camacho. 2004. Promoción del crecimiento en vivero de *Casuarina equisetifolia* (Forst) por microorganismos simbiotes. *Terra Latinoamericana* 22(2): 207-215.
- Westphal, L.M. 2003. Urban greening and social benefits: A study of empowerment outcomes. *Journal of Arboriculture* 29(3):137-147.
- Wolf, K.L. 2003. Public response to the urban forest in inner-city business districts. *Journal Of Arboriculture* 29(3):117-126.
- Xiao, Q., G. Mcpherson, J.R. Simpson and S.L. Ustin. 1998. Rainfall Interception by Sacramento's urban forest. *Journal of Arboriculture* 24(4):235-244.

## CAPITULO TRES

### DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y CONCENTRACIONES DE O<sub>3</sub> Y NO<sub>2</sub> EN TRES PARQUES DEL DISTRITO FEDERAL

#### RESUMEN

El ozono (O<sub>3</sub>) es uno de los mayores contaminantes atmosféricos. Sus altas concentraciones se producen por procesos fotoquímicos provocados por temperaturas elevadas y altos niveles de radiación solar combinados con precursores como óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). En este trabajo se determinaron las concentraciones y distribuciones espaciales de O<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub> en tres parques de la Ciudad de México conocidos como Alamedas Norte, Sur y Oriente, para analizar la posible relación entre estos factores y la época del monitoreo y la zona de la ciudad donde se ubica cada parque. También se estimaron las concentraciones de los contaminantes a nivel área urbana colocando monitores pasivos en estaciones de monitoreo continuo. Las tres campañas se realizaron durante la época seca-fría 2011 (noviembre), seca-cálida 2012 (junio) y seca-fría 2012 (diciembre), colocándose de tres a cinco monitores pasivos tipo *Radiello* por contaminante en cada sitio. Se aplicó Geoestadística para la distribución y concentración de los contaminantes (partes por billón o ppb) utilizando técnicas de interpolación espacial deterministas exactas (IDW) y de interpolación (Kriging Ordinario). La tendencia de distribución espacial de O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub> en el área urbana va de norte a sur-suroeste de la ciudad. Con respecto al O<sub>3</sub>, las concentraciones más altas se registraron en la campaña seca-cálida en Alameda Sur, mientras que los niveles más altos de precursores NO<sub>2</sub> se registraron en las dos campañas secas-frías en Alameda Norte. Concentraciones altas y estables de O<sub>3</sub> en toda la ciudad de México, en época seca-fría se asocian con el fenómeno de inversión térmica, mientras que en la época cálido-seca las altas temperaturas y radiación solar promueven mayor formación de O<sub>3</sub>. Los vientos movilizan grandes masas de contaminantes precursores (NO<sub>x</sub>) al sur-suroeste de la ciudad, confirmándose el papel de NO<sub>x</sub> como sustrato para la formación de O<sub>3</sub>, ya que una mayor concentración y distribución espacial de este contaminante, correspondió con la menor concentración y distribución de NO<sub>x</sub> y viceversa.

**Palabras clave:** alamedas, ozono, óxidos de nitrógeno, contaminación, área urbana

## CHAPTER THREE

### SPATIAL DISTRIBUTION AND O<sub>3</sub> AND NO<sub>2</sub> CONCENTRATIONS IN THREE PARKS OF MEXICO CITY

#### ABSTRACT

Ozone (O<sub>3</sub>) is one of the main air pollutants, and its concentrations within the city are caused by photochemical processes triggered by high temperatures and high ultraviolet (UV) radiation levels combined with nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) as precursors. The objective of this research was to determine concentrations and spatial distribution of O<sub>3</sub> and NO<sub>x</sub> in three parks of Mexico City known as Alamedas Norte, Sur and Oriente, in order to know the relationship between pollutant levels, the sampling season and the park location. Three to five passive samplers (Radiello<sup>®</sup>) for pollutant (O<sub>3</sub> and NO<sub>x</sub>) by park were set, during the dry-cold season (November 2011) and the hot-dry season (June 2012). Geostatistics were applied to define both spatial distribution and concentrations of pollutants (parts per billion or ppb) through the method of Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation per pollutant. During the cold-dry season, the highest level of O<sub>3</sub> (62.4 ppb) was registered in Alameda Norte, whereas the lowest level (55 ppb) was registered in Alameda Sur. In the hot-dry season, the highest level of O<sub>3</sub> (81 ppb) was registered in Alameda Sur and the lowest (63 ppb) in Alameda Oriente. During the cold-dry season, the highest level of NO<sub>x</sub> (179.5 ppb) was registered in Alameda Norte and the lowest level (145 ppb) in Alameda Oriente. In the hot-dry season, the highest NO<sub>x</sub> level was registered in Alameda Oriente (159.5 ppb) and the lowest level (32.4 ppb) in Alameda Norte. High and steady ozone levels throughout Mexico City during the cold-dry season were related to thermal inversion. During the hot-dry season, the high levels of temperatures and UV radiation promoted a greater ozone formation. Also, O<sub>3</sub> high levels related to the mobilization of large volumes of precursors (NO<sub>x</sub>) to south-southwest Mexico City areas due to wind direction patterns. The role of NO<sub>x</sub> as substrate to O<sub>3</sub> formation was confirmed since a higher level and spatial distribution of this pollutant corresponded to a lower level and spatial distribution of NO<sub>x</sub>, and vice versa.

**Key words:** alamedas, nitrogen oxides, ozone.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las actividades humanas produce emisiones de gases y partículas que han provocado alteraciones en el complejo equilibrio que mantiene las propiedades y funciones de la atmósfera. El ozono troposférico ( $O_3$ ) se considera en la actualidad uno de los principales contaminantes atmosféricos en Europa y América, debido a su amplia distribución geográfica y especialmente a los efectos que provoca en la salud humana, la vegetación y sobre la diversidad y funcionamiento de los ecosistemas. En particular, el ozono daña vegetación sensible (árboles y plantas) durante la época de crecimiento, contemplada en los meses de abril a septiembre (Bermejo *et al.*, 2010; EPA, 2006). La formación del ozono se da por la fotólisis del propio  $O_3$  y la presencia de otras moléculas como los compuestos orgánicos volátiles (COV), el metano ( $CH_4$ ), el monóxido de carbono (CO) y los óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), además de ciertas condiciones de estabilidad atmosférica (ausencia de vientos y lluvias) y temperaturas moderadas (González, 2009). La topografía del Valle de México sumado a los patrones estables de vientos durante el día promueven el transporte de volúmenes importantes de precursores (dióxidos de nitrógeno o  $NO_2$  y los COV) que al exponerse a condiciones de alta radiación solar generan  $O_3$  (Jáuregui, 2002) Estos contaminantes son emitidos en la zona norte del valle hacia las áreas forestales y habitacionales del sur y suroeste donde las montañas altas localizadas en dichos límites tienen un efecto de muro bloqueando la circulación de estas masas de contaminantes, obligándolas a recircular dentro de la ciudad durante el día estabilizando los niveles elevados de contaminación (Bravo y Torres, 2002). El patrón estable de los vientos promueve Para comprender estos patrones y estimar el daño potencial a la salud de la vegetación y a los habitantes de la ciudad, es necesario un monitoreo de contaminantes. El caso de los monitores pasivos como herramienta práctica y confiable destaca por que no se sujetan a posibles desperfectos por fallas eléctricas como puede suceder con los monitores continuos, además de ser económicos, de fácil manejo pudiendo colocarse en áreas remotas o de difícil acceso. Aunque se usan por períodos semanales o quincenales de muestreo, para evaluar las concentraciones de  $O_3$  con cálculos a través de la exposición acumulada (Krupa *et al.*, 2001; Delgado, 2005), permiten predecir y estimar concentraciones en zonas y épocas determinadas dentro de la ciudad. Por ello, el objetivo de este trabajo fue estimar la distribución espacial y las concentraciones de  $O_3$  y  $NO_2$  en el área urbana de la ciudad y en tres parques de la Ciudad de México, a través del monitoreo pasivo, considerando su ubicación geográfica y la época del año en que fue realizado el muestreo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitios de muestreo

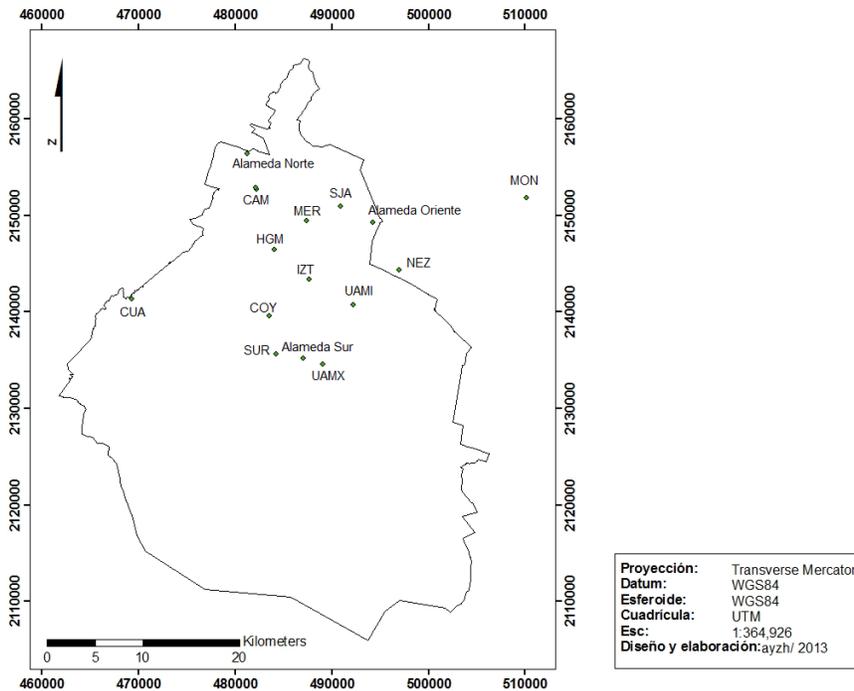
Los parques seleccionados por su ubicación dentro del Distrito Federal (DF) para el monitoreo pasivo fueron Alameda Oriente en la Delegación Iztacalco ( $19^{\circ}26'7.63''N-99^{\circ}03'18.53''W$ ), Alameda Norte en la Delegación Azcapotzalco ( $19^{\circ}30'4.25''N-99^{\circ}10'41.08''W$ ) y Sur en la Delegación Coyoacán ( $19^{\circ}18'32.70''N-99^{\circ}7'22.29''W$ ). Para la distribución espacial a nivel área urbana se seleccionaron

estaciones de monitoreo del SIMAT en el área de influencia de los parques (Cuadro 3.1) así como una estación como referencia en el Estado de México, para la fase de monitoreo pasivo (Figura 3.1).

**Cuadro 3.1.** Estaciones de monitoreo automático (RAMA y REDMET) seleccionadas.

Estación de monitoreo	Siglas	Ubicación
Camarones	CAM	Norte
Cerro de la Estrella	CES	Oriente
Chapingo (Montecillo)	MON	Oriente (Edo. Mex.)
Coyoacán	COY	Sur
Cuajimalpa	CUA	Poniente
Hospital General de México	HGM	Centro
Iztacalco	IZT	Oriente
Merced	MER	Centro
Nezahualcoyotl	NEZ	Oriente (Edo. Mex.)
Plateros	PLA	Poniente
San Juan de Aragón	SJA	Oriente
Santa Úrsula	SUR	Sur
UAM-Iztapalapa	UAMI	Oriente
UAM-Xochimilco	UAMX	Sur

Fuente: SIMAT, 2012. <http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php?opcion=4&opcionrecursos tecnicos=26>



**Figura 3.1.** Ubicación de estaciones de monitoreo (DF y Edo. Méx.) y sitios de muestreo (DF).

## **Monitoreo pasivo**

Las tres campañas de monitoreo se realizaron simultáneamente en las Alamedas Norte, Sur y Oriente, y se diseñaron para cubrir las temporadas seca-fría 2011, seca-cálida 2012 y seca-fría 2012, debido a que cada temporada presenta diferentes condiciones de viento y temperaturas dentro del Valle de México que pueden afectar la distribución de los contaminantes. Para estimar la distribución espacial a nivel área urbana se incluyeron monitoreos en las estaciones del SIMAT del área de influencia durante la época seca-fría 2012. Se instalaron de tres a cinco monitores tipo Radiello<sup>®</sup> por contaminante en cada sitio procurando que los muestreadores pasivos se colocaran en zonas semiabiertas para permitir la exposición directa al viento. Estos fueron analizados en el Laboratorio de Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados, siguiendo la metodología indicada por el fabricante para la obtención de las concentraciones de contaminantes (Radiello, 2003). La primera campaña se realizó del 19 de noviembre al 3 de diciembre del año 2011, la segunda campaña, del 9 al 23 de junio del 2012 y la tercera de 27 de noviembre al 14 de diciembre del 2012.

## **Elaboración de mapas**

Se aplicó Geoestadística para estimar las concentraciones de contaminantes (partes por billón o ppb) y la distribución espacial en cada parque y a nivel área urbana utilizando técnicas de interpolación espacial deterministas exactas (Inverse Distance Weighting o IDW) y de interpolación geoestadística (Kriging Ordinario) a través del programa ARCGIS (ArcMap Versión 9.3).

## **RESULTADOS**

De acuerdo con los registros meteorológicos nacionales, durante la primera campaña de monitoreo (noviembre-diciembre 2011) la aparición de seis sistemas frontales y masas de aire frío provocaron descensos en la temperatura alrededor del día 29 de noviembre, marcando la continuación del período de sequía invernal en el Valle de México. A nivel entidad las temperaturas promedio oscilaron entre 12 y 15 °C (SIMAT, 2012; SMN, 2011). En la segunda campaña (junio 2012) se reportó el día 16 como el más lluvioso a nivel nacional, influido por la tormenta tropical “Carlota”, lo cual marcó el establecimiento de la temporada de lluvias, con un incremento en las temperaturas, que determinó el período como el cuarto junio más cálido desde 1971 con temperatura media de 26 °C. En el Distrito Federal (DF) se reportaron temperaturas de 16 a 20 °C acorde con el inicio del verano (SIMAT, 2012; SMN, 2012). En la tercera campaña (noviembre-diciembre 2012) los reportes de precipitación en este período fueron de 0.1 a 5.4 mm (a nivel nacional y zona centro del país), por debajo del promedio histórico, lo que ubicó al DF entre las entidades con afectación de sequía, con el diciembre más cálido desde 1971 (SIMAT, 2012; SMN, 2012a), reportándose temperaturas máximas en la estación San Juan de Aragón (SJA) y mínimas en la zona poniente de la ciudad (Tacubaya). Durante el muestreo se observó un descenso de las temperaturas similar al reportado el año anterior (Cuadro 3.2).

**Cuadro 3.2.** Temperaturas promedio (°C) por estación durante las campañas.

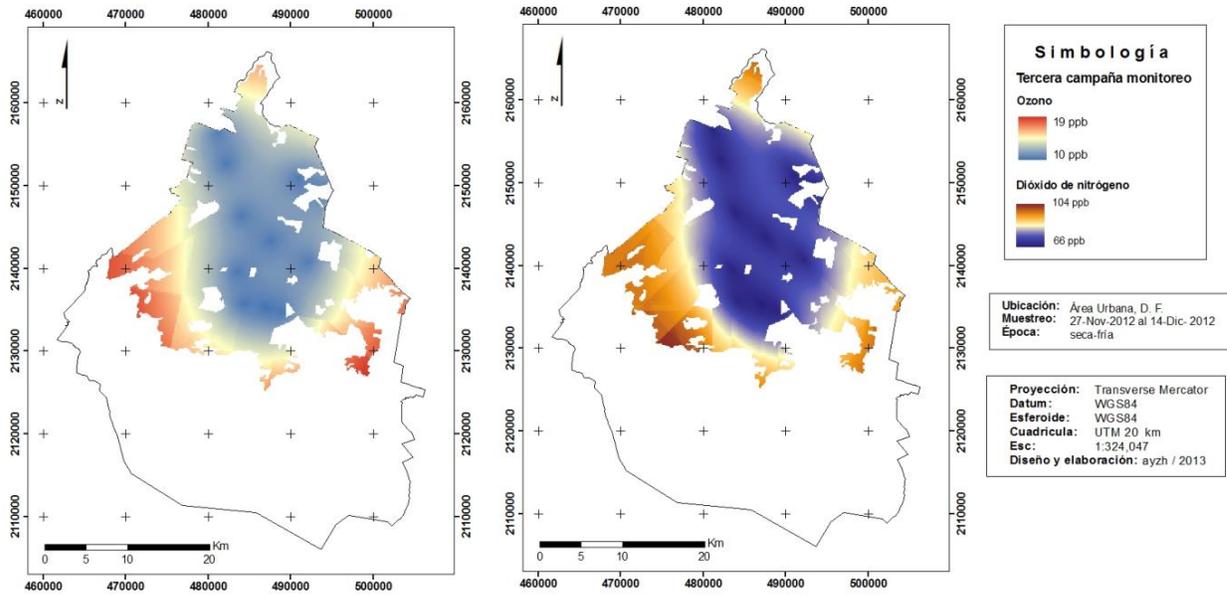
Período	Año	MON	MER	CUA	NEZ	SUR
Primera campaña	2011	12.64	15.24	14.2	14.7	NR
Segunda campaña	2012	16.6	18.4	14.8	19.8	19.1
Tercera campaña	2012	13.5	15.5	12.0	15.5	13.1

**Dónde:** MON= Montecillo; MER= Merced; CUA= Cuajimalpa; NEZ=Nezahualcoyotl; SUR=Santa Úrsula

**Fuente:** Elaborados a partir de bases de datos de SIMAT: [www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php](http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php)

### **Distribución espacial y niveles de contaminantes en el área urbana**

La delimitación del área suburbana en el DF obedeció al establecimiento de zonas de conservación ecológica dentro de la ciudad, donde los asentamientos de población se denominaron rurales por la existencia de áreas naturales protegidas y actividades agrícolas y ganaderas. Las delegaciones que cumplieron con estas categorías fueron Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Tláhuac, Xochimilco, Tlalpan, Magdalena Contreras y Milpa Alta. Las nueve delegaciones restantes (Azcapotzalco, Gustavo A. Madero, Benito Juárez, Miguel Hidalgo, Venustiano Carranza, Iztapalapa, Iztacalco, Coyoacán y Cuauhtémoc) se denominaron como área urbana dentro del DF ya que las principales actividades son industriales, comerciales y turísticas (GEOCM, 2004; PAOT, 2011). Esto implica una mayor emisión de precursores de contaminantes pues si existe una relación entre la sobrepoblación y la contaminación del aire, esta sucede por la movilización diaria de miles de personas a sus fuentes de trabajo al ser el tránsito vehicular la fuente más importante de contaminantes primarios en la ciudad. Durante la campaña de monitoreo (seca-fría 2012), la predicción para la concentración máxima de O<sub>3</sub> fue de 19 ppb en la zona norte-centro-sur del área urbana. Sin embargo, la concentración de precursores (NO<sub>2</sub>) fue más alta (104 ppb) siguiendo una tendencia del norte-centro-sur-suroeste en la ciudad, la zona con mayor actividad industrial y comercial (Figura 3.2).



**Figura 3.2.** Distribución de  $O_3$  (izquierda) y precursores ( $NO_2$ ) [derecha] en el área urbana del DF en la época seca-fría 2012.

### Distribución espacial y niveles de contaminantes en alamedas

Durante la primera campaña (seca-fría 2011) la concentración más alta de  $O_3$  se registró en Alameda Norte con 62 ppb, y la menor concentración en Alameda Sur con 26 ppb. Con respecto a  $NO_2$ , la mayor concentración se registró en Alameda Norte con 296 ppb y la menor concentración de 145 ppb en Alameda Oriente. Alameda Sur fue el sitio de mayor superficie con incidencia de concentraciones elevadas de  $O_3$  en contraste con Alameda Norte. Las tres alamedas presentaron tendencia de concentraciones bajas de precursores en su superficie total de acuerdo con los datos obtenidos (Figura 3.3).

En la segunda campaña de monitoreo (seca-cálida 2012) la concentración más alta de  $O_3$  se registró en Alameda Oriente con 107 ppb, y la menor concentración en Alameda Norte con 44 ppb. Con respecto a  $NO_2$ , la mayor concentración se registró en Alameda Sur con 331 ppb y la menor concentración de 36 ppb en Alameda Norte. Alameda Oriente presentó concentraciones elevadas de  $O_3$  en mayor superficie del parque. Alameda Sur presentó una tendencia de concentraciones bajas de precursores en su superficie total de acuerdo con las estimaciones realizadas (Figura 3.4).

Durante la tercera campaña (seca-fría 2012) la concentración más alta de  $O_3$  se registró en Alameda Sur con 45 ppb, y la menor concentración en Alameda Norte con 8 ppb. Con respecto a precursores de  $NO_2$ , mayor y menor concentraciones se registraron en Alameda Norte con 432 ppb y 22 ppb respectivamente, así como mayor superficie con tendencia a concentraciones elevadas en el sitio de muestreo, en contraste con las Alamedas Oriente y Sur (Figura 3.5).

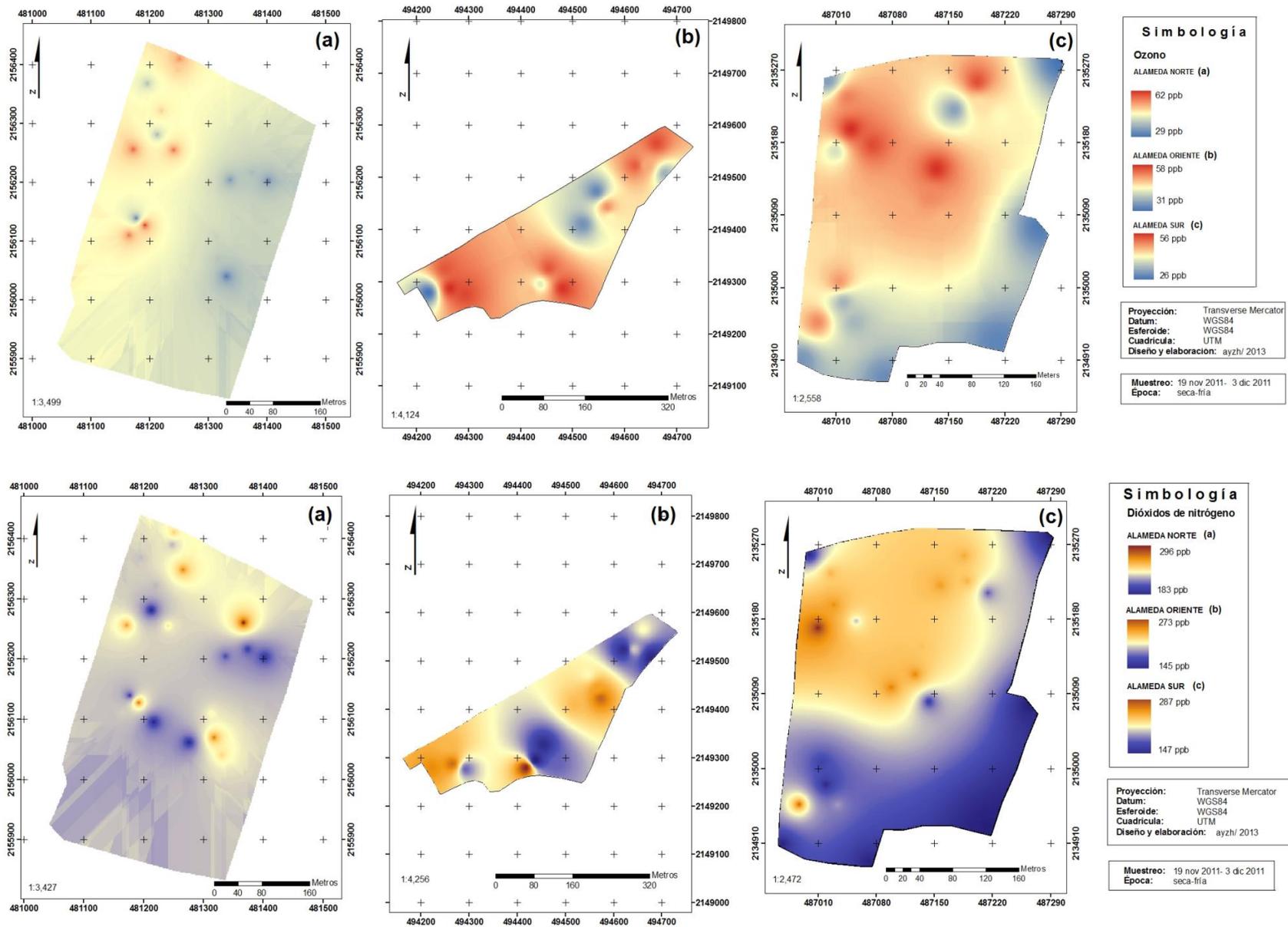


Figura 3.3. Distribución espacial de O<sub>3</sub> (superior) y precursores NO<sub>2</sub> (inferior) en Alamedas del DF (Campaña seca-fría 2011).

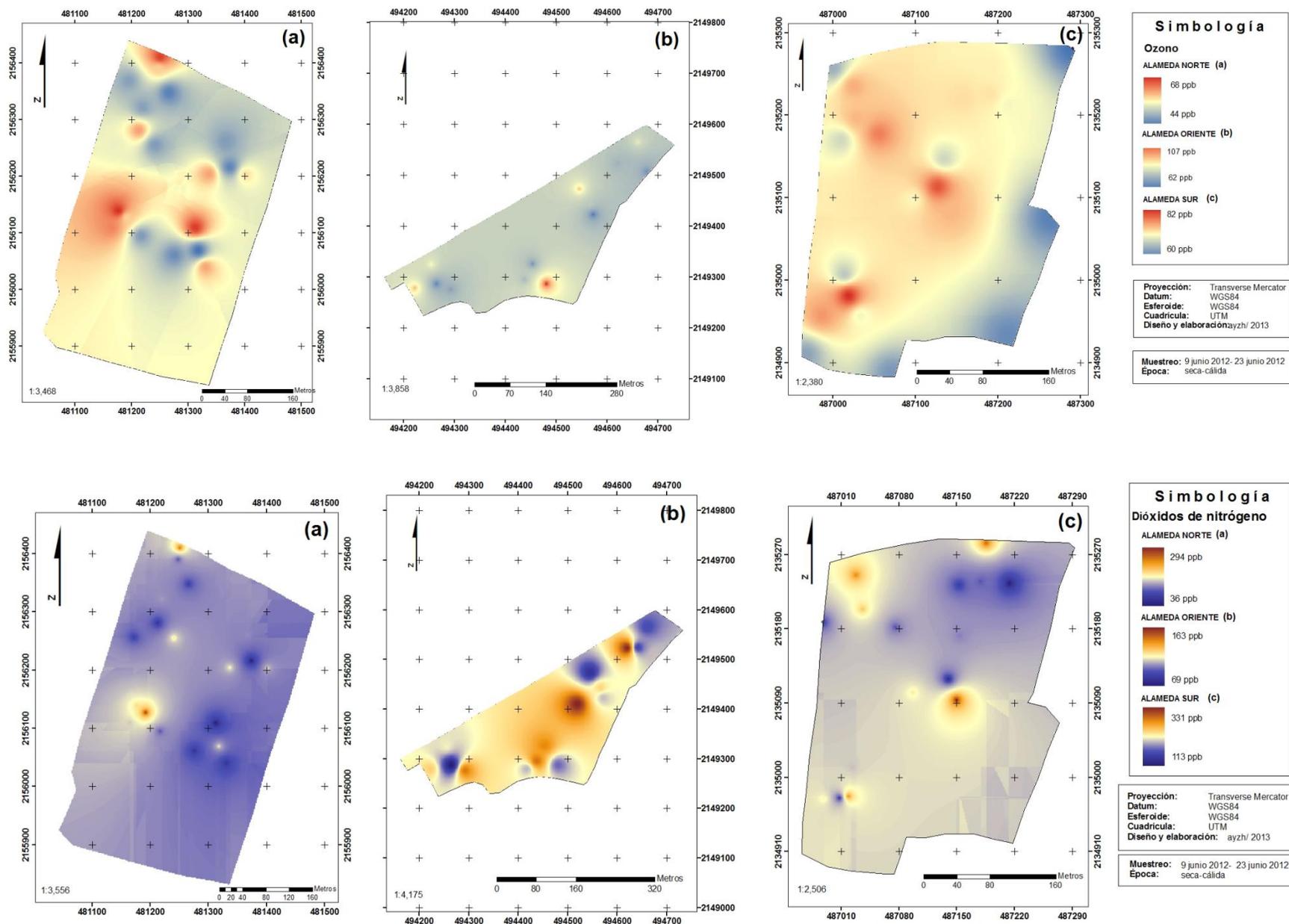


Figura 3.4. Distribución espacial de O<sub>3</sub> (superior) y precursores NO<sub>2</sub> (inferior) en Alamedas del DF (Campaña seca-cálida 2012).

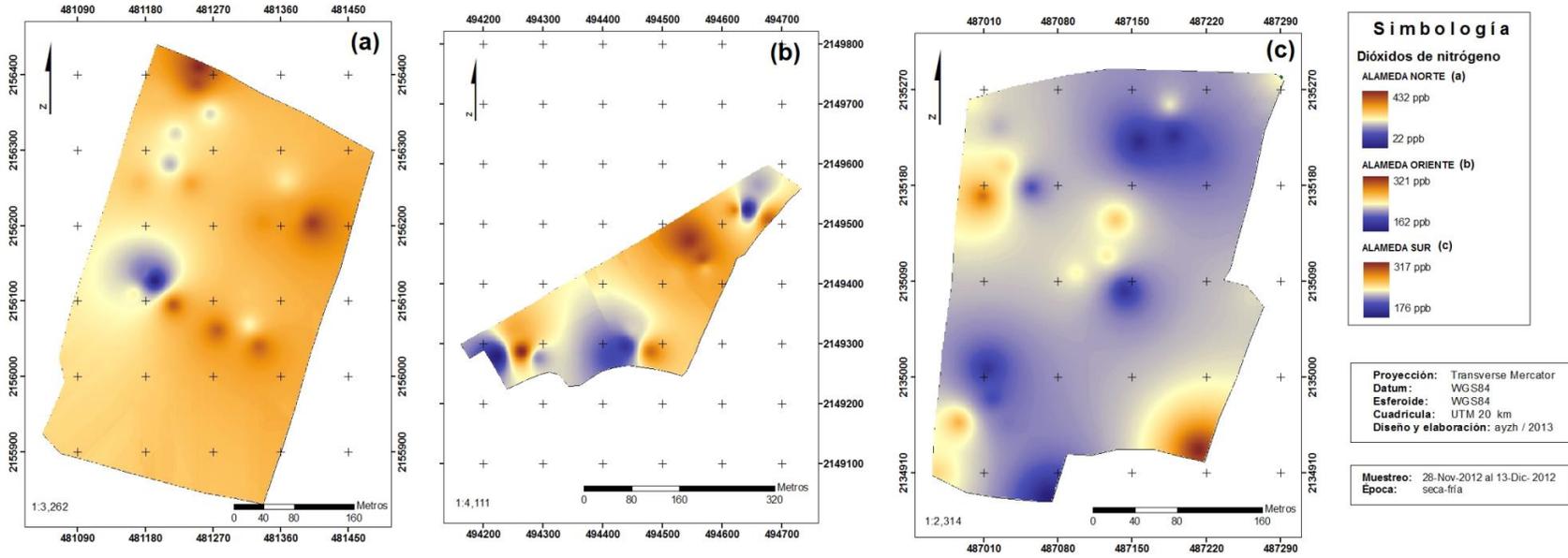
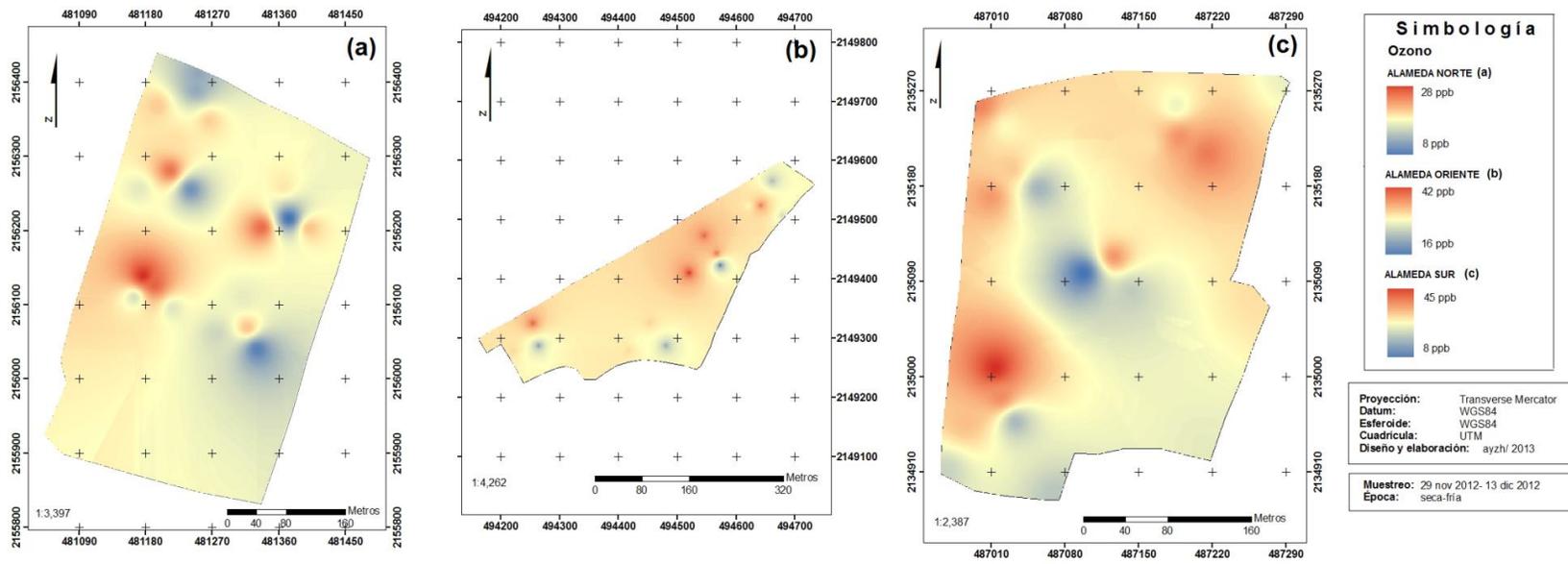


Figura 3.5. Distribución espacial de  $O_3$  (superior) y precursores  $NO_2$  (inferior) en Alamedas del DF (Campaña seca-fría 2012).

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La capa de contaminantes que se percibe sobre el Valle de México está formada por la mezcla de  $O_3$ , nitratos de peroxiacetilo (PAN), óxido nitroso (NO) e hidrocarburos (Krupa, 2001a). El SIMAT sólo monitorea los elementos contaminantes primarios y secundarios que lo conforman y que son los que afectan la calidad del aire de la ciudad (SIMAT, 2012). Esta misma institución reportó que el 58.8% de la contaminación se debe a CO y un 3.2% a partículas suspendidas, cuyo origen puede atribuirse a la combustión de hidrocarburos por vehículos (SIMAT, 2012). Considerando que en el 2012 el INEGI reportó 4.5 millones de vehículos automotores en el DF con un promedio de 3.2 autos por habitante (INEGI, 2012), se entiende porqué los incrementos de contaminación a pesar de los diversos programas para reducción de emisiones. Aún ahora las altas concentraciones que prevalecen en gran parte del día, todo el año incluyen principalmente  $O_3$  y partículas suspendidas ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) provocando el incremento en el problema de contaminación y enfermedades respiratorias en la población del DF y Área Metropolitana.

### Distribución espacial y niveles de contaminantes en el área urbana

Para interpretar la interacción entre el  $O_3$  y sus precursores  $NO_2$  se debe considerar que los patrones de exposición que se estiman en laboratorio y que se predicen a través de métodos geoestadísticos pueden diferir de los patrones reales en campo. Por lo general los precursores  $NO_2$  alcanzan niveles máximos antes que el  $O_3$ , con variaciones entre los niveles máximos individuales. Este patrón también ocurre de forma diaria y estacional. Los objetivos de las técnicas de interpolación geoestadística se enfocaron en generar superficies que incorporaran las propiedades estadísticas de los datos muestrales dando una medida del error de las mismas, siendo este último un indicador de una buena o mala predicción, por lo que los modelos de interpolación utilizados en los datos de concentraciones de contaminantes durante las tres campañas se consideró confiable (EPA, 2006; Moreno *et al.*, 2008).

Las concentraciones estimadas de  $O_3$  a nivel área urbana durante la campaña seca-fría 2012 fueron menores a las concentraciones de los precursores  $NO_2$  estimadas para el mismo período. Este comportamiento de los niveles de contaminantes se atribuye a la distribución espacial de  $O_3$  que está determinada por las reacciones de formación y destrucción de éste en la atmósfera y los factores climáticos (radiación solar, temperaturas y precipitaciones), topográficos y los niveles de precursores, en este caso  $NO_2$  presentes. Esto es, conforme las concentraciones de  $O_3$  aumentan al utilizar como sustrato  $NO_2$ , las concentraciones de éste disminuyen. En las ciudades, y más una como el DF, que son grandes puntos de emisión de contaminantes, las concentraciones de  $NO_x$  (procedentes principalmente de automóviles) se produce una inhibición de la formación de  $O_3$ , manteniendo sus niveles de concentración relativamente bajos, debido a las reacciones de conversión de NO a  $NO_2$  que dominan en el ciclo y donde este  $NO_2$  reacciona con los OH para formar ácido nítrico ( $HNO_3$ ) [Bermejo *et al.*, 2010; González, 2009], como se observó durante esta campaña de monitoreo. Para el área urbana del DF la mayor cantidad de contaminantes primarios se generan en el norte y centro de la ciudad durante las primeras horas del día (de 6 am a 12 pm). Es en esta zona donde se localizan las industrias más activas y, al ser la zona limítrofe con el Estado de México, y el mayor aforo vehicular por las conexiones con el área

conurbada y carreteras del país. Como se observa en los mapas de predicción (Figura 3.2), las concentraciones más elevadas para ambos contaminantes tienen lugar en la sección que comprende el norte, centro y sur de la ciudad. En este caso es la topografía del área urbana lo que promueve que en el transcurso del día los vientos se desplacen hacia el sur y suroeste de la ciudad llevando grandes masas de aire contaminado (precursores como NO<sub>x</sub> y COV) que dan origen a la molécula de O<sub>3</sub>. Las montañas en el sur y poniente actúan como barrera para la dispersión de contaminantes, lo que provoca que los niveles de contaminantes en la región sur-suroeste de la ciudad permanezcan elevados, y aun cuando los precursores se generen en otras zonas del DF, las actividades propias de una ciudad como ésta promueven que la producción de O<sub>3</sub> y precursores sea constante y estable a pesar de las repercusiones en la salud humana y forestal (Bravo y Torres, 2002; SIMAT; 2012).

El análisis de las concentraciones en el área urbana se llevó a cabo durante la temporada seca-fría 2012, donde es frecuente el efecto de inversión térmica que favorece la acumulación de los gases contaminantes emitidos por vehículos en capas cercanas al suelo, provocando un incremento en la concentración de los contaminantes (SIMAT, 2012). En esta temporada se dieron temperaturas bajas y escasas precipitaciones, pero con concentraciones de O<sub>3</sub> relativamente bajas.

Sin embargo, los datos de distribución espacial de una área urbana no explican la dinámica o el contexto del sitio en el que fueron expuestos los monitores, así como la biología de las plantas o especies forestales presentes en cada sitio (Krupa *et al.*, 2001; Delgado, 2005). Dado que los sitios de muestreo pueden verse afectados por las variaciones en los niveles de contaminación y la exposición aguda o crónica, sumado a la topografía del Valle de México y las condiciones meteorológicas (específicamente durante las campañas realizadas) que contribuyeron a las variaciones de O<sub>3</sub> por lo que una estimación más puntual comprende la colocación de monitores pasivos durante un período continuo y extenso para inferir la situación real de una zona específica.

### **Distribución espacial y niveles de contaminantes en alamedas**

Como se mencionó anteriormente, las reacciones de formación del ozono dependen en gran parte de la presencia e intensidad de la radiación solar, además de verse influidas por otros factores como la temperatura o la estabilidad atmosférica (Matissek *et al.*, 2004). Estos factores en conjunto determinan las variaciones diurnas: si la radiación solar es más intensa alrededor del mediodía, es cuando se registrarán los valores de concentración más altos de O<sub>3</sub>, esperándose que los niveles mínimos de éste se registren durante la noche. En zonas con variaciones en altitud (valles y cuencas) con la incidencia de vientos y la menor emisión de precursores, la temperatura disminuirá y en consecuencia habrá una menor formación y concentración de O<sub>3</sub>. Cuando las inversiones térmicas nocturnas tienen lugar, es frecuente que los niveles de concentraciones de O<sub>3</sub> sean también altos en la noche (Pikki *et al.*, 2004). Los niveles de contaminantes varían según la región y de acuerdo con el volumen de precursores emitidos, influido también por el transporte de dichas masas de aire desde y hacia otras zonas del DF y la topografía del lugar, que como se ha discutido es muy particular para el Valle de México (Bravo y Torres, 2002).

Además de los ciclos diarios que se pueden presentar dentro del DF, la concentración de  $O_3$  también cambia según la época del año. En lugares no afectados directamente por fuentes de contaminantes, existe un ciclo anual cuyo máximo se sitúa a finales del invierno o principios de la primavera. Estos niveles se mantendrán altos, debido al aumento de las temperaturas y de la radiación solar, durante el verano hasta que vuelvan a decrecer en invierno. El máximo durante la segunda campaña se puede explicar como consecuencia de la acumulación de precursores ( $NO_2$  o COV) que no reaccionaron en invierno, debido a las bajas temperaturas y a la escasez de radiación solar (Bermejo *et al.*, 2010; González, 2009; SIMAT, 2012a). En zonas afectadas por fuentes de contaminación del aire, como el caso del DF, las máximas concentraciones ocurrirán en primavera y verano como se reportó en la segunda campaña de monitoreo pasivo.

En Alameda Norte, localizada dentro de la zona industrial de la ciudad y de gran aforo vehicular, se registraron los niveles más altos de precursores  $NO_2$  en ambas campañas de la temporada seca-fría, en relación con las otras dos Alamedas. Si las temperaturas elevadas y la radiación solar son las que influyen en la formación de la molécula de  $O_3$  (González, 2009), puede considerarse normal que durante la campaña seca-cálida, Alameda Sur haya registrado las concentraciones más altas de  $O_3$ . La dirección de los vientos que arrastran los precursores a esa zona de la ciudad, la ubicación del parque entre dos avenidas importantes en el sur del DF influyó también en los niveles registrados durante la campaña. Considerando que la temporada seca-fría 2012 se reportó con temperaturas cálidas para el mes de diciembre (SMN, 2012a) se explican los niveles altos de  $O_3$  en esta zona de la ciudad durante la tercera campaña. Caso particular es el de Alameda Oriente, la cual en las tres campañas registró concentraciones tanto altas como bajas de  $O_3$  y precursores. Esto relacionado con la ubicación del parque, detrás del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, y su exposición crónica a contaminantes, independientemente de la época del año.

La disminución o elevación de contaminantes en una ciudad como el DF, además de sus características topográficas dependen en gran medida de las condiciones meteorológicas. Las temperaturas bajas durante la primera campaña (seca-fría 2011) promovieron las concentraciones de  $O_3$  a nivel de suelo de acuerdo con el efecto de la inversión térmica (SIMAT, 2012). En el caso de la segunda campaña (seca-cálida 2012) las temperaturas altas y mayor número de horas con radiación solar propias del verano influyen sin duda en la formación de  $O_3$  en toda la ciudad; sin embargo, durante esta campaña se registraron las concentraciones más bajas de precursores, posiblemente por la incidencia de precipitaciones en la ciudad durante el período de muestreo. En aquellos lugares en los cuales la emisión de precursores es mínima y por lo tanto los procesos fotoquímicos poco intensos, los niveles de  $O_3$  registrados se espera que presenten perfiles diarios casi constantes alrededor de un valor. Patrón que también se registra en aquellos lugares afectados por procesos de transporte de contaminantes como es el sur y suroeste de la ciudad (González, 2009; SMN, 2012).

Desde los años 80, el estudio de las repercusiones de concentraciones elevadas de  $O_3$  en la Ciudad de México ha sido objeto de estudio de acuerdo con el enfoque de salud humana. Existen regulaciones enfocadas a la reducción del efecto nocivo que la contaminación tiene en los habitantes de la ciudad. La Secretaría de Salud Mexicana estableció las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que estipulan los valores

límites de los contaminantes del aire para la protección de la salud (SIMAT, 2012), lo que marcó la pauta a seguir para las industrias y todas las instituciones o personas involucradas directamente en la emisión de contaminantes primarios. Además de las NOM creadas con este fin, otras instituciones internacionales como la Environmental Protection Agency (EPA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) colaboran en la evaluación periódica de los sistemas de monitoreo y la implementación de las normas, y en conjunto se decide si algún estándar debe ser modificado, por lo que en este aspecto se trabaja de forma continua. Aunque la respuesta de las plantas al O<sub>3</sub> varía con el género, especie, variedad y genotipo, existen diversas especies vegetales que se caracterizan por el desarrollo de síntomas de daño por este contaminante, que han sido de utilidad como indicadores biológicos para estimar los niveles de exposición de O<sub>3</sub> en diversas zonas geográficas, y cuyo trabajo ha sido desarrollado de forma conjunta para determinar el impacto sobre el rendimiento de los cultivos, la cantidad de biomasa producida y su papel con respecto al efecto de otros elementos en el ambiente, suelo y agua como el nitrógeno el cual puede contrarrestar los efectos del ozono en el rendimiento de cultivos (Calvete *et al.*, 2013; Krupa *et al.*, 2001a).

En el caso de la salud forestal, se sabe que el O<sub>3</sub> actúa como un factor abiótico adicional en los bosques que predispone a los árboles frente a otros tipos de estrés, fundamentalmente la sequía, el ataque de patógenos y las deficiencias nutricionales al promover la retranslocación de nutrimentos desde los tejidos viejos a los tejidos en crecimiento (Rivera *et al.*, 2006). El efecto más severo atribuido a la contaminación ambiental en el Valle de México es el registrado en el Desierto de los Leones y la declinación de oyamel (*Abies religiosa*), y el impacto en *Pinus hartwegii* la cual también es muy sensible a la presencia crónica de ozono (Alvarado y Hernández, 2002; González *et al.*, 2010). Estos procesos se observaron por primera vez a comienzos de la década de los 80, y ha sido objeto de diversos estudios desde esas fechas (Alvarado y Hernández, 2002; Fenn *et al.*, 2002; López *et al.*, 2006; Rivera *et al.*, 2006). Pensando en todos los factores involucrados en áreas urbanas se tendrán árboles de diversas especies en condiciones desfavorables por la exposición crónica a las fuentes de contaminación lo que eventualmente disminuirá su vigor y estado de salud, y aunque no se han realizado muchos estudios dentro de la ciudad si existen algunos donde se señala la sensibilidad a ozono de algunas especies como *Eucalyptus* sp. que permiten establecer ciertos parámetros para plantaciones futuras (Fenn *et al.*, 2002; González, 2009; Koeser *et al.*, 2013; Martínez y Chacalo, 1994; Smiley *et al.*, 2006; Tiddens *et al.*, 2006), por ello es muy importante identificar las especies presentes en la ciudad y determinar su grado de sensibilidad a ozono y otros contaminantes, lo que ayudará en la futura toma de decisiones y planeación de áreas verdes urbanas.

El daño por O<sub>3</sub> resulta del balance entre la absorción de O<sub>3</sub> y la desintoxicación en el mesófilo de las hojas de plantas y árboles. En consecuencia, conociendo como la absorción y desintoxicación dentro de la hoja actúan se podrá predecir la respuesta del árbol al estrés por O<sub>3</sub> (Matyssek *et al.*, 2004). El O<sub>3</sub> tiene efectos dañinos al interferir con la producción, transporte y almacenamiento de reservas nutrimentales, afectando la apariencia de la vegetación en áreas urbanas, parques nacionales y áreas recreativas cuando estos daños se hacen visibles a través del follaje, además se incrementa la susceptibilidad de los árboles a enfermedades, daños por insectos, acción de otros contaminantes, competencia y daños por fenómenos meteorológicos extremos (González, 2009; Jáuregui, 2002;

Matyssek *et al.*, 2004; Rivera *et al.*, 2006). Estos factores pueden impactar directamente en la pérdida de diversidad de especies y cambios en la calidad del hábitat así como los ciclos nutrimental e hidrológico (EPA, 2006). Se ha registrado Sin embargo, ante la dificultad para reducir las emisiones de contaminantes en el DF y con la ubicación de los tres parques, el arbolado dentro de ellos está expuesto de forma crónica al O<sub>3</sub> y sus precursores NO<sub>2</sub>, por lo que sin duda está sujeto a daño constante y se verá gradualmente más afectado a mediano y largo plazo.

## CONCLUSIONES

Las concentraciones de O<sub>3</sub> y precursores NO<sub>2</sub> dentro del área urbana presentaron la tendencia estacional en respuesta a las temperaturas y precipitaciones durante la época del muestreo, hacia el sur-suroeste de la ciudad. Las mayores concentraciones de O<sub>3</sub> se registraron en Alameda Sur durante la época seca-cálida, mientras que las concentraciones de precursores más altas se registraron en Alameda Norte durante ambas campañas en la época seca-fría. Alameda Oriente presentó un rango amplio de concentraciones influido por la emisión de contaminantes del aeropuerto de la ciudad cercano al sitio. El arbolado dentro de las tres Alamedas se encuentra sometido a una exposición crónica de contaminantes, lo que se está reflejando y continuará afectando a mediano y largo plazo la salud de este.

## LITERATURA CITADA

Alvarado R., D. and T. Hernández T. 2002. Decline of sacred fir in the Desierto de los Leones National Park. In: Urban air pollution and forests: Resources at risk in the Mexico City air Basin. (Fenn, M., Bauer, L.I., Hernández-Tejeda, T. eds). Ecological studies Vol. 156. USA. pp. 243-260.

ARCGIS Desktop 9.3 ©. 2008. Módulo ARCMAP.

Bermejo B., V., R. Alonso A., S. Elvira C., I. Rábago J.A. y M. García V. 2010. El ozono troposférico y sus efectos en la vegetación. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Madrid, España. 1ª ed. 74 p.

Bravo A., H and R. Torres J. 2002. Air pollution levels and trends in Mexico City Metropolitan Area. In: Urban air pollution and forests: Resources at risk in the Mexico City air Basin. (Fenn, M., Bauer, L.I., Hernández-Tejeda, T. eds). Ecological studies Vol. 156. USA. pp. 121-159.

Calvete S., H., J. Sanz, L. Sánchez-Martin, S. Elvira, L. García-Torres, A. de la Cruz, I. González F., R. Alonso, A. Vallejo and V. Bermejo B. 2013. Response to ozone and low nitrogen of Mediterranean annual pasture under field conditions: Preliminary results: canopy gas exchange, total yield and biodiversity. CIEMAT. España. Disponible en:  
[http://icpvegetation.ceh.ac.uk/events/documents/Calveteetal\\_000.pdf](http://icpvegetation.ceh.ac.uk/events/documents/Calveteetal_000.pdf)

- Delgado S., J.M. 2005. Validación e implementación de técnicas de captación pasiva para el estudio de los niveles y efectos del ozono troposférico y dióxido de nitrógeno en un área costera mediterránea. Universitat Jaume. Castelló de la Plana, España. Pp. 85-100.
- Fenn M.E., L.I. de Bauer and T. Hernández T. 2002. Summary of air pollution impacts on forests in the Mexico City air basin. In: Urban air pollution and forests: Resources at risk in the Mexico City air Basin. (Fenn, M., Bauer, L.I., Hernández-Tejeda, T. eds). Ecological studies Vol. 156. USA. pp. 337-355.
- GEOCM (Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo"). 2004. Proceso de urbanización. Fecha de consulta: Noviembre 2013. Disponible en: <http://www.centrogeo.org.mx/geocm/GeoTexto/030101.htm>
- González F., I. 2009. Flujos estomáticos de ozono y sus efectos sobre la vegetación: efecto dosis-respuesta. CIEMAT. Madrid, España. 178 p.
- González M., R.E., M. Mendoza B. y D. Alvarado R. 2010. Exposición a ozono en relación a vitalidad en un bosque de oyamel (*Abies religiosa* (Kunth) Schltdl & Cham). Madera y Bosques 16(4):7-19.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2012. Base de datos: México en cifras. Fecha de consulta: 13 julio 2013. URL: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx#H>
- Jáuregui, E. 2002. The climate of the Mexico City Air Basin: its effects on the formation and transport of pollutants. In: Urban air pollution and forests: Resources at risk in the Mexico City air Basin. (Fenn, M., Bauer, L.I., Hernández-Tejeda, T. eds). Ecological studies Vol. 156. USA. pp. 86-119.
- Koeser, A., R. Hauer, K. Norris and R. Krouse. 2013. Factors influencing long-term street tree survival in Milwaukee, WI, USA. Urban For. Urban Green. (Article in press) URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2013.05.006>
- Krupa S., M. Tuttle M., C. P. Andersen, F. L. Booker, K.O. Burkey, A.H. Chappelka, B.I. Chevone, E.J. Pell and B.A. Zilinskas. 2001. Ambient ozone and plant health. Plant Disease 85(1):4-12.
- Krupa, S.V., M. Nosal and D.L. Peterson. 2001a. Use of passive ambient ozone (O<sub>3</sub>) samplers in vegetation effects assessment. Environ. Pollution (112): 303-309.
- López L., M.A., A. Velázquez M., J. Acosta M. and E. Estañol B. 2006. Biomass distribution in declining sacred-fir seedlings. Interciencia 31(6):451-455.
- Martínez G., L. y A. Chacalo H. 1994. Los árboles de la Ciudad de México. UAM-Azcapotzalco. México, DF. 351 p.

- Matyssek R., G. Wieser, A.J. Nunn, A.R. Kozovits, I.M. Reiter, C. Heerdt, J.B. Winkler, M. Baumgarten, K.-H. Haberle, T.E.E. Grams, H. Werner, P. Fabian and W.M. Havranek. 2004. Comparison between AOT40 and ozone uptake in forest trees of different species, age and site conditions. *Atmospheric Environment* 38: 2271–2281.
- Moreno J., A. (coord.) 2008. *Sistemas y análisis de la información geográfica: Manual de autoaprendizaje con ArcGIS*. Alfaomega. 2ª Edición. Madrid, España. 940 p.
- PAOT (Procuraduría de y ordenamiento territorial). 2011. Capítulo 2: La zona metropolitana del Valle de México. Programa para mejorar la calidad del aire ZMVM 2002-2010. 25 p.
- Pikki, K, J. Klingberg, G. Pihl-Karlsson and H. Pleijel. 2009. Estimates of AOT ozone indices from time-integrated ozone data and hourly air temperature measurements in southwest. Sweden. *Env. Pollution* 157: 3051-3058.
- Radiello: Manual Full Version.2003. Fondazione Salvatore IRCCS. Última actualización 4 septiembre 2008. Fecha de consulta: Enero 2012. Disponible en: [http://www.radiello.it/english/download\\_en.htm](http://www.radiello.it/english/download_en.htm)
- Rivera A., R., M.A. López L. y R. Campos B. 2006. Nutrición y síntomas de declinación de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl et Cham en el Desierto de los Leones, DF: *Revista Chapingo-Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 12(002):145-150.
- SIMAT (Sistema de Monitoreo Ambiental). 2012. *Calidad del aire en la Ciudad de México: Informe 2011. 25 años de monitoreo atmosférico*. Secretaría del Medio Ambiente (SMA). DF. 160 p
- SIMAT (Sistema de Monitoreo Ambiental). 2012a. Bases de datos: RAMA y REDMET. Fecha de consulta: Junio 2013. Disponible en: <http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/productos/basesdedatos/bases.php>
- Smiley, E.T., L. Calfee, B.R. Fraedrich and E.J. Smiley. 2006. Comparison of structural and noncompacted soils for trees surrounded by pavement. *Arboriculture & Urban Forestry* 32(4): 164-169.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2011. *Reporte del clima en México: Noviembre 2011*. CONAGUA. Año 2 (6). 16 p.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2012. *Reporte del clima en México: Junio 2012*. CONAGUA. Año 1 (11). 13 p.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2012a. *Reporte del clima en México: Diciembre 2012*. CONAGUA. Año 2 (12). 18 p.

Tiddens, P.T. and R.A. Cloyd. 2006. Susceptibility of three rose genotypes to Japanese beetle adult feeding. *Arboriculture & Urban Forestry* 32(3):108-113.

U.S. EPA. 2006. Air Quality Criteria for Ozone and Related Photochemical Oxidants (Final). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. Vol.1-3. Disponible en:  
<http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=149923#Download>

## CAPÍTULO CUATRO

### DAÑOS EN ARBOLADO DE PARQUES DEL DISTRITO FEDERAL

#### RESUMEN

Los datos colectados, analizados y reportados por el Inventario Forestal Nacional y otras instituciones sirven para saber el estado de los bosques: donde se encuentran y como van cambiando y evolucionando. Esta es una tendencia que aumenta dentro de las áreas urbanas sobre todo por la importancia benéfica del arbolado dentro de las ciudades. El indicador de daño es la medida del tipo, localización y severidad del daño causado por enfermedades, insectos, tormentas y diversas actividades humanas. Se utilizó la metodología de Daños en el arbolado del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) de México, y el Forest Inventory Analysis (FIA) de EU. Los sitios elegidos fueron algunos parques dentro del Distrito Federal conocidos como Alamedas Norte, Oriente y Sur. Se realizaron tres muestreos durante la época de lluvias (mayo a octubre) y uno en época seca (noviembre a abril) durante el 2011 y principios de 2012. Los datos obtenidos se analizaron para estimar las distribuciones de frecuencia de los daños en arbolado, y para conocer la distribución espacial en cada parque usando el paquete estadístico SPSS v. 15 y ArcMap v. 9.3. El vandalismo, asociado a la alta afluencia de visitantes, se identificó como el principal daño general. En Alameda Sur el problema más severo fue la incidencia de muérdago (*Cladocolea* sp.) en árboles de los géneros *Ligustrum*, *Populus* y *Acer*. El mayor número de árboles muertos (en pie y removidos) después del último muestreo se registró en las Alamedas Norte y Sur y el menor número en Alameda Oriente.

**Palabras clave:** Agente abiótico, alamedas, agente biótico, antropogénicos, vandalismo.

## CHAPTER FOUR

### TREE DAMAGES IN PARKS OF MEXICO CITY

#### ABSTRACT

Data collected, analyzed and reported by National Forest Inventory, and other institutions are used in order to know the status of forests: where they are located and how they change and develop through time. This is an increasing trend within urban areas, especially since trees within the cities contribute with multiple benefits. The damage indicator is the measurement of the type, location, and severity of injury caused by diseases, insects, storms, and several human activities. The tree damage identification was designed from the field guides of the National Forest and Soils Inventory (INFyS), and the Forest Inventory and Analysis (FIA). The chosen sites were parks within Mexico City known as Alamedas Norte, Oriente and Sur. Three samplings were carried out during rainy season (May to October), and one sampling during dry season (November to April) throughout 2011 and beginning of 2012. Data was analyzed to estimate tree damages frequency distribution, and also to know the spatial distribution within the parks, using the statistical program SPSS v. 15 and ArcMap v. 9.3. Overall, vandalism, related to the high number of visitors, was identified as the main damage. In Alameda Sur the most severe damage identified was mistletoe (*Cladocolea* sp.) in *Ligustrum*, *Populus* and *Acer* species. During the final sampling, it was determined that Alamedas Norte and Sur registered a higher number of dead trees (standing and removed) than those in Alameda Oriente.

**Key words:** Abiotic agent, alamedas, biotic agent, anthropogenic, vandalism.

## INTRODUCCIÓN

Los inventarios que se han realizado de áreas verdes en la ciudad recalcan que la densidad de plantación y la salud del arbolado son eventos dinámicos ya que de un año a otro se tienen eventos que impactan o influyen en el estado de salud de las áreas verdes (PAOT, 2010) como son el desarrollo de obras públicas, el escaso mantenimiento de parques y jardines, los eventos meteorológicos atípicos e incluso los programas de sustitución de arbolado. Las áreas urbanas presentan condiciones desfavorables a diversas especies de árboles. La exposición prolongada o crónica a fuentes de contaminación, el vandalismo y las malas condiciones de sitio de plantación, e disminuyen su vigor y las vuelven vulnerables al ataque de plagas y patógenos (Chacalo y Corona, 2009; Koeser *et al.*, 2013; Smiley *et al.*, 2006; Tiddens *et al.*, 2006). Con una superficie urbana de 630 km<sup>2</sup> se estima que el porcentaje de áreas verdes en la Ciudad de México podría estar disminuyendo un 3.7% anualmente (Chacalo y Corona, 2009). El establecimiento del valor social y económico del arbolado es fundamental en arboricultura y dasonomía urbana: sin éste no hay justificación para la inversión; sin la inversión en el manejo y mantenimiento, la salud y funcionalidad del árbol se deteriora. Es un ciclo. Esto hace que el arbolado se perciba más como un problema que como un bien económico, por lo que son removidos con mayor frecuencia sin que sean sustituidos (McPherson, 2007). En zonas de bajos ingresos donde las áreas verdes se reemplazan por edificios y caminos es común la transformación de áreas residenciales en zonas comerciales, también en ocasiones los daños bióticos y abióticos son frecuentes en el arbolado urbano.

La salud del árbol se refiere al estudio de todos los factores (bióticos y abióticos) que afectan su vigor y productividad, y se manifiesta a través de diferentes síntomas y tipos de daño. Puede evaluarse cualitativamente con la descripción de los síntomas y daños, o cuantitativamente a través de estimaciones de la condición de copa. Estos problemas se dividen en enfermedades causadas por patógenos, daños causados por insectos y otros animales, desórdenes relacionados con influencias abióticas y otro tipo de daños no definidos específicamente aunque en ocasiones se asocian con desbalances nutrimentales (Boa, 2003). Los daños bióticos comprenden el daño proveniente de otro organismo biológico. Entre los que afectan en mayor o menor grado el arbolado urbano están el ataque de plagas y patógenos que infligen un daño severo en el árbol promoviendo su declinación y el deterioro de su aspecto, forma natural y actividades fotosintéticas. Los daños abióticos agrupan factores físicos, químicos y mecánicos que afectan el entorno y desarrollo del árbol, y en la ciudad son los primeros que deben considerarse cuando se detecta algún problema en el arbolado. En rodales forestales de EU se reportó que los daños abióticos (no especificados) eran responsables por pérdidas de hasta 20% de los árboles, pues predisponían al ataque por enfermedades bióticas, las cuales aparecían después de una situación desfavorable en el sitio (Cibrián *et al.*, 2007).

El indicador de Daño al Arbolado es la medida del tipo, ubicación y severidad de los daños causados por enfermedades, insectos, tormentas y actividades humanas (FIA, 2002; FIA, 2012; INFyS, 2012). Por un lado, este indicador es importante porque con la identificación de daños en los árboles se pretende generar investigaciones más específicas para conocer las causas o agentes de daño en el arbolado. Por

otra parte, debe ayudar a precisar el papel de los factores bióticos y abióticos como estresantes e influyentes en las condiciones biológicas y procesos dentro del ecosistema forestal. El objetivo de este trabajo fue identificar los principales daños en el arbolado de tres parques a través de la codificación propuesta por el Inventario Nacional Forestal.

## MATERIALES Y MÉTODOS

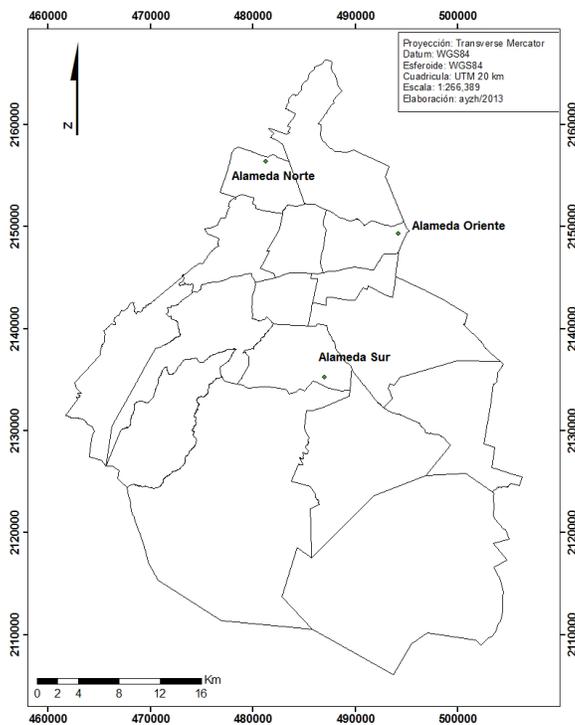
### Sitios de muestreo

Los parques recreativos seleccionados, por su ubicación dentro de la ciudad fueron Alameda Oriente en la Delegación Iztacalco (19°26'7.63"N-99°03'18.53"W), Alameda Norte en la Delegación Azcapotzalco (19°30'4.25"N-99°10'41.08"W) y Sur en la Delegación Coyoacán (19°18'32.70"N-99°7'22.29"W) [Figura 4.1]. Una vez definidas las áreas se establecieron parcelas circulares con radio de 11.4 m y superficie individual de 408.30 m<sup>2</sup>, en conglomerados de cuatro parcelas formando una Y invertida tal como se indica en la metodología del Inventario Nacional Forestal y de Suelos, con modificaciones de acuerdo con la metodología del modelo I-Tree específico para áreas urbanas (I-Tree, 2010; Nowak, 2006; FIA, 2012, INFyS, 2012).

En Alameda Norte se establecieron cinco conglomerados (superficie total 8166 m<sup>2</sup>) y en Alamedas Sur y Oriente, cuatro conglomerados en cada una (superficie total 6 532 m<sup>2</sup>). Se realizaron tres muestreos en período de lluvias (mayo, agosto, octubre) y uno en época seca (enero) durante el año 2011 y principios del 2012. Se evaluaron todos los árboles dentro de los límites de las parcelas circulares, etiquetándose para facilitar su remuestreo, al mismo tiempo que se identificaron las especies forestales en el sitio. No se registró arbustos, palmeras, setos o herbáceas.

### Toma de datos

Los datos de daño se obtuvieron en todas las parcelas. Se registró un máximo de dos daños por árbol. Los daños individuales se caracterizaron de acuerdo con la codificación diseñada (Anexo 1), la localización en el árbol donde dichos daños son visibles (donde: 1=raíces; 2=tronco; 3=ramas; 4=follaje y 5=flores y frutos), así como la severidad para los casos indicados, de acuerdo con umbrales establecidos. En general, se consideró más serio cuando se registraron en partes inferiores del árbol, o cuando una superficie grande del mismo se encontró afectada. Por lo tanto, un registro de "ningún daño" significa que no se observó daños que cumplieran con el umbral mínimo establecido. Las causas de daños bióticos no se analizaron con detalle durante la toma de datos. Los métodos para relacionar agentes causales con los daños observados aún están en proceso de ajuste dentro de las metodologías del FIA y el INFyS, por lo que no fueron el objetivo general de este trabajo.



**Figura 4.1.** Ubicación de parques recreativos seleccionados dentro de la Ciudad de México (DF).

### Análisis de datos

Los datos recolectados se analizaron a través de distribuciones de frecuencia para identificar los daños con mayor frecuencia absoluta y relativa por fecha de muestreo, así como la moda y percentiles, por cada Alameda. También se analizó la distribución de frecuencias para la localización de daños en los árboles, utilizando el programa estadístico SPSS para Windows versión 15.0. Para la distribución espacial dentro de los parques, se tomaron coordenadas geográficas de los árboles de la muestra y se asoció con el daño principal registrado, utilizando el programa ARCGIS (ArcMap Versión 9.3).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Daños registrados

La estimación del porcentaje de árboles dañados en cada parque se necesita para calcular los beneficios y costos por cada árbol o grupo de árboles considerando las diferencias en el tamaño de los árboles, sus tasas de crecimiento, características de follaje, precios de planta e incluso el valor residencial de las propiedad y clima (McPherson y Simpson, 2002). De acuerdo con los resultados obtenidos tras los cuatro muestreos en todas las alamedas se encontraron árboles sanos y dañados. Analizando el valor de la moda que es el valor con mayor frecuencia en una distribución de datos (Cochran, 2008), en el arbolado de los tres parques la moda correspondió a la categoría “sin daños”. Un árbol sin daño no necesariamente se

encontró sano o sin afectación, esto es, los valores registrados por ejemplar para cada tipo de daño fueron inferiores a los de los umbrales determinados durante la elaboración de los códigos, por lo que al ser menores no fueron registrados (INFyS, 2012). De los árboles que cumplieron con los umbrales para registrar algún tipo de daño, el vandalismo en todas sus modalidades (pintas en árboles, acumulación de basura, heridas provocadas por actividades recreativas, comerciales y de ocio, además de daño en ramas y raíces) fue el de mayor frecuencia. En los dos primeros muestreos (estaciones de primavera y verano), se registró en Alameda Norte como principal daño la presencia del insecto chupador *Stenomacra marginella*, mientras que los últimos dos el vandalismo fue el daño registrado con mayor frecuencia. En Alameda Oriente, en el 75% de los árboles con daños se registró el vandalismo como principal afectación. En contraste, durante el primer muestreo en Alameda Sur se registró como principal daño la presencia del muérdago *Cladocolea* sp. Posteriormente, las alteraciones en el follaje (decoloraciones, enfermedades, factores abióticos como quemaduras por bajas o altas temperaturas y déficit hídrico) se registraron como daño principal en el 75% de los árboles dañados en los últimos dos muestreos, correspondientes a las estaciones de otoño e invierno (Cuadro 4.1).

**Cuadro 4.1.** Daños y especies registrados por percentiles en Alamedas del DF. 2011-2012.

ALAMEDA NORTE						
Estadístico		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Especie
<b>Moda</b>		Sin daño	Sin daño	Sin daño	Sin daño	<i>Cupressus lusitanica</i> var. <i>Lindleyi</i>
<b>Percentiles</b>	25	Sin daño	Sin daño	Sin daño	Sin daño	
	50	Sin daño	Sin daño	Sin daño	Sin daño	
	75	<i>Stenomacra marginella</i>	<i>S. marginella</i>	Vandalismo	Vandalismo	
<b>Total</b>		491	491	491	491	491
ALAMEDA ORIENTE						
		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Especie
<b>Moda</b>		Sin daño	Sin daño	Sin daño	Sin daño	<i>Casuarina equisetifolia</i>
<b>Percentiles</b>	25	Sin daño	Sin daño	Sin daño	Sin daño	
	50	Sin daño	Sin daño	Sin daño	Sin daño	
	75	Vandalismo	Vandalismo	Vandalismo	Vandalismo	
<b>Total</b>		238	238	238	238	238
ALAMEDA SUR						
		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Especie
<b>Moda</b>		Sin daño	Sin daño	Sin daño	Sin daño	<i>Fraxinus uhdei</i>
<b>Percentiles</b>	25	Sin daño	Sin daño	Sin daño	Sin daño	
	50	Sin daño	Sin daño	Vandalismo	Sin daño	
	75	<i>Cladocolea</i> sp.	Cancros	Alteraciones en el follaje	Alteraciones en el follaje	
<b>Total</b>		212	212	212	212	212

Dónde: Muestreo 1: Mayo 2011; Muestreo 2: Agosto 2011; Muestreo 3: Octubre 2011; Muestreo 4: Enero 2012.

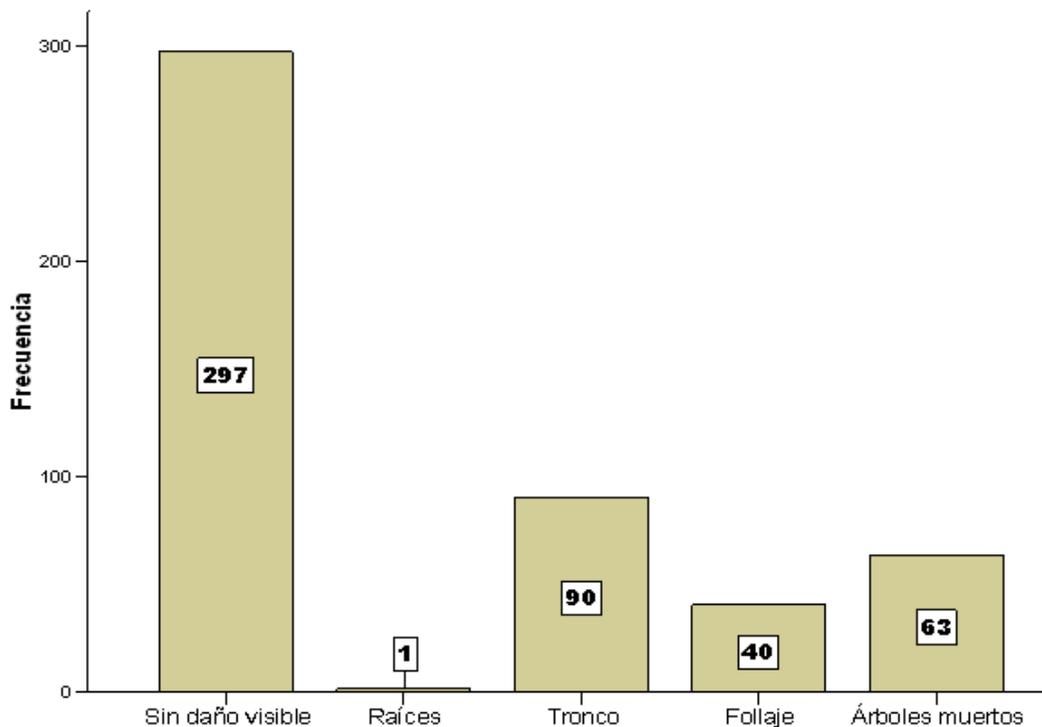
Debido a las actividades de las ciudades es común creer que sólo los factores originados por el hombre (antropogénicos) influyen en el estado de salud del arbolado, sobre todo porque los mayores impactos en el entorno son el cambio de uso de suelo y la urbanización (Cibrián *et al.*, 2007). Sin embargo, se observó árboles de diversas especies en condiciones desfavorables para un desarrollo óptimo, ya que a los daños ejercidos directamente por el hombre como vandalismo y escaso mantenimiento, se sumó la exposición crónica a contaminantes y las malas condiciones propias del sitio de plantación (altas densidades, suelo pobre en nutrientes) lo que eventualmente disminuyó el vigor y los hizo más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades (Chacalo y Corona, 2009; Koeser *et al.*, 2013; Smiley *et al.*, 2006; Tiddens *et al.*, 2006). Se confirmó con la presencia de muérdagos, insectos y enfermedades en follaje y troncos.

El factor biótico que se consideró de mayor importancia a corto y largo plazo fue la infestación de plantas parásitas del género *Cladocolea*. La severidad de este factor ha generado múltiples estudios con resultados variados. Existen datos que indican que 83 de cada 100 árboles muestreados dentro de la ciudad pudieran estar infestados por este u otros géneros de plantas parásitas (*Tillandsia* sp. o *Strutanthus* sp.). Otros autores reportaron que al menos el 53% de los árboles afectados por muérdagos ya están dañados severamente, y que de las 68 especies arbóreas que conforman las áreas verdes de la ciudad de México el 95% de ellas se encuentran o serán afectadas por algún muérdago con diferentes grados de infestación. Esto no significa que el estado fitosanitario de los árboles en las ciudades es grave los datos reportados hasta ahora indican que el problema se ha generalizado en la ciudad y que por ello, se ha convertido en una prioridad dentro de los programas de mantenimiento de las delegaciones de la Ciudad de México en años recientes. La mayoría de los especialistas en fitosanidad forestal coinciden en que los árboles urbanos son más susceptibles de ser infestados por muérdago, dadas las condiciones pobres de sitio en las que sobreviven, al estar sometidas a estado de estrés crónico provocado por la compactación de suelo, la escasa o nula fertilización, la escasez de agua, el vandalismo y la exposición crónica y aguda a contaminantes (Alvarado, 2012; De la Paz, 2006; García, 2008; Martínez, 2008; Sandoval y Gutiérrez, 2006). En las Alamedas Norte y Sur se registró la incidencia severa de plantas parásitas en ejemplares de *Populus tremuloides* y *P. alba* (ambas alamedas) y *Acer negundo* (Alameda Sur). Durante los muestreos se observó la declinación del árbol, con pérdidas parciales o totales del follaje, la alteración de la forma natural de las copas tras la realización por parte del personal de la Delegación Coyoacán de podas severas de saneamiento como método de control (Alameda Sur) tras el primer muestreo, se modificaron los valores registrados durante las evaluaciones siguientes; e incluso la remoción de los árboles que no pudieron recuperarse de la infestación (ambas alamedas).

### **Localización de daños**

Para esta variable, se registraron hasta dos daños por cada ejemplar forestal. En Alameda Norte (Figura 4.2) la mayoría de los árboles no presentaron daños visibles o se encontraban por debajo del umbral de daño establecido. De los árboles que si registraron algún tipo de daño, este se localizó con mayor frecuencia en el tronco, y se asoció con vandalismo, daños por construcciones en curso y presencia del insecto chupador *S. marginella*. En Alameda Oriente (Figura 4.3), la localización principal de daños en los árboles muestreados (después de árboles sin daños visibles) se registró en el tronco y fue asociado con

vandalismo, ataque de barrenadores y presencia de *S. marginella*. En Alameda Sur (Figura 4.4) la localización principal de daños se registró en el follaje y se asoció con la presencia de muérdagos y alteraciones en el follaje. La especie más afectada de acuerdo con los datos obtenidos fue *F. uhdei*, la cual fue observada con atención especial en los muestreos para evitar que los daños registrados se confundieran con procesos naturales de la especie. Por ejemplo, en los meses de agosto y septiembre es común que el follaje muestre cambios de color en especies caducifolias (*Ulmus* y *Fraxinus*). La especie *F. uhdei*, que se encontró en los tres parques, tiene la particularidad de perder follaje por un período corto durante la temporada seca, además en el otoño las hojas comienzan su defoliación, lo que se nota al darse el cambio de coloración verde a rojo, púrpura y amarillo. Esta especie es sensible al ozono y la presencia de insectos chupadores se correlaciona con la cantidad de agua disponible, la compactación del suelo y la contaminación (Cibrián *et al.*, 2001; CONABIO, 2011) se consideró útil y necesario realizar muestreos en diferentes épocas del año para descartar que dichos procesos naturales fueran confundidos con procesos de daños bióticos o abióticos.

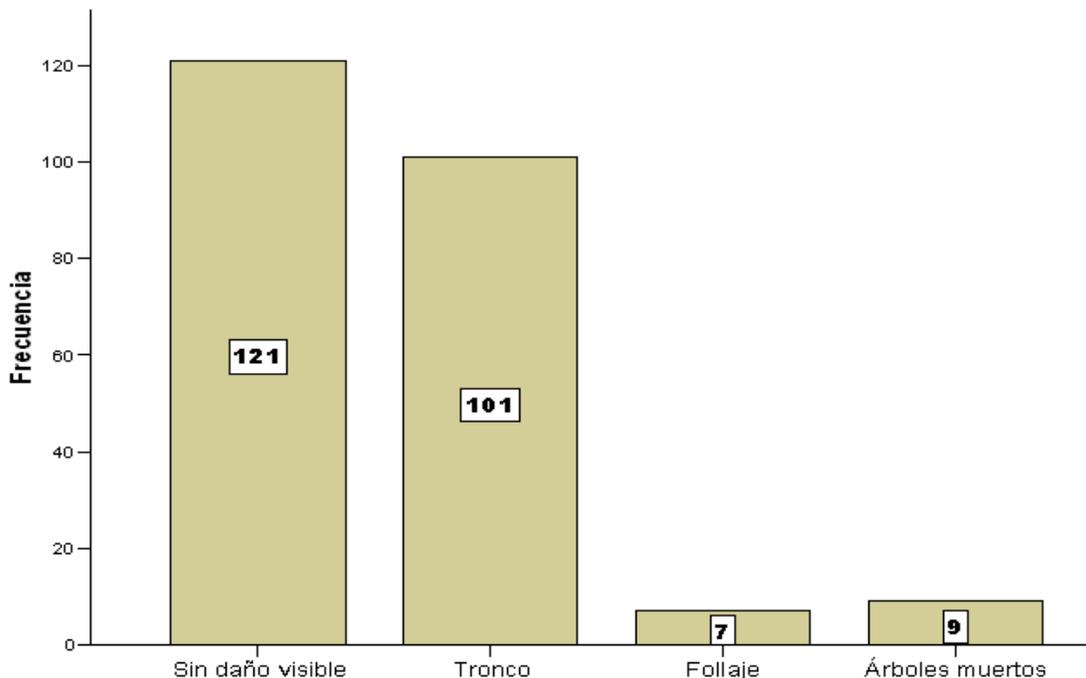


**Figura 4.2.** Localización de daños registrados en arbolado de Alameda Norte. 2012.

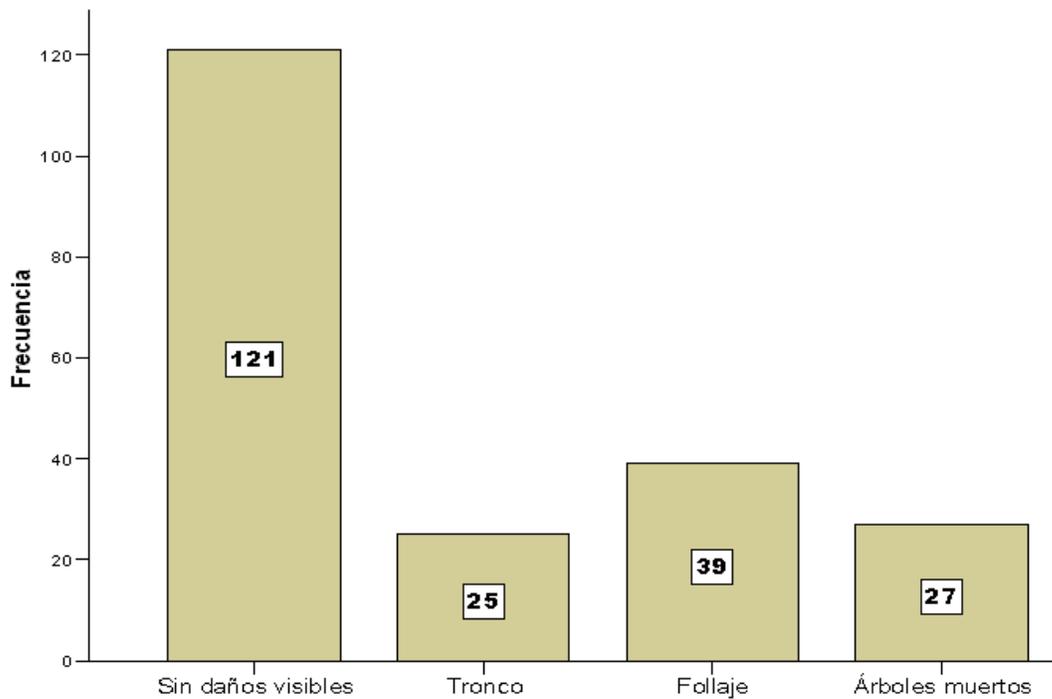
La limitación del espacio de crecimiento es frecuente en el DF ya que no suele elegirse el árbol adecuado para el sitio adecuado (Chacalo y Corona, 2009; Loh *et al.*, 2003; Koeser *et al.*, 2013 Tovar, 2007) lo que conforme el árbol crece provoca que las raíces se vean limitadas u obstruidas, los troncos no se desarrollen, las copas se traslapen y no reciban suficiente luz solar para realizar fotosíntesis. En Alameda Norte debido al inicio de trabajos de construcción e instalación de sistemas de riego muchos árboles se

removieron alterando tanto la fisiología de estos como el aspecto del árbol, ya raíces y ramas se eliminaron sin una adecuada planeación.

Los eventos meteorológicos atípicos, como las sequías prolongadas y las inundaciones resultado de lluvias asociadas a tormentas tropicales en verano (SMN, 2011a; SMN, 2011b) influyen en la salud del arbolado. Las raíces pueden sufrir anoxia por el exceso de agua acumulada debido a la baja velocidad de infiltración en el suelo producto de la compactación, la cual es frecuente en áreas transitadas por visitantes o por el establecimiento de comercios dentro de las instalaciones de los parques como se registró en las Alamedas Norte y Sur. Esto promueve la susceptibilidad a diversas enfermedades como pudriciones de raíz que son visibles después de mucho tiempo a través del follaje, lo que impide la recuperación pronta y adecuada del árbol. En contraste, el fenómeno de sequía sumado a temperaturas elevadas también puede provocar déficits que se reflejan en el follaje. Otro factor de las variaciones meteorológicas es la presencia de ráfagas de viento fuertes que provocan la caída de ramas o troncos. En este caso también sucede la acción conjunta de dos o más factores: los árboles derribados pueden estar afectados previamente por enfermedades de la raíz y tronco, debilitadas por podas mal realizadas, falta de nutrimentos y humedad, vandalismo o sólo por las características de la propia especie, pero no la acción aislada del viento como sucedió en Alameda Norte durante el último muestreo en ejemplares de *Grevillea robusta* (Koeser *et al.*, 2013; Loeb, 2010; Smiley *et al.*, 2006; Tovar, 2007; Vujacovic, 2011).



**Figura 4.3.** Localización de daños registrados en arbolado de Alameda Oriente. 2012.



**Figura 4.4.** Localización de daños registrados en arbolado de Alameda Sur. 2012.

Un factor relacionado con la localización de daños en arbolado son los contaminantes en el suelo: productos a base de petróleo, agua jabonosa u otros productos empleados en la limpieza de casas o negocios muchas veces se derraman alrededor de la base del tronco como agua de riego. Otro problema recurrente en parques y jardines del DF es la acumulación de orina y heces de animales domésticos (Tovar, 2007). En el caso de las alamedas sólo en Alameda Oriente se restringe el acceso a las instalaciones con mascotas, lo que en las Alamedas Norte y Sur no sucede y donde sí se observaron heces expuestas, lo que a largo plazo representará un problema serio de salud no solo para los árboles sino también para los usuarios.

### **Principales daños en arbolado**

La distribución de frecuencias mostró que en Alameda Norte hubo una disminución paulatina de los árboles que se registraron “sin daños” en el primer muestreo, y un incremento en las categorías de vandalismo y árboles muertos (Cuadro 4.2). Dentro de la categoría de daños abióticos se registraron los causados por construcciones, acción de vientos fuertes y déficit de humedad. En la categoría “otros daños” se registraron árboles con raíces torcidas o “cola de cochino” y enfermedades de raíz. Las raíces torcidas son un problema originado desde vivero y que se fomenta por una plantación deficiente, lo que causa un crecimiento más lento del árbol en altura, diámetro y tamaño de hojas, muerte descendente y pobre estructura de la raíz (Cibrián *et al.*, 2007) pero que puede prevenirse en la plantación. Algunos síntomas son sencillos de identificar, por ejemplo hojas marchitas y troncos con canchales, pero otros pueden enmascarse por procesos del ciclo natural del árbol. La presencia crónica de factores

estresantes como contaminación del aire, condición de suelo pobres en nutrimentos y baja disponibilidad de agua en la raíz, suelen provocar un incremento en la susceptibilidad a patógenos e insectos que son normalmente secundarios (Boa, 2003; Cibrián *et al.*, 2001). Si no existe un plan bien diseñado a favor de la arboricultura dentro de los parques, el manejo efectivo de todos los problemas de sanidad depende del personal capacitado que reconozca los síntomas en campo para una detección temprana. En las Alamedas del DF se elaboran programas de mantenimiento que se ajustan a las necesidades presentes en el arbolado, lo que de continuarse asegurará la permanencia y buen estado de salud del arbolado.

En Alameda Oriente también se observó la tendencia de que el número de árboles que se registraron sin daños (de acuerdo con los umbrales mínimos establecidos) disminuyó en el transcurso de los muestreos, donde los daños abióticos se asociaron principalmente a déficits de humedad en suelo. El principal daño registrado fue vandalismo (Cuadro 4.2), y aunque en este parque no se detectó la presencia de *Cladocolea* sp si se registró *Tillandsia* sp en ejemplares de *C. equisetifolia*. Dentro de la categoría de “otros daños” se registró la presencia de barrenadores. El arbolado de Alameda Oriente ha sido atacado por diversas plagas y patógenos que menguan su condición fitosanitaria y cuyas causas principales son las altas densidades de plantación que provocan una fuerte competencia por nutrientes, agua y luz solar para la fotosíntesis. En todas las secciones del parque se añade la intensidad de uso por los usuarios que generan un alto nivel de compactación (desertificación) y degradación de suelo, así como períodos con severo déficit hídrico lo que ha propiciado la pérdida del arbolado por la recurrente presencia de plagas de tipo chupador, descortezador barrenador y defoliador, que debilitan los árboles y promueven la pérdida del follaje (PAOT, 2011).

En Alameda Sur el incremento en el número de árboles afectados por vandalismo fue asociado a la actividad comercial y recreativa de este parque, el cual se encuentra abierto al público todos los días y que realiza actividades culturales y deportivas en fines de semana (Cuadro 4.2). La disminución en el número de árboles de la especie *A. negundo* afectados por plantas parásitas del género *Cladocolea* sp. se debió a la realización de podas fitosanitarias para su control y a la remoción de ejemplares afectados sin posibilidad de recuperación a través de esta actividad. La presencia del insecto *S. marginella* se registró con mayor frecuencia en esta Alameda en los dos primeros muestreos. Este es un insecto chupador que suele encontrarse en su forma adulta desde finales del invierno hasta mediados del verano, que se alimentan de la copa de los árboles y aunque rara vez causan la muerte del hospedante si los debilitan afectando también la calidad estética del follaje (Cibrián *et al.*, 2000). Dentro de la categoría “otros daños” se registraron árboles con canchales y árboles muertos en pie afectados por insectos barrenadores.

**Cuadro 4.2.** Distribución de frecuencias de los principales daños registrados en Alamedas del DF.

ALAMEDA NORTE		Muestreo 1		Muestreo 2		Muestreo 3		Muestreo 4	
Daños registrados	Fi (n)	Fri (%)							
Árboles sin daño	313	63.75	308	62.73	291	59.27	291	59.27	
Daños abióticos	11	2.24	10	2.23	13	2.64	13	2.64	
Vandalismo	28	5.70	27	5.50	73	<b>14.86</b>	73	<b>14.86</b>	
Alteraciones en el follaje	nr	nr	nr	nr	19	3.87	19	3.87	
Daños por plantas parásitas	12	2.44	12	2.44	10	2.04	10	2.04	
Daños por <i>Stenomacra marginella</i>	77	<b>15.68</b>	71	<b>14.46</b>	19	3.87	19	3.87	
Otros	4	0.81	4	0.62	3	0.62	3	0.62	
Árboles muertos	46	9.37	59	12.02	63	12.83	63	12.83	
Total	<b>491</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>	<b>491</b>	<b>100</b>	
ALAMEDA ORIENTE									
Árboles sin daño	165	69.33	131	55.04	123	51.68	121	50.84	
Daños abióticos	1	0.42	nr	nr	nr	nr	nr	nr	
Vandalismo	32	<b>13.45</b>	59	<b>24.80</b>	56	<b>23.53</b>	54	<b>22.69</b>	
Alteraciones en el follaje	nr	nr	nr	nr	2	0.84	2	0.84	
Daños por plantas parásitas	nr	nr	1	0.42	4	1.68	5	2.10	
Daños por <i>Stenomacra marginella</i>	9	3.78	1	0.42	nr	nr	nr	nr	
Otros	30	12.61	44	18.48	47	19.75	47	19.75	
Árboles muertos	1	0.42	2	0.84	6	2.52	9	3.78	
Total	<b>238</b>	<b>100</b>	<b>238</b>	<b>100</b>	<b>238</b>	<b>100</b>	<b>238</b>	<b>100</b>	
ALAMEDA SUR									
Árboles sin daño	119	56.13	135	63.68	92	43.40	120	56.60	
Daños abióticos	7	3.3	3	1.42	2	0.94	3	1.42	
Vandalismo	20	9.43	20	<b>9.43</b>	29	13.68	25	<b>11.79</b>	
Alteraciones en el follaje	1	0.47	4	1.89	40	<b>18.87</b>	18	8.49	
Daños por plantas parásitas	22	<b>10.38</b>	18	8.49	11	5.19	17	8.02	
Daños por <i>Stenomacra marginella</i>	15	7.08	2	0.94	2	0.94	nr	nr	
Otros	10	4.72	2	0.94	8	3.77	1	0.47	
Árboles muertos	18	8.49	28	13.21	28	13.21	28	13.21	
Total	<b>212</b>	<b>100</b>	<b>212</b>	<b>100</b>	<b>212</b>	<b>100</b>	<b>212</b>	<b>100</b>	

Dónde: Fi(n) = Frecuencia absoluta; Fri(n)=Frecuencia relativa; nr: no registrado

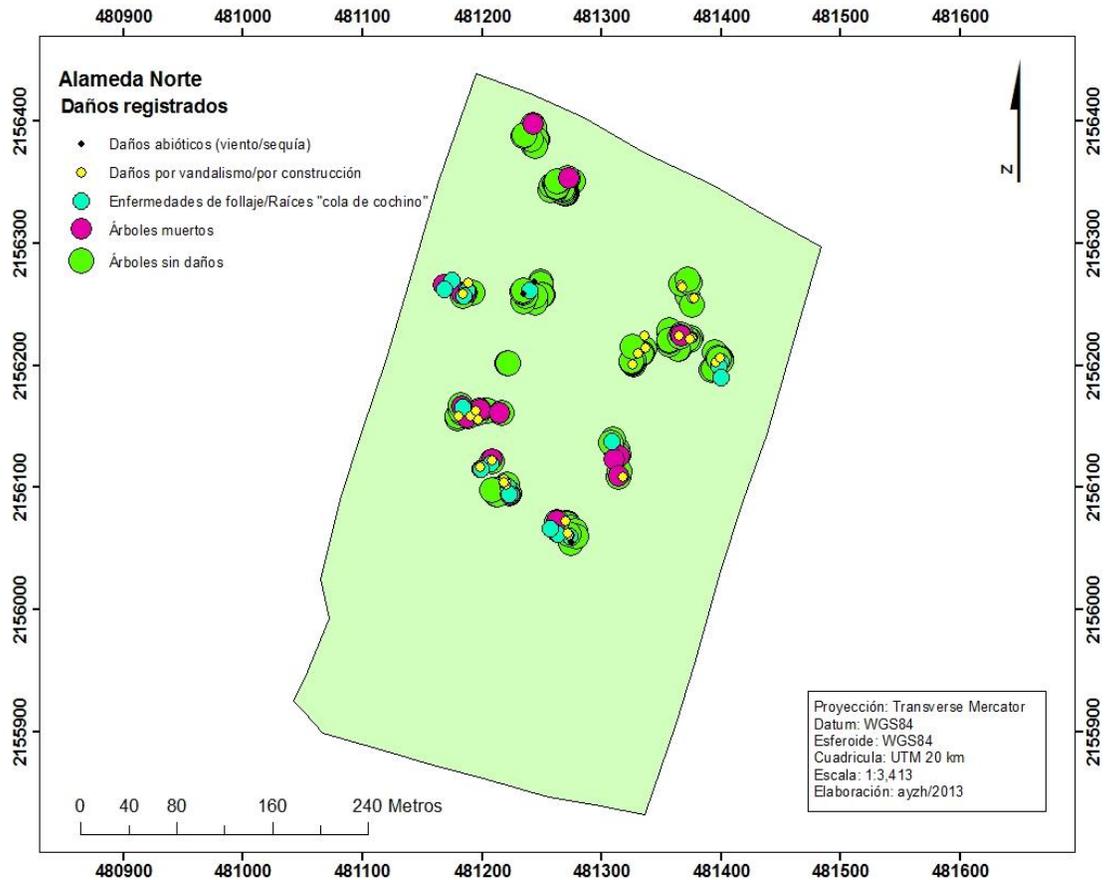
Los árboles en el DF están plantados muy cerca uno del otro sin considerar la altura que el árbol tendrá en su madurez, siendo poco probable que el árbol se desarrolle satisfactoriamente en altura, diámetro y volumen de raíces. Si no hay un seguimiento al desarrollo de los árboles recién plantados, éstos pueden morir y de nuevo se necesita hacer una plantación, con lo que se entra en un ciclo periódico de pérdida y recuperación de especies. Es importante implementar programas de seguimiento y monitoreo del

arbolado con el fin de asegurar que los trabajos de restitución sean exitosos y adecuados para precisar los porcentajes de supervivencia de los árboles plantados (PAOT, 2010).

En Alameda Norte se registró daño en árboles por efecto de ráfagas de viento y por déficit hídrico sólo durante el último muestreo (Enero 2012), en general este parque cuenta con programas de riego como parte de los programas de mantenimiento. El acceso a todas las áreas arboladas es libre y es frecuente su uso para actividades culturales y recreativas que implica utilizar los árboles como soporte para diversas estructuras por lo que la distribución de daños no sigue un patrón específico, pero si se detectan en toda la superficie de la Alameda. Aunque en ocasiones se considera el vandalismo como un factor de daño inevitable en áreas verdes (Martínez, 2008), se sabe que la educación de los usuarios de los parques y la difusión de los beneficios de un arbolado sano pueden ser la respuesta para prevenirlo. En las tres Alamedas se detectó que los usuarios lesionan de forma premeditada los árboles: los hieren con herramientas punzocortantes, les insertan clavos para sujetar objetos en ellos, instalar juegos mecánicos, puestos comerciales, colocar lámparas, focos, alambres, entre otros, convirtiendo las heridas en importantes entradas de agentes patógenos, en especial hongos que causan canchales, marchitamientos vasculares y pudrición de raíces y madera, o entradas para insectos barrenadores o chupadores.

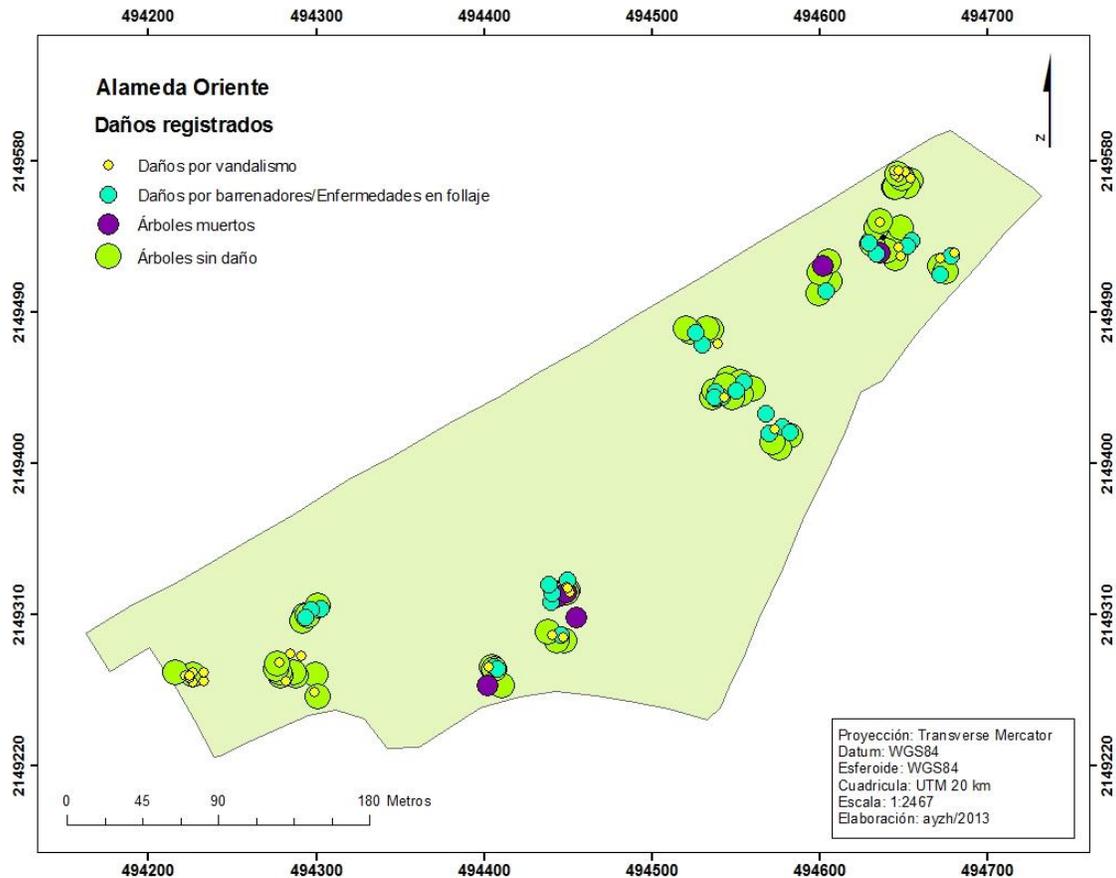
### **Distribución espacial de daños en arbolado**

La distribución espacial evaluada en las Alamedas buscaba encontrar patrones de distribución de daños dentro de los parques. Es decir, la representación de los daños por cada árbol evaluado, en relación con el tipo de actividades presentes en los sitios y su ubicación en el DF, permitió determinar la existencia de un patrón de distribución: por ejemplo, si las zonas arboladas son de fácil acceso para los usuarios, se esperaría una mayor frecuencia y distribución uniforme de los daños por vandalismo o actividades antropogénicas. En Alameda Norte se registraron altas densidades de plantación, lo que promovió la competencia entre especies por luz, agua y nutrientes, provocando la muerte en pie de árboles. Por esta alta densidad de plantación fue frecuente registrar más de un daño por árbol en espacios reducidos originando un traslape de datos en la representación del mapa (Figura 4.5). También, la presencia de diversas plagas y enfermedades, se relaciona con la vulnerabilidad del arbolado causada por daños abióticos (Cibrian *et al.*, 2007) La presencia constante de usuarios en toda la superficie del parque explicaría la amplia distribución de daños por vandalismo.



**Figura 4.5.** Distribución espacial de daños por árbol en Alameda Norte. 2012.

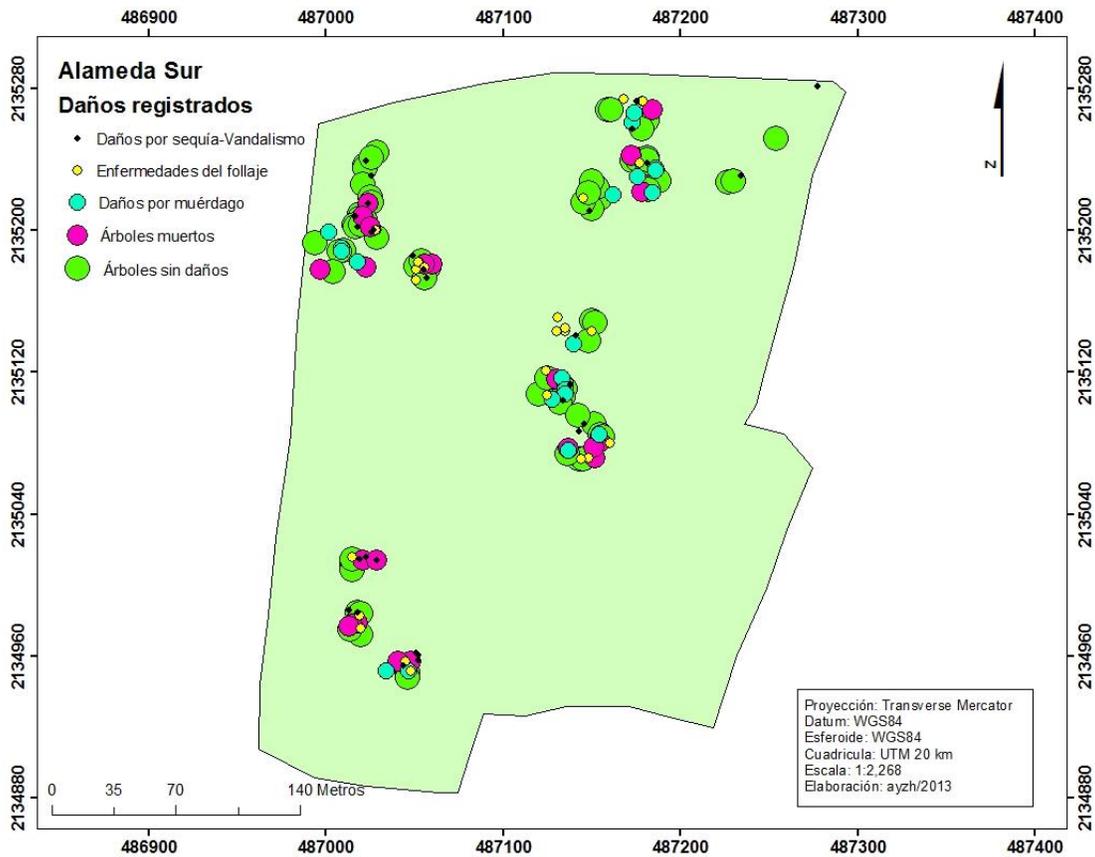
En Alameda Oriente, el daño más frecuente registrado fue vandalismo (principalmente heridas, pintas, rayones en troncos y acumulación de basura en el área de raíces) asociado con el número de visitantes y usuarios, además del libre acceso a casi todas las áreas arboladas lo que explica la distribución uniforme de este daño. Tomando en cuenta las condiciones de estrés crónico (deshidratación, suelo pobre en nutrientes, vandalismo) en el sitio, así como la presencia de plagas, daños bióticos y antropogénicos distribuidos uniformemente (PAOT, 2011). De otra forma una gran cantidad de árboles se reportarían en muy mal estado y en tal caso, la solución inmediata sería sustituir de forma paulatina el arbolado enfermo. El daño por barrenadores distribuido en todo el parque se registró en ejemplares de *C. equisetifolia* (Figura 4.6). El arbolado de Alameda Oriente no presenta daños severos, siendo uno de los parques evaluados donde el mantenimiento regular y la vigilancia en el cumplimiento de las restricciones del uso de instalaciones, el control en actividades recreativas y deportivas ha influido en ello.



**Figura 4.6.** Distribución espacial de daños por árbol en Alameda Oriente. 2012.

La Alameda Sur fue el sitio más afectado por la presencia de plantas parásitas (*Cladocolea* sp.) en todo el parque y muchos árboles afectados severamente que declinaron por este daño no fueron removidos de forma inmediata. Cuando los árboles si se removieron, la sustitución de especies no ocurrió en el mismo sitio, realizándose las nuevas plantaciones en otros espacios disponibles dentro del parque. El problema de la presencia de muérdago en parques, jardines y bosques del DF va más allá de la presencia de especies susceptibles, o la facilidad con que se propagan. Aún faltan planes de control y erradicación de muérdago que sean realmente efectivos y definitivos, sin alterar en gran medida la copa del árbol afectado que modificará la capacidad fotosintética de la especie causando la pérdida del follaje, mayor susceptibilidad al ataque de otras plantas parásitas, plagas y enfermedades, y la muerte del árbol. La distribución del muérdago en las delegaciones Benito Juárez, Cuauhtémoc y Coyoacán, con tendencia predominante hacia las delegaciones localizadas en el suroeste de la Ciudad de México afecta en mayor medida a los géneros *Fraxinus*, *Populus*, *Ulmus*, *Ligustrum*, *Alnus* y *Acacia* (SMA, 2010). Los criterios para la evaluación del estado fitosanitario se consideraron estrictos utilizando los umbrales establecidos y un máximo de dos daños por árbol. El daño por vandalismo se consideró importante y crónico por tratarse de un espacio abierto todos los días de la semana, y centro de actividades deportivas, culturales y recreativas en fines de semana y festivos. Las actividades más reportadas durante los muestreos fueron

las podas fitosanitarias y la restricción por secciones de áreas verdes para disminuir el impacto de los daños (Figura 4.7).



**Figura 4.7.** Distribución espacial de daños por árbol en Alameda Sur. 2012.

El diseño de áreas verdes está afectado por el contexto del paisaje y la importancia social e histórica del lugar. Las actividades de sustitución y mantenimiento se basan en programas previos que no necesariamente contemplan el potencial de especies más adecuadas o planes de manejo y mantenimiento más estrictos (Ode y Fry, 2002; Westphal, 2003). Por ejemplo, utilizar especies nativas del Valle de México más adaptadas a las condiciones estresantes de la ciudad, o el diseño de un programa de poda fitosanitarias para control de muérdago. Un programa de manejo de áreas verdes es un elemento importante en la creación de un ambiente atractivo para el usuario y al mismo tiempo, en la optimización de los beneficios del arbolado urbano. En cualquier plan de manejo se debe tomar en cuenta que los requerimientos mínimos para desarrollar árboles hasta su madurez son la plantación adecuada, riego, acolchados (que no son de uso común en parques del DF) y podas, sobre todo para asegurar la salud del árbol, resguardar la seguridad de los visitantes y mantener una visibilidad apropiada. Sin embargo, en ocasiones estos programas no pueden ser costeados o no son realizados por personal con el entrenamiento adecuado (Becket *et al.*, 2000; Nowak *et al.*, 2006; McPherson, 2007).

Es necesario entender las contribuciones ambientales y económicas de los árboles y por qué registrar los daños del arbolado se necesita para obtener mayores beneficios. Lo que conlleva enfocarse en la inconveniencia de árboles mal plantados, enfermos o dañados, sino proponer alternativas para suprimir los factores de estrés y reducir la severidad de los daños; así como conocer los beneficios que el arbolado proporciona para el sitio y el ambiente como la remoción de contaminantes, la captación de carbono, la creación de microclimas más agradables, y los beneficios sociales (Beamish, 2003; Wolf, 2003).

Con los cambios constantes en las densidades de plantación dentro de parques de la ciudad, como las Alamedas, no sólo se altera el potencial a largo plazo de los beneficios del arbolado para el ambiente y la salud humana, también se arriesga a la pérdida de especies nativas por la sustitución con especies introducidas de rápido crecimiento, uniformizando a la ciudad y exponiéndose a brotes específicos de plagas y enfermedades. En el arbolado del DF, sólo ocho especies constituyen el 72% del total. Una sola especie, *F. uhdei*, representa el 19% de los árboles de alineación (Chacalo y Corona, 2009). Esta uniformidad disminuye el valor ecológico y ornamental.

## CONCLUSIONES

La remoción de árboles que no sobreviven la competencia por luz, agua y nutrientes y que han sido atacados por plagas y enfermedades es resultado de un mal diseño de plantación, una situación común a todas las áreas verdes urbanas de la ciudad.

La mayoría de los árboles evaluados en las tres Alamedas se registraron sin daños, de acuerdo con los umbrales mínimos establecidos. El daño principal registrado en Alameda Norte fue la presencia de *Stenomacra marginella* durante los primeros dos muestreos y vandalismo en los dos últimos. En Alameda Oriente el daño principal registrado en los cuatro muestreos fue vandalismo. Por último, en Alameda Sur se registró una mayor diversidad de daños destacando el ataque por muérdago (*Cladocolea* sp.), seguido por vandalismo y alteraciones en el follaje. La localización principal de daños se registró en troncos (asociados con vandalismo, *S. marginella* y ataques de barrenadores) y follaje (asociado con muérdago, alteraciones del follaje y vandalismo). La distribución espacial de daños no sigue un patrón específico. Por las características de los parques la posibilidad de que todos los árboles presenten uno o más daños es uniforme.

## LITERATURA CITADA

- Alvarado R., D. 2012. Enfermedades de actualidad en los bosques y arbolado urbano de la Ciudad de México. pp. 55-74. En: Deforestación, desertificación y reforestación. 2012. M.L.I. de Bauer (compiladora). Comité de Acción para Saneamiento del Ambiente (CASA). 181 p.
- Beamish, M.J. 2003. Tree maintenance guide: Tips on proper tree selection, planting and pruning. Rockland Electric Co. NY, USA. 20 p.
- Beckett, K.P., P.H. Freer-Smith and G. Taylor. 2000. Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed. *Global Change Biology*. 6:995-1003.
- Boa, E. 2003. An illustrated guide to the state of health of trees recognition and interpretation of symptoms and damage. CABI-Bioscience. FAO. Surrey, UK-. 55 p.
- Chacalo, A., A. Aldama and J. Grabinsky. 1994. Street tree inventory in Mexico City. *Journal of Arboriculture* 20(4): 222-226.
- Chacalo H., A. y V. Corona N.E. 2009. Árboles y arbustos para ciudades. UAM-Azcapotzalco. México, DF. 600 p.
- Cibrián T., D., D. Alvarado R. y S.E. García D. (editores). 2007. Enfermedades forestales de México. UACH. 1ª ed. México. 587 p.
- Cibrián T. D., J.T. Méndez M, R. Campos B., H.O. Yates y J.E. Flores L. 2000. Insectos forestales de México. UACH. 2ª ed. México. pp. 19, 196-197.
- Cibrián T., J., A. Sánchez S. y A. Zamudio V. 2001. Diagnóstico fitosanitario del olmo chino (*Ulmus parvifolia* Jacq.) en la Delegación Iztacalco de la Ciudad de México. *Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 7(2):133-138.
- Cochran, W. 2008. Diseños experimentales. Trillas. México. 2ª Ed. 661 p.
- CONABIO. 2011a. Ficha: *Fraxinus uhdei*. Fecha de consulta: 20 de junio 2012. URL: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/53-oleac1m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/53-oleac1m.pdf)
- De la Paz P.O., C., J. Ceja R. y G. Vela R. 2006. Árboles y muérdagos: una relación que mata. Departamento de Biología, UAM-Iztapalapa. *Contactos* 59:28-34.
- FIA (Forest Inventory and Analysis National Program). 2002. Forest Health Indicators. FS-746. USDA. Virginia, US. 13 p.
- FIA (Forest Inventory and Analysis National Program). 2012. Forest Health Indicators: Crown condition method guide (Version 3.0-2005). (Fecha de consulta: Noviembre 2012). Disponible en: <http://www.fia.fs.fed.us/program-features/indicators/crown/default.asp>

- García O., M.N. 2008. Evaluación de la infección por muérdago en el arbolado de Av. Reforma, D.F. UNAM. FES-Iztacala.
- INFyS (Inventario Nacional Forestal y de Suelos). 2012. Indicador Daños al Arbolado. Sistema Nacional de Información Forestal. (Fecha de consulta: Junio 2013). Disponible en: <http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/infys/temas/documentos-metodologicos>
- Koeser, A., R. Hauer, K. Norris and R. Krouse. 2013. Factors influencing long-term street tree survival in Milwaukee, WI, USA. Urban For. Urban Green. (Article in press) URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2013.05.006>
- Loh, F.C.W., J.C. Grabosky and N.L. Bassuk. 2003. Growth response of *Ficus benjamina* to limited soil volume and soil dilution in a skeletal soil container study. Urban For. Urban Green. 2:053-062.
- Martínez G., L. 2008. Árboles y áreas verdes urbanas. Fundación Xochitla. 1ª ed. México, DF. 549 p
- McPherson, E.G. 2007. Benefit-based tree valuation. Arboriculture & Urban Forestry 33(1):1–11.
- McPherson E.G. and J.R. Simpson. 2002. A comparison of municipal forest benefits and costs in Modesto and Santa Monica, California, USA. Urban For. Urban Green. 1:61–74.
- Nowak, D.J., D.E. Crane and J.C. Stevens. 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. Urban For. Urban Green. 4: 115-123.
- Ode, A.K. and G.L.A. Fry. 2002. Visual aspects in urban woodland management. Urban For. Urban Green. 1: 15–24.
- PAOT (Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial). 2010. Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la Ciudad de México. Gobierno del Distrito Federal. 1ª Ed. México, D.F. 260 p.
- PAOT (Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial). 2011. Diagnóstico fitosanitario del arbolado de Alameda Oriente. Gobierno del Distrito Federal. Reporte. México, D.F. 31 p.
- SMA (Secretaría del Medio Ambiente). 2010. Áreas verdes del Distrito Federal. Dirección de reforestación urbana, parques y ciclovías. Fecha de consulta: Noviembre 2013. Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx/drupc/index.php?opcion=15>
- Smiley, E.T., L. Calfee, B.R. Fraedrich and E.J. Smiley. 2006. Comparison of structural and noncompacted soils for trees surrounded by pavement. Arboriculture & Urban Forestry 32(4): 164-169.
- Tiddens, P.T. and R.A. Cloyd. 2006. Susceptibility of three rose genotypes to Japanese beetle adult feeding. Arboriculture & Urban Forestry 32(3):108-113.

Tovar C., G. 2007. Manejo del arbolado urbano en Bogotá. *Territorios* (16-17): 149-173.

Vujacovic, P. 2011. "Down but not out"- Windthrow trees as competitive organisms within storm generated "gaps" in East Kent, UK. *Arboricultural Journal* 33: 213-227.

Westphal, L.M. 2003. Urban greening and social benefits: a study of empowerment outcomes. *Journal of Arboriculture*. 29(3):137-147.

Wolf, K.L. 2003. Public response to the urban forest in inner-city business districts. *Journal of Arboriculture* 29(3):117-126.

## CONCLUSIONES GENERALES

Las condiciones actuales del Distrito Federal donde es frecuente la presencia de uno o más factores estresantes, influyen en el estado general de salud del arbolado de áreas verdes. Los árboles han desarrollado mecanismos de adaptación que les permiten sobrevivir en condiciones de sitio pobres, aun si la forma natural de su copa es alterada. El estado de salud general del arbolado de las tres alamedas se considera regular de acuerdo con lineamientos establecidos durante la realización de éste y otros estudios sustentados en el indicador condición de copa y sus variables, que se consideró una herramienta útil y sencilla para diagnosticar de forma general el estado de salud del arbolado.

La presencia de especies introducidas es un factor de peso en la adaptación a las condiciones de la ciudad, existiendo especies mejor adaptadas a las condiciones urbanas lo cual se refleja en su resistencia a condiciones estresantes como altos niveles de contaminación y escaso mantenimiento, que las vuelve vulnerable al ataque de plagas y enfermedades diversas. También, la distribución espacial de contaminantes atmosféricos como ozono ( $O_3$ ) y sus precursores ( $NO_2$ ), determinada durante esa investigación confirmó la exposición crónica a la que el arbolado en áreas verdes urbanas se somete independientemente de la época del año, promoviendo la declinación de los árboles.

Si la presencia de contaminantes en áreas verdes vuelve más susceptible al arbolado urbano a plagas y enfermedades, se explica por qué la Alameda Sur registró los daños más severos, de acuerdo con el patrón de distribución espacial de  $O_3$  y  $NO_2$ . Los daños registrados confirman la vulnerabilidad de las áreas verdes urbanas a los daños antropogénicos. Por las actividades recreativas y comerciales realizadas en estos es frecuente que el arbolado presente uno o más daños por individuo.

## RECOMENDACIONES

Es importante realizar estudios que se enfoquen en la delimitación de los principales factores estresantes de acuerdo con la zona de la ciudad que se analice. Existen herramientas metodológicas exclusivas de áreas urbanas que pueden ser complementadas con aquellas desarrolladas para áreas naturales como los indicadores utilizados en el Inventario Forestal Nacional.

La presencia de contaminantes en una ciudad con actividades comerciales, industriales y humanas como el DF es crónica, por lo que fomentar un estado de salud adecuado en el arbolado dependerá de la adecuada selección de especies forestales y los planes y programas de mantenimiento enfocados a remover o disminuir los principales factores de estrés, siendo siempre la mejor opción el uso de especies nativas del Valle de México por su adaptación a las características de la zona.

La información del usuario de parques y áreas verdes urbanas es fundamental para prevenir y evitar los daños en el arbolado. La difusión de los beneficios de los árboles, así como la capacitación del personal a cargo de las actividades de mantenimiento será clave para promover un buen estado de salud a largo plazo.

## LITERATURA GENERAL CITADA

- Bravo A., H and R. Torres J. 2002. Air pollution levels and trends in Mexico City Metropolitan Area. In: Urban air pollution and forests: Resources at risk in the Mexico City air Basin. (Fenn, M., Bauer, L.I., Hernández-Tejeda, T. eds). Ecological studies Vol. 156. USA. pp. 121-159.
- Delgado S., J.M. 2005. Validación e implementación de técnicas de captación pasiva para el estudio de los niveles y efectos del ozono troposférico y dióxido de nitrógeno en un área costera mediterránea. Universitat Jaume. Castelló de la Plana, España. Pp. 85-100.
- Economist Intelligence Unit (EIU). 2010. Índice de ciudades verdes de América Latina: Una evaluación comparativa del impacto ecológico de las principales ciudades de América Latina. Proyecto de investigación independiente realizado por Stelzner, K. (Responsable). Munich, Alemania- URL: [www.siemens.com/greencityindex](http://www.siemens.com/greencityindex).
- Forest Inventory and Analysis National Program (FIA). 2012. Forest Health Indicators: Crown condition method guide (Version 3.0-2005). URL: <http://www.fia.fs.fed.us/program-features/indicators/crown/default.asp>
- Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS). 2012. Indicador Condición de Copa. Sistema Nacional de Información Forestal. URL: <http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/infys/temas/documentos-metodologicos>
- Krupa, S.V., M. Nosal and D.L. Peterson. 2001. Use of passive ambient ozone (O<sub>3</sub>) samplers in vegetation effects assessment. Environ. Pollution (112): 303-309.
- Krupa S., M. Tuttle M., C. P. Andersen, F. L. Booker, K.O. Burkey, A.H. Chappelka, B.I. Chevone, E.J. Pell and B.A. Zilinskas. 2001a. Ambient ozone and plant health. Plant Disease 85(1):4-12.
- Ode, A.K. and G.L.A. Fry. 2002. Visual aspects in urban woodland management. Urban For. Urban Green. 1: 15–24.
- Rowntree, R.A. and D.J. Nowak. 1991. Quantifying the role of urban forests in removing atmospheric carbon dioxide. Journal of Arboriculture 17(10):269-275.
- Sillman S. 1999. The relation between ozone, NO<sub>x</sub> and hydrocarbons in urban and polluted rural environments. Atmospheric Environment 33:1821-1845.
- SIMAT (Sistema de Monitoreo Ambiental). 2012. Calidad del aire en la Ciudad de México: Informe 2011. 25 años de monitoreo atmosférico. Secretaría del Medio Ambiente (SMA). DF. 160 p

Sorensen, M., V. Barzetti, K. Keipi y John Williams. 1998. Manejo de áreas verdes urbanas. Banco Interamericano de Desarrollo. Washington, D. C. 81 p.

Westphal, L.M. 2003. Urban greening and social benefits: A study of empowerment outcomes. *Journal of Arboriculture* 29(3):137-147.

Wolf, K.L. 2003. Public response to the urban forest in inner-city business districts. *Journal Of Arboriculture* 29(3):117-126.

Xiao, Q., G. Mcpherson, J.R. Simpson and S.L. Ustin. 1998. Rainfall Interception by Sacramento's urban forest. *Journal of Arboriculture* 24(4):235-244.

**ANEXO 1. CÓDIGOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE DAÑOS EN ARBOLADO URBANO.**

CODIGO	AGENTE	NOMBRE COMUN/CENTIFICO	UMBRAL	SEVERIDAD
00	000	Sano		
10	000	<b>Abióticos</b>	Cualquier daño ≥ 20% en raíces, tronco, ramas o follaje.  *Ozono: cualquier porcentaje  **El follaje debe presentar daño ≥ 50% de su superficie.	20 al 100%          *Ozono: cualquier porcentaje.
	001	Altas temperaturas		
	002	Bajas temperaturas		
	003	Viento		
	004	Exceso de agua		
	005	Falta de agua		
	006	Salinidad		
	007	<b>Ozono*</b>		
	008	SO <sub>2</sub>		
	009	Partículas suspendidas		
	010	Fitotoxicidad		
011	Deficientes nutrimentales			
11	000	<b>Antropogénicos</b>		
	001	Daños por construcciones		
	002	Daños por vehículos		
	003	Compactación por senderismo		
	004	Compactación tráfico vehicular		
005	Vandalismo			
12	000	<b>Enfermedades</b>		
13	000	<b>Enfermedades de raíz</b>		
	001	<i>Ganoderma sp.</i>		
002	<i>Laetiporus sp.</i>			
14	000	<b>Pudridores de fuste</b>		
	001	<i>Phellinus sp.</i>		
15	000	<b>Cancros</b>	Cualquier daño ≥ 20%	20 a 100%
	001	<i>Cancro resinoso</i>		
	002	<i>Tubercularia ulmea</i>		
	003	<i>Cytospora chrysosperma</i>		
16	000	<b>Enfermedades de follaje</b>	Cualquier daño ≥ 20%	20 a 100%
	001	Manchas foliares		
	002	Cenicillas		
	003	Antracnosis		
	004	Tizón		
005	Caída de acículas			
17	000	<b>Plantas parasitas, epifitas y otras</b>	Cualquier porcentaje presente	<p><b>-Arceuthobium:</b> Dividida la copa del árbol en 3/3 y asigne las siguientes calificaciones a cada uno. 0. Ninguno; 1. &lt;50% de infección; 2. &gt; 50% de infección. Sume las tres calificaciones para obtener el nivel de infección final (un valor por árbol) (Hawksworth y Wiens, 1996).</p> <p><b>-Cladodolea:</b> 1. Ausente o no visible; 2. Ligero; 3. Moderado; 4. Severo; 5. Muerto (Alvarado y Saavedra, 2005).</p> <p><b>- Struthanthus, Psittacanthus, Phoradendron:</b> 0. No infectado; 1. Ligero; 2. Moderado; 3. Severo</p>
	001	<i>Cladocolea sp.</i>		
	002	<i>Struthanthus sp.</i>		
	003	<i>Psittacanthus sp.</i>		
	004	<i>Arceuthobium sp.</i>		
	005	<i>Phoradendron sp.</i>		
	006	<i>Tillandsia sp.</i>		
	007	<i>Cuscuta sp.</i>		
008	<i>Parras</i>			

				(Vázquez, 1986). - <b>Parras</b> y <i>Cuscuta</i> : cualquier porcentaje.
18	000 001	<b>Insectos descortezadores</b> <i>Dendroctonus sp.</i>	Cualquier evidencia de un ataque exitoso.	1-Ataques sucesivos y constantes (follaje verde, polvo, resinación). 2-Ataques previos (follaje marchito, poco follaje vivo, polvo, resinación). 3-Punta muerta: follaje muerto en punta y verde en copa baja.
19	000 001	<b>Insectos agalladores</b> <i>Calophya rubra</i>		
20	000 001 002 003	<b>Insectos defoliadores</b> <i>Atta sp.</i> <i>Nymphalis antiopa</i> <i>Pterourus multicaudata</i>	Cualquier daño $\geq$ 20% en follaje*.  *El follaje debe presentar daño $\geq$ 50% de su superficie	20 al 100%
21	000 001 002 003 004	<b>Insectos chupadores</b> <i>Glycaspis brimblecombei</i> <i>Tropidosteptes chapingoensis</i> <i>Carythuca salicata</i> <i>Stenomacra marginella</i>		
22	000 001	<b>Insectos de madera seca</b> Termitas (Isóptera)	Cualquier porcentaje presente.	Cualquier porcentaje presente.
23	000 001 002	<b>Otros</b> Cola de cochino Pájaro carpintero	No hay umbral	Cualquier porcentaje presente.
30	000	<b>Muerto</b>		

**Elaborado por:**

Alvarado R., D., L.L. Saavedra R. y A.Y. Zaragoza H. 2010. FIT645-Fitosanidad forestal. Colegio de Postgraduados.

## ANEXO 2. DAÑOS IDENTIFICADOS EN ALAMEDAS DEL DISTRITO FEDERAL



Daños antropogénicos por actividades comerciales y recreativas en Alameda Sur.



Vandalismo por usuarios en Alamedas Sur (izq), Norte (centro) y Oriente (der).



Vandalismo en árboles de *Casuarina equisetifolia* (izq), *Fraxinus uhdei* (centro) y *Eucalyptus* sp. (der).



Presencia de *Stenomacra marginella* en árboles de *Acer negundo* en Alameda Sur.



Daños por barrenadores en *C. equisetifolia* en Alameda Oriente (izq) y *Populus tremuloides* en Alameda Norte (der).



Daños por barrenadores en árboles de Alameda Oriente (izq y centro) y Alameda Sur (der).



Daño por vientos fuertes en árboles de *Grevillea robusta* en Alameda Norte.



Daños antropogénicos derivados de actividades de mantenimiento.



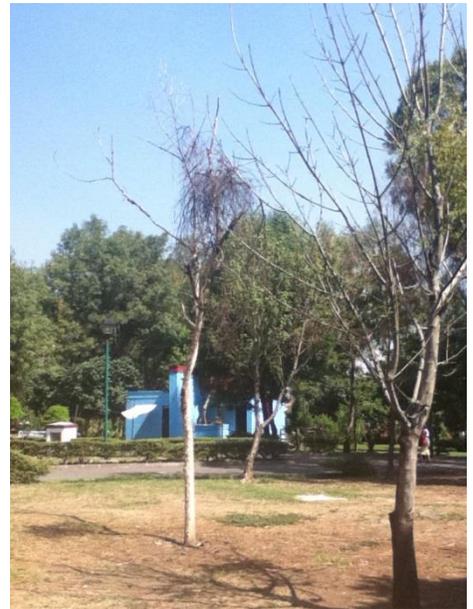
Daños antropogénicos derivados de actividades de mantenimiento.



Presencia de muérdago en Alameda Norte.



Presencia de muérdago (*Cladocolea* sp.) en Alameda Sur.



Árboles muertos en pie en Alameda Norte (izq), Oriente (centro) y Sur (der).



Presencia de enfermedades de raíz en Alameda Norte (izq) y Sur (derecha).



Alteraciones diversas en el follaje de árboles.