



Artículo / Article

## Indicador condición de copa y su aplicación en tres parques del Distrito Federal

### Crown condition indicator and its use in three parks of Mexico City

Alejandra Yunuen Zaragoza Hernández<sup>1</sup>, Víctor Manuel Cetina Alcalá<sup>1</sup>, Miguel Ángel López López<sup>1</sup>, Alicia Chacalo Hilú<sup>2</sup>, Ma. Lourdes de la Isla de Bauer<sup>3</sup> y Héctor González Rosas<sup>4</sup>

#### 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. 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 proporcionó información confiable para diagnosticar el estado general de salud del arbolado urbano. Los sitios elegidos fueron parques dentro del Distrito Federal conocidos como Alamedas Oriente, Norte y Sur. Durante la época de lluvias (mayo a octubre de 2011) se realizaron tres muestreos y uno durante la época seca (noviembre de 2011 a abril de 2012). Las variables registradas fueron densidad de copa (dnc), transparencia de follaje (trpf) y muerte regresiva (mr) en incrementos porcentuales (5 %) de 0 a 100. Se elaboraron pruebas de normalidad, análisis de varianza y pruebas no paramétricas U de *Mann-Whitney* y *Kruskal-Wallis*. Los resultados de estas últimas pruebas estadísticas indicaron que el arbolado de Alameda Oriente presentó los valores más altos de densidad de copa y los valores más bajos de muerte regresiva, lo que sugiere un buen estado general de salud. En contraste, el de la 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, condición de copa, densidad de copa, muerte regresiva, salud forestal, transparencia de follaje.

#### Abstract

The crown condition indicator estimates the proportion of trees that displays 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 while small ones suggest sites with unfavorable conditions for an appropriate development of the urban forest. Crown condition and its variables can provide reliable information to diagnose the urban trees' general health condition. The chosen sites were three parks within Mexico City known as *Alameda Oriente*, *Alameda Norte* and *Alameda Sur*. Three samplings were carried out during the rainy season (May to October 2011) and one during the dry season (November 2011 to April 2012). 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, it has the poorest health condition of the tree parks that were evaluated.

**Key words:** Alamedas, crown condition, crown density, crown dieback, forest health, foliage transparency.

Fecha de recepción/date of receipt: 26 de octubre de 2013; Fecha de aceptación/date of acceptance: 8 de julio de 2014.

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Programa Forestal. Correo-e: zaragoza.alejandra@colpos.mx

<sup>2</sup> Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Ciudad de México

<sup>3</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Programa Hidrociencias

## Introducción

En ambientes urbanos es frecuente la sustitución de plantas y árboles que no se adaptan a la ciudad por quedar establecidos en sitios poco favorables para su crecimiento y desarrollo, por lo que su vitalidad y salud declinan como resultado de la exposición crónica a elementos estresantes. Esta replantación continua provoca que algunas zonas de la ciudad estén desprovistas de vegetación, situación que se agrava con la construcción de viviendas y vialidades en el Distrito Federal y su Área Metropolitana, y a que las áreas verdes no siempre cuentan con el mantenimiento suficiente por falta de recursos económicos y personal capacitado (GDF, 2010; GDF, 2011; GDF, 2012; Martínez y Chacalo, 1994; PAOT, 2010).

El proyecto de creación de las Alamedas en el D. F. surgió en 1987 con el propósito de incrementar la superficie de áreas arboladas en la ciudad, en las que se incorporarían especies conocidas por su respuesta como *Casuarina equisetifolia* Forst, *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh y del género *Eucalyptus* (Chacalo y Corona, 2009; Martínez, 2008). En estas áreas verdes es común que factores como la contaminación, las condiciones de sitio inadecuadas, las plagas, las enfermedades y los fenómenos meteorológicos extremos afecten el estado de salud del arbolado, el primer signo de lo cual se observa en las copas (Schomaker *et al.*, 2007).

El indicador de condición de copa forma parte del criterio Salud y vitalidad del Inventario Forestal (aplicable en México, Estados Unidos de América 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). Este método se ha utilizado en años recientes por ser sencillo, práctico, confiable y rápido, 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 con 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 integrará la información recabada a través del indicador condición de copa y sus tres variables principales (densidad de copa, muerte regresiva y transparencia de follaje) con trabajos previos en el área de diagnóstico fitosanitario. Al mismo tiempo, con su aplicación en el arbolado urbano se

## Introduction

In urban environments the substitution of plants and trees that do not adapt to the city is very frequent, as they are placed where conditions do not favor their growth and development, which make that their health and vigor decline as a consequence of their chronic exposure to stressing elements. This continuous replanting leads to a scenario where some areas are without any vegetation, a situation that worsens as new buildings and roads are opened at *Distrito Federal* and its neighboring metropolitan area to which it must be added the fact that this green areas do not always get the care they demand as there are not enough economic resources and trained personnel (GDF, 2010; GDF, 2011; GDF, 2012; Martínez and Chacalo, 1994; PAOT, 2010).

The *Alameda* Project in Mexico City rose in 1987 with the purpose of increasing the tree area surface in which known species would be planted for their good response, such as *Casuarina equisetifolia* Forst, *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh and of the *Eucalyptus* genus (Chacalo and Corona, 2009; Martínez, 2008). In these green areas it is very common that factors such as pollution, unsuitable site conditions, plagues, diseases and extreme meteorological phenomena affect the tree health state, the first sign of which is observed on the tree crowns (Schomaker *et al.*, 2007).

The crown condition indicator is part of the Health and vitality criterion of the Forest Inventory (applicable in Mexico, the United States of America and Canada), and it is linked to the definition that, while forest ecosystems are healthy, greater will be the goods and services that they provide to the human and animal population (CFC, 2004; INFyS, 2012). This method has been used in recent years for being simple, practical, reliable and fast, as this indicator is based on the fact that the general health state is reflected in the amount and condition of foliage on the trees (FIA, 2012; INFyS, 2012). Its three main variables estimate the rate of trees that show lower crown density or higher crown dieback from changes in appearance and canopy volume to relate them with the general health state, when big and dense Crowns are related to photosynthesis rates and growth and small and scarce crowns with signs of unfavorable site conditions and other factors that directly affect the structure of the tree (defoliation by insects, foliage diseases, damage from storms, hail, extreme temperature, scarce or non-existent maintenance).

This new focus of the forest tools in urban zones will integrate the information that will be gathered by the crown condition indicator and its three main variables (crown density, crown dieback and foliage transparency) with previous works carried out in the phytosanitary diagnosis field. At the same time, with its application on urban trees reliable and enough information will be obtained to generate a general health state diagnosis of the trees of the *Alamedas* of *Distrito Federal*.

obtendrá información confiable y suficiente que permitirá emitir un diagnóstico del estado de salud general del arbolado de las Alamedas del Distrito Federal.

## Materiales y Métodos

Los sitios seleccionados fueron Alameda Oriente en la Delegación Iztacalco (19°26'7.63"N-99°03'18.53"O), Alameda Norte en la Delegación Azcapotzalco (19°30'4.25"N-99°10'41.08"O) y Alameda Sur en la Delegación Coyoacán (19°18'32.70"N-99°7'22.29"O) (Figura 1).

Se establecieron parcelas circulares en cada Alameda, cada una con un radio de 11.4 m y superficie de 408.30 m<sup>2</sup>, en conglomerados de cuatro parcelas en forma de Y invertida, como se indica en el método del indicador condición de copa, pero con modificaciones de acuerdo con el modelo I-Tree específico para áreas urbanas (USDA, 2010; Nowak, 2006; FIA, 2012; INFyS, 2012). En la Alameda Norte se establecieron cinco conglomerados (8 166 m<sup>2</sup> en total) y en las Alamedas Sur y Oriente, cuatro conglomerados en cada una (6 532 m<sup>2</sup> en total). Se realizaron tres muestreos en periodo de lluvias (mayo a octubre) y uno en época seca (noviembre a abril) durante 2011 y principios de 2012. Se evaluaron todos los árboles dentro de los límites de las parcelas circulares, a los que se les asignó un número progresivo, a partir del norte en el sentido de las manecillas del reloj. Las variables dasométricas para cada árbol fueron altura (m) con pistola Haga 102180, diámetro (cm) con cinta diamétrica (Ben Meadows™ 122460) y ancho de copa (medidas N-S y E-O) (m) con cinta métrica (Truper TF30ME). No se registraron arbustos, palmeras, setos o herbáceas.

Las variables evaluadas del indicador fueron densidad de copa (dnc), muerte regresiva (mr) y transparencia del follaje (trpf). La dnc estimó la cantidad de ramas de la copa, el follaje y las 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 ello se determinó la silueta de la copa proyectando una imagen completa de espejo 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 2). La variable mr se calificó como mortalidad reciente de ramas con ramillas comenzando en la porción terminal de la rama e internamente hacia el tronco. En las tres

## Materials and Methods

The places that were selected were *Alameda Oriente* in *Delegación Iztacalco* (19°26'7.63"N-99°03'18.53"W), *Alameda Norte* in *Delegación Azcapotzalco* (19°30'4.25"N-99°10'41.08"W) and *Alameda Sur* in *Delegación Coyoacán* (19°18'32.70"N-99°7'22.29"W) (Figure 1).

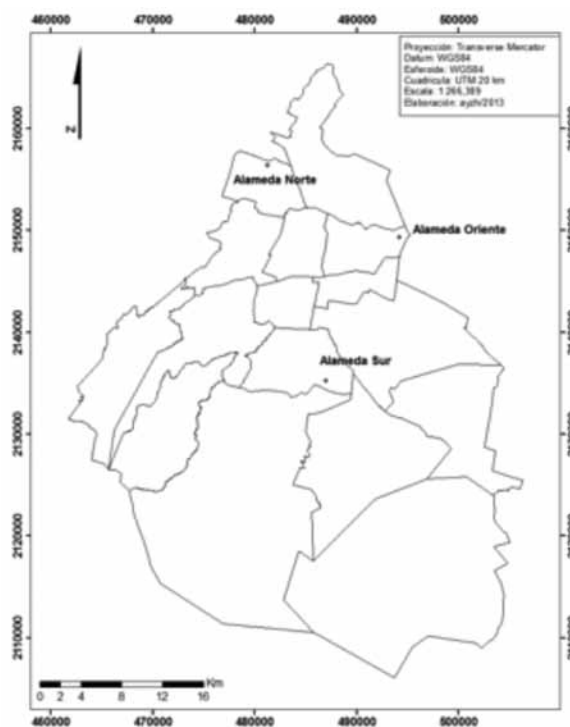


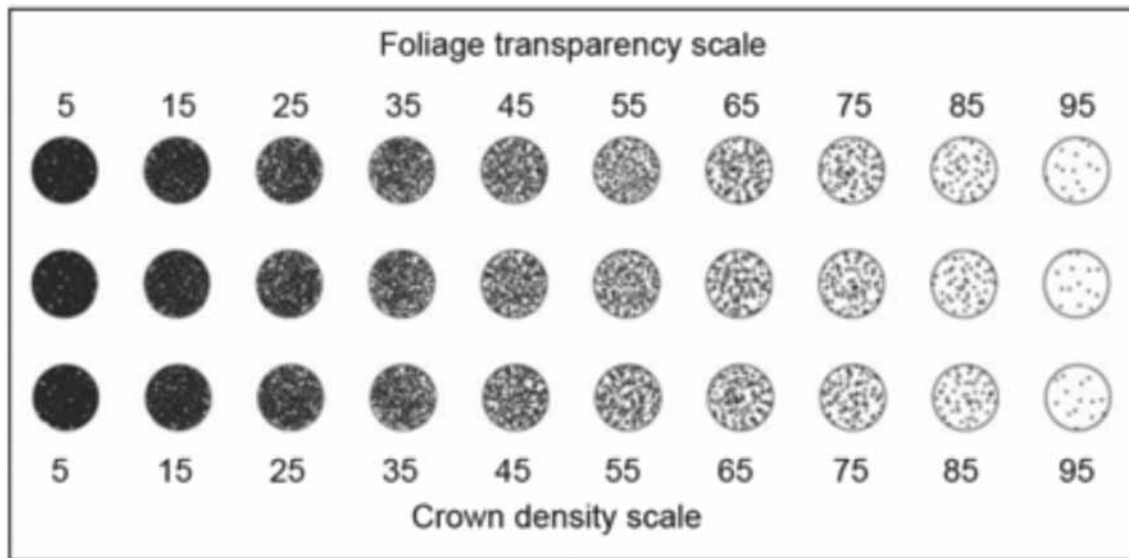
Figura 1. Ubicación de los sitios para el estudio dentro del Distrito Federal.

Figure 1. Location of study sites in *Distrito Federal*.

Circle plots were established in each *Alameda*, each one with a 11.4 m radius and a total area of 408.30 m<sup>2</sup> in clusters of four plots in an inverted Y shape, as described in the method of the crown condition indicator but with adjustments according to the I-Tree specific models for urban areas (I-Tree, 2010; Nowak, 2006; FIA, 2012; INFyS, 2012). In *Alameda Norte* were installed five clusters (8 166 m<sup>2</sup> in total) and in *Alameda Sur* and *Alameda Oriente*, four clusters in each one (6 532 m<sup>2</sup> in total). Three samplings were performed during the rainy season (May to October) and one in the dry season (November to April) during 2011 and at the beginning of 2012. All the trees within the limits of the circular plots were assessed, to which a progressive number was assigned, starting from the North and in a clockwise direction. The mensuration variables for each tree were total height (m) with a Haga 102180 clipsometer, diameter (cm) with a diametric tape (Truper TF30ME) and crown width (N-S and E-W measures) (m) with a metric tape (Ben Meadows™ 122460). Shrubs, palms, hedges or herbs were put in record.

variables se registraron los incrementos porcentuales de 5 % (en una escala de 0 a 100). La distancia de evaluación del árbol fue la longitud total del árbol (m) para una mejor panorámica de la copa (FIA, 2012; INFyS, 2012; Randolph, 2006).

The variables of the assessed indicator were crown density (dnc), crown dieback (mr) and foliage transparency (trpf). dnc estimated the number of branches of the crown, foliage and



Fuente: FIA, 2012.  
Source: FIA, 2012.

Figura 2. Tarjeta para evaluar las variables del indicador: densidad de copa y transparencia de follaje.  
Figure 2. Card to assess the crown density and foliage transparency indicators.

## 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 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 las 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 contrastes 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 análisis (Randolph, 2006). Se utilizaron los paquetes estadísticos SAS® v. 9.0 y 9.3 (SAS, 2002, 2011), y SPSS® para Windows v. 15.0. (SPSS, 2006).

reproductive structures that block the light that goes through the crown, from the starting point that each species has a standard shape that varies with site, genetics and the damages inflicted to the tree.

Therefore, the silhouette of the crown was determined by the projection of a complete mirror image of the central axis of the main stem form de natural shape of the tree, including missing or dead ends. The trpf variable was recorded when the live crown percentage with foliage that allows the pass of light was estimated and it was considered that the value varies if the tree has been subjected to defoliation for stress or recent damages. In this assessment was excluded the foliage from parasite plants and the dead branches in the low part of the live crown, missing branches or leafless.

These two variables were assessed by using the card designed by FIA (Figure 2). The mr variable was considered as the recent death of branches with twigs starting from the final portion of the branch and internally towards the stem. In the three variables, the percent increments of 5% were recorded (in a scale from 0 to 100). The assessment distance from the tree was once the total length of the tree (m) for a better look of the crown (FIA, 2012; INFyS, 2012; Randolph, 2006).



## Resultados y Discusión

Uno de las actividades de los programas de mantenimiento de áreas verdes del D. F. es la sustitución paulatina de árboles enfermos o poco adaptados a las condiciones urbanas. Por ejemplo, en la Alameda Oriente en la actualidad se incorpora planta, mientras que en la Alameda Sur se realizan actividades de rehabilitación en todo el parque (GDF, 2012b; GDF, 2013). Comparados con la Alameda Central, estos espacios aún no se han sometido a planes intensivos de mejora y sustitución del arbolado, porque cada delegación tiene sus propios planes de mantenimiento y calendarios para optimizar estas áreas (GDF, 2012a).

### Condición de copa

En las pruebas de normalidad de *Kolmogorov-Smirnov* y *Shapiro-Wilk*, la hipótesis nula ( $H_0$ = los datos se distribuyen normalmente) no se aceptó en ninguna de las tres variables evaluadas (Cuadro 1). Los valores de significancia de las mismas son menores que el valor establecido ( $\alpha= 0.05$ ), lo que indicó que los datos no se distribuyeron normalmente. Esto se asoció a la existencia de distintos géneros, especies y edades del arbolado dentro de los parques, registrándose valores en el rango de 0 a 100 % (Randolph, 2006). 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 2).

## Data analysis

For the calculation of means and variances it was considered that the simple sizes of the parks (*alamedas*) were different. To know the distribution of the data Kolmogorov-Smirnov (when  $n_{obs} \geq 2\,000$ ) and Shapiro Wilk (when  $n_{obs} \leq 2\,000$ ) normality tests were made, both with  $\alpha = 0.05$ . Central tendency measures, dispersal measures and box diagrams were obtained. In order to compare the behavior of the three variables among the parks, an analysis of variance and mean comparison was made to find significant differences between the values obtained from the indicator and its variables. According to the distribution of the data, the non-parametric Kruskal-Wallis analysis were selected for the  $n$  independent samples ( $\alpha=0.05$ ) of U-Mann-Whitney for two independent samples ( $\alpha=0.05$ ) to contrast the parks by pairs. The groups of data were statistically analyzed considering that the trees with foliage (dnc values =0 %; mr=100 % and trpf=100 %) may be defined without crown and thus the dead examples, and not to include them in the analysis (Randolph, 2006). The SAS™ v. 9.0 and 9.3 (SAS, 2002, 2011), and SPSS™ for Windows v. 15.0. statistic packages were used (SPSS, 2006).

## Results and Discussion

One of the actions of the maintenance programs of green areas of D.F. is the gradual substitution of ill trees or poorly adapted to the urban zones. For example, in *Alameda Oriente*, plant is being placed while in *Alameda Sur*, rehabilitation activities

Cuadro 1. Pruebas de normalidad para las tres variables del indicador condición de copa en las Alamedas estudiadas del Distrito Federal.

Table 1. Normality tests for the three variables of the crown condition variables in *Alamedas of Distrito Federal*.

Variable <sup>(b)</sup>	Parque	Kolmogorov-Smirnov <sup>(a)</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
dnc	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
mr	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
trpf	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

(a) Correction of significance of Lilliefors

(b) dnc = Densidad de copa; mr = Muerte regresiva; trpf = Transparencia de follaje

(b) dnc = Crown density; mr = Crown dieback; trpf = Foliage transparency

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 a partir 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 determinó que a partir del estado actual del arbolado en las Alamedas es obligatorio desarrollar programas de mantenimiento y manejo integrales ante el impacto continuo de factores estresantes como la contaminación y el 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 considera 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 %, lo que asegura que la mitad de las observaciones de la muestra están por debajo y la otra mitad por encima de la misma (Schomaker *et al.*, 2007).

A partir de la presencia de los valores de la variable dnc en el percentil 50, se explica que al menos 50 % de los árboles en cada Alameda tienen 55 % de follaje, lo que los define como no defoliados en su totalidad. Dicha cantidad de follaje les ha permitido sobrevivir y realizar sus funciones de manera adecuada (Cuadro 2). En árboles con valores altos de dnc (mayor cantidad de follaje) se esperaría un potencial de crecimiento, reproductivo, vigor y supervivencia superior 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 un problema serio para el desarrollo del árbol no se percibe 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 contaminación, vandalismo y mantenimiento insuficiente (PAOT, 2010; PAOT, 2011) han actuado de forma crónica y han deteriorado la salud del arbolado, lo que ha repercutido reflejándose en los valores elevados de mr.

Para la variable mr, 90 % de los árboles (percentil 90) evaluados en la Alameda Norte presentaron un valor de 35 %, el más alto con respecto a las Alamedas Oriente y Sur, cuyas cifras respectivas fueron de 10 y 15 % en el mismo percentil, lo

are performed in the whole park (GDF, 2012b; GDF, 2013). Compared to *Alameda Central*, these spaces have not been a matter of intensive improvement and tree substitution plans, because each delegation has its own maintenance plans and timetables (GDF, 2012a).

## Crown condition

In the Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk normality tests, the null hypothesis ( $H_0$ = the data are normally distributed) was not accepted in any of the three assessed variables (Table 1). Their significance values are smaller than the established value ( $\alpha= 0.05$ ), which meant that the data did not have a normal distribution. This was related to the existence of different genera, species and ages of the trees within the parks, where values were recorded in the 0 to 100 % range (Randolph, 2006). Most of the observations tend to concentrate in a small section of such range. This was confirmed through the mean, median, standard deviation, asymmetry and kurtosis (Table 2).

The variables of the crown condition indicator were assessed in 493 trees in *Alameda Norte*, 224 trees in *Alameda Sur* and 249 trees in *Alameda Oriente*. The descriptive statistics indicated that the trees with high values of the dnc and low mr and trpf values show a healthier crown with a greater potential to fix carbon and from the prevailing conditions of the city, greater probability to survive (Chacalo and Corona, 2009; Koeser *et al.*, 2013; Smiley *et al.*, 2006; Tiddens and Cloyd, 2006).

With this assessment of the crown it was determined that from the actual state of the trees of the parks, it is mandatory to develop management and maintenance programs as there is the continuous impact of stressing factors such as pollution and vandalism (INFyS, 2012). In this case, the statistic that better explains the behavior of the data with a non-normal distribution was the median since if only the mean of the extreme values are included (0 to 100 %) they exert an influence in the value of this statistic for the sample. The median represented the middle point or 50 % percentile, which guarantees that half of the observations of the sample are below and the other half above it (Schomaker *et al.*, 2007).

From the presence of the dnc variable in the 50 percentile, it is explained that at least 50 % of the trees in each *Alameda* have 55 % of foliage, which defines them as not totally defoliated. Such amount of leaves has allowed them to survive and perform their functions correctly (Table 2). In trees with high dnc values (higher amount of foliage) it would be expected a growth, reproduction, vigor and survival potential higher than that of other trees with a smaller number of leaves (lower dnc values), which was observed in the *Alamedas Oriente* and *Sur*, where the maximum value for such variable was 95 % in *C. equisetifolia* and *F. uhdei*, respectively.

que indica que en estos parques fue menos frecuente encontrar árboles severamente dañados o en declinación (Cuadro 2). Los árboles con valores extremos fueron casos aislados con respecto al total de la muestra en los parques. Para la variable dnc, las Alamedas Oriente y Sur registraron un valor del percentil 90 de 65 %, lo que supone que los árboles muy densos son escasos dentro de la muestra evaluada (Randolph, 2006; Schomaker *et al.*, 2007).

The high trpf values indicate a loss of vigor of the growth potential, but a serious problem for the development of the tree is not apparent unless it loses half of its foliage or that the stressing factor that promotes such defoliation persists in more than one growth season (Schomaker *et al.*, 2007). In the *Alamedas*, the trpf values in the 50 percentile are located between 45 and 50 %; therefore, it was determined that the presence of stressing factors such as pollution, vandalism and insufficient maintenance

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos para las tres variables del indicador condición de copa en la Alameda Norte, la Alameda Sur y la Alameda Oriente del Distrito Federal.

Table 2. Describing statistics for the three variables of the crown condition indicator in *Alameda Norte*, *Alameda Sur* and *Alameda Oriente* of *Distrito Federal*.

Variables	N (*)	Media	Mediana	Des. est.	Asimetría	Kurtosis	Mínimo	Percentiles					Máximo
								10	25	50	75	90	
Alameda Norte													
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
Alameda Oriente													
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
Alameda Sur													
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

dnc = Densidad de copa; trpf = Transparencia de follaje; mr = Muerte regresiva.  
 Des. Est. = Desviación estándar  
 dnc = Crown density; trpf = Transparency of the foliage; mr = Crown dieback.  
 Des. est. = Standar deviation

La presencia de valores en todo el intervalo (0 a 100 %) se atribuyó a las características de cada especie forestal (edad del árbol, tipo de follaje), el elevado y continuo número de usuarios, y los diferentes programas de manejo y mantenimiento delegacional, lo que influye en el estado general e individual de los árboles.

El intervalo 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 más amplio fue de 10 % para la variable dnc en las Alamedas Norte y Oriente, y de 20 % para la Alameda Sur (Figura 3). Esto indica que dnc en las tres alamedas tuvo una distribución de los datos hacia la izquierda y cercanos al valor de la media y la mediana, es decir, valores entre 40 y 60 % (árboles poco densos) que se podrían considerar bajos pero que están asociados con los programas de manejo de los parques.

(PAOT, 2010; PAOT, 2011) have acted in a chronic way thus damaging the health of the trees, which is reflected in the high mr values.

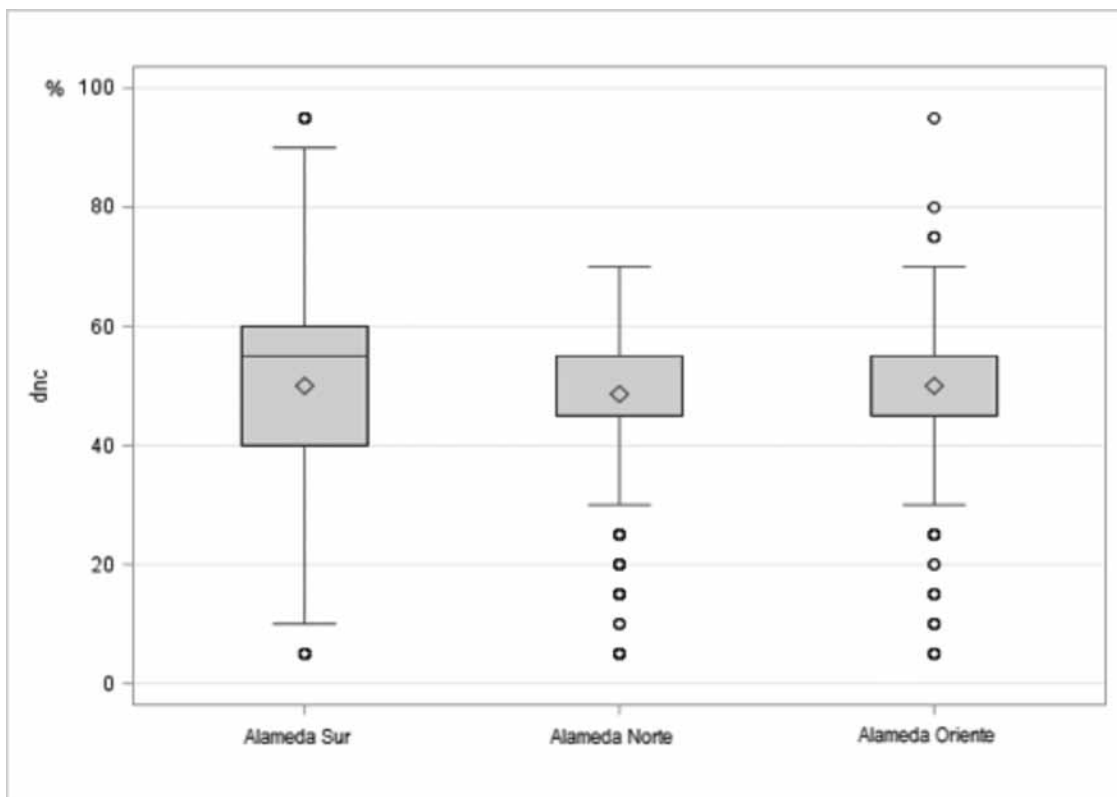
For the mr variable, 90 % of the trees (90 percentile) of the assessed trees in the *Alameda Norte* had 35 %, the highest compared to *Alameda Oriente* and *Alameda Sur*, which recorded 10 and 15 % in the same percentile, which means that in these parks it is less frequent to find severely damaged trees or in decline (Table 2). The trees with extreme values were isolated cases compared to the total of the sample in the parks. For the dnc variable, the *Alameda Oriente* and *Alameda Sur* showed a 90 percentile value of 65 %, which means that dense trees are scarce within the assessed sample (Randolph, 2006; Schomaker *et al.*, 2007).

The presence of the values in the whole range (0 to 100 %) was attributed to the characteristics of each forest species (age

Por ejemplo, las podas (de formación o de saneamiento) que no siempre se realizan correctamente; la forma y tamaño de las hojas, y el manejo por parte de los usuarios, en conjunto contribuyeron a las alteraciones en las formas naturales de las copas. Las plagas persistentes como el insecto chupador *Stenomacra marginella* Herrich-Schaeffer 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 se somete el arbolado (Cibrián *et al.*, 2000; Cibrián *et al.*, 2007; Chacalo y Corona, 2009; Loh *et al.*, 2003; Koeser *et al.*, 2013; Tovar, 2007). A pesar de la presencia crónica de estos factores estresantes, el arbolado con al menos 50 % de la copa viva (percentil 50); con valores de la variable dnc entre 40 y 60 % se considera suficiente para sobrevivir en condiciones urbanas y un buen estado general de salud.

of the tree, kind of foliage), the high and continuous number of visitors and the different management and maintenance plans of the Delegation, influences upon the general and individual condition of the trees.

The interquartile is a measure of data dispersal and is equal to the difference between the 25 and 75 percentile (Cochran, 2008). The widest interquartile range was 10 % for the dnc variable in *Alameda Norte* and *Alameda Oriente* and of 20 % for the *Alameda Sur* (Figure 3). This means that dnc in the three parks showed a distribution of the data towards the left and near the value of the mean and the median, that is, values between 40 and 60 % of dnc (poorly dense trees) parks.



La media y la desviación estándar consideran todos los árboles agrupados en las parcelas.

The mean and the standard deviation take all the trees grouped in the plots.

Figura 3. Variable densidad de copa (dnc) del indicador condición de copa en las Alamedas estudiadas del Distrito Federal.

Figure 3. Crown density variable (dnc) of the crown condition indicator in the Alamedas of Distrito Federal.

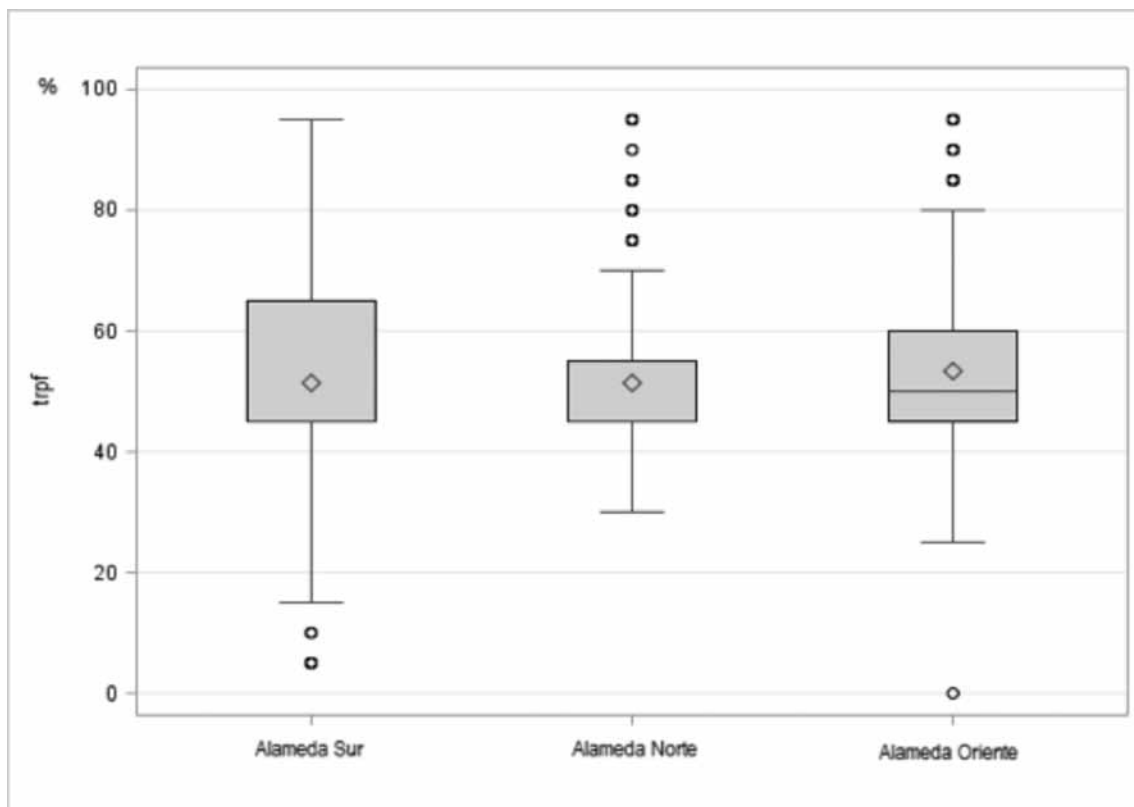
En contraste, la mayoría de los valores de la variable trpf se concentró en el rango de 40 a 60 %, con registro de valores de 0 a 100 % en algunos árboles (Figura 4). Los valores de trpf indicaron que en las alamedas existen árboles con suficiente follaje en las copas para realizar funciones de fotosíntesis y respiración, pero que no son lo suficientemente densas para

For example, prunings (shape and cleaning), that not only are performed in the right way; the shape and size of leaves and the management from the visitors all together helped to modify the natural shapes of the crowns. The persistent plagues such as the sucking insect *Stenomacra marginella* Herrich-Schaeffer, and the diseases of the foliage promote their shedding and they



interceptar el paso de la luz. Para interpretar la variable *trpf* se consideró que esta condición de la copa también se relaciona con factores externos estresantes o la edad del árbol: es común que los valores de *trpf* se incrementen o disminuyan como respuesta al ataque de plagas como insectos defoliadores (Cibrián *et al.*, 2000), sequías prolongadas, defoliación natural, actividades de poda e incluso vandalismo.

were taken as a direct result of the stressing conditions of the site and management to which the trees are subjected (Cibrián *et al.*, 2000; Cibrián *et al.*, 2007; Chacalo and Corona, 2009; Loh *et al.*, 2003; Koeser *et al.*, 2013; Tovar, 2007). In spite of the chronic presence of these stressing factors, the trees with at least 50 % of the live crown (50 percentile); with values of the *dnc* variable within the 40 - 60 % range is considered as satisfactory to survive under urban conditions and in good health in general.



La media y la desviación estándar consideran todos los árboles agrupados en las parcelas.  
 The mean and the standard deviation take all the trees grouped in the plots.

Figura 4. Variable transparencia de follaje (*trpf*) del indicador condición de copa en las Alamedas estudiadas del Distrito Federal.

Figure 4. Transparency of the foliage variable (*trpf*) of the crown condition indicator in the Alamedas of Distrito Federal.

Los principales factores que contribuyen a la pérdida de follaje durante la temporada de crecimiento son las plagas y enfermedades, lo cual puede reflejarse en las variaciones de los valores de *trpf*. Sin embargo, considerando el tamaño y tipo de especies en la muestra dentro de cada Alameda, para saber si esto contribuyó se requerirían más muestreos y una evaluación por especies forestales.

Por ejemplo, en estudios realizados en el sur de los Estados Unidos de América 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

In contrast, most of the values of the *trpf* variable are concentrated in the 40 to 60 % range, with a record of values from 0 to 100 % in some trees (Figure 4). The *trpf* values indicated that in the Alamedas there are trees with enough foliage in the crowns to perform photosynthesis reactions and respiration, but that are not dense enough to block the pass of light. In order to make an interpretation of the *trpf* variable it was considered that this crown condition is also related to external stressing factors or the age of the tree: it is not unusual that *trpf* values increase or diminish as a response to the attack of plagues as defoliating insects (Cibrián *et al.*, 2000), long droughts, natural defoliation, pruning and even vandalism.

realizó de forma individual (53 especies en total), la variación por especie fue más notoria. *Quercus laurifolia* Michx registró 13.4 % mientras que *Pinus virginiana* Millun 23.4 %, con intervalo 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 de Alameda ya que dentro de cada conglomerado se identificaron de tres a cinco especies diferentes.

En total, los valores para mr en las tres Alamedas fueron bajos, pero si se registraron árboles con valores muy altos (90 a 100 %), ejemplares donde el proceso de declinación era evidente. Dichos árboles se encontraron muertos en pie o afectados de forma severa por muérdagos, aunque fueron casos aislados con respecto al total de la muestra. Para esta variable se tomó en cuenta que el principal agente estresante en el arbolado fue el aspecto fitosanitario, además se consideró la época del año, el tipo de árbol (caducifolio o perennifolio), y otros factores de la misma índole como la sequía y el vandalismo, que afectaran el desarrollo del follaje nuevo y la cantidad de follaje maduro. El arbolado de la Alameda Oriente registró los valores más bajos de mr con mayor número de especies perennifolias, seguido por el de la Alameda Sur y la Alameda Norte con mayor diversidad de especies (perennifolias y caducifolias) y en el que se observaron más ejemplares con valores altos para mr (Figura 5).

Con respecto a los de la mediana, las cifras de mr fueron bajas en los tres sitios lo que hace suponer que la muestra evaluada reunía copas sanas y vivas en su mayoría. Los valores de mr sugieren algún tipo de estrés severo, daño crónico o agudo en los árboles 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 las ciudades, mr puede disminuir entre períodos de muestreo pues aunque los árboles pierden ramillas y ramas muertas dependiendo de la época del año (para los caducifolios) regeneran sus copas si los agentes estresantes se reducen o se eliminan, por lo que es común reconocer 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).

Las limitaciones para aplicar la metodología del indicador, en áreas naturales y áreas urbanas, sólo recaen en la percepción de los evaluadores y lo que cada uno considera el contorno de la copa para cada árbol (INFyS, 2012; Schomaker *et al.*, 2007). En los parques del Distrito Federal es frecuente encontrar árboles con formas de copa distintas a las naturales, que resultan del espacio de crecimiento reducido donde se desarrollan (banquetas angostas, interferencia con cables de luz y construcciones),

The major factors that help to lose foliage during the growing season are plagues and diseases, which might be reflected in the variations of the trpf values. However, considering the size and kind of species in the sample within each one of the Alamedas in order to know if this did help, more samplings will be necessary and an assessment for each forest species.

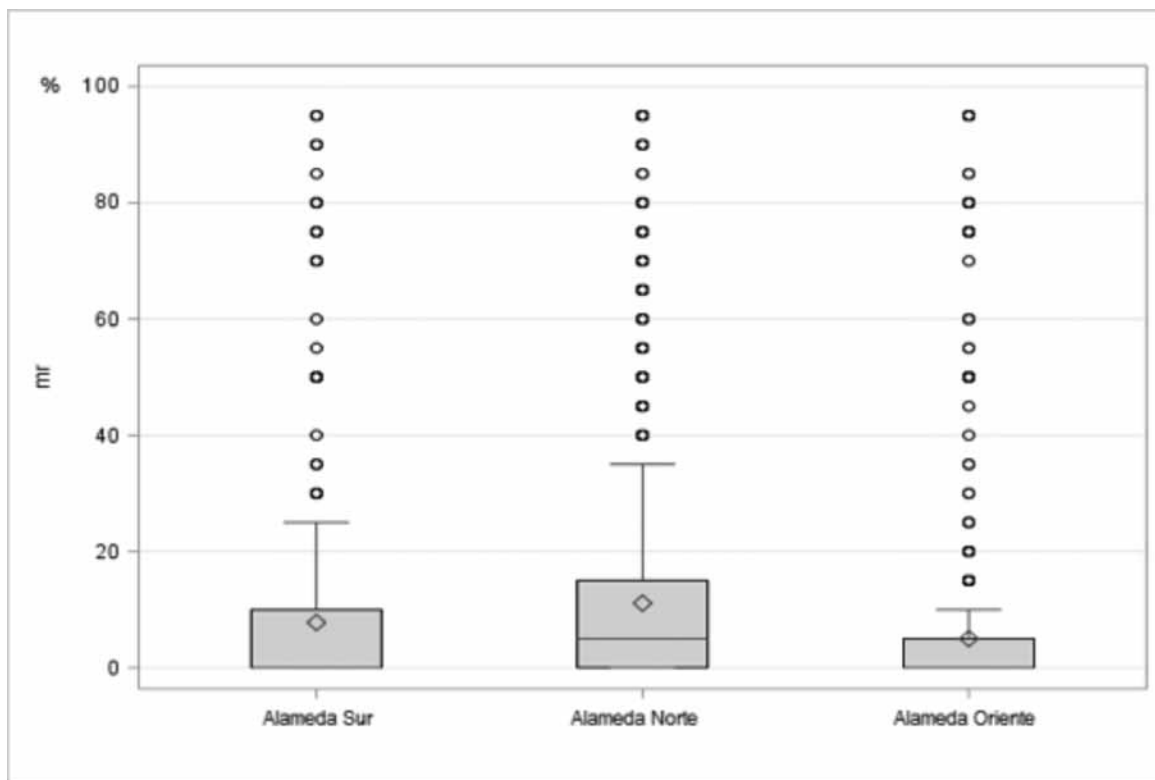
For example, in studies carried out in the South of the United States, it was observed that the average values of trpf were slightly higher in a group of forest species of soft wood (18.4 %) in regard to a group of hard woods (15.7 %). But when the analysis for trpf was made in an individual form (53 species total), the variation by species is more evident. For example, *Quercus laurifolia* Michx registered 13.4 % while *Pinus virginiana* Millun 23.4 %, with a range from 12.5 to 20 % total (Randolph, 2006). This very high variation did not allow the direct comparison of species since it is obvious that some will have a natural tendency to form more dense crowns than others, which also more complicated the analysis at the Alameda level, since inside each cluster were registered from three to five different species.

In total, the mr values in the three Alamedas were low, but trees with very high values were recorded (90 a 100 %), examples where decline is obvious. Such trees were found standing dead or severely damaged by mistletoes, even though they were isolated cases in regard to the total of the sample. For this variable it was taken into account that the main stressing agent of the trees was the phytosanitary aspect; also, the time of the year was considered, the kind of tree (deciduous or evergreen), and other stressing factors such as drought and vandalism, that would be affecting the development of the new foliage and the amount of the mature foliage. The trees of Alameda Oriente revealed the lowest values of mr with the greatest number of evergreen species, followed by Alameda Sur and Alameda Norte with a greater diversity of species (evergreen and deciduous) where more examples with high mr values were found (Figure 5).

In regard to the values of the median, the mr variable recorded low numbers in the three sites, which suggests that the assessed sample gathered mostly, healthy and live crowns. The mr ciphers described some sort of severe stress, chronic or intense damage on the trees such as diseases, meteorological phenomena or poor sites (scarce soil moisture or nutrient deficiencies), which makes of this variable something useful to infer, in a general way, the health of the trees. In the cities, mr may be reduced between sampling periods, since even if the trees lose their twigs and dead branches according to the time of the year (for deciduous), they regenerate their crowns if the stressing agents are diminished or removed, which it is rather common to determine variations in the numbers of the variable of the indicator along the sampling period, which makes it convenient to extend it to two or more growing cycles (FIA, 2012).

de las actividades de poda (topiarias, de formación, de saneamiento) y de los planes de mantenimiento, mejora y sustitución de arbolado que cada delegación establece (Gibrián *et al.*, 2007; NADF, 2006).

The limitations to apply the methodology of the indicator in natural and urban lands, only fall in the perception of the evaluators and that which each one considers the edge of the crown for each tree (INFyS, 2012; Schomaker *et al.*, 2007).



La media y la desviación estándar consideran todos los árboles agrupados en las parcelas.

The mean and the standard deviation include all the trees grouped in the plots.

Figura 5. Variable muerte regresiva (mr) del indicador condición de copa en las Alamedas estudiadas del Distrito Federal.

Figure 5. Crown dieback variable (mr) of the crown condition indicator in the Alamedas of Distrito Federal.

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 por la sobreposición de doseles como sucedió en la Alameda Norte, donde se dificultó la percepción de los evaluadores para las variables dnc y trpf, por lo que fue necesario aumentar la frecuencia de los muestreos para disminuir la posibilidad de una interpretación incompleta (FIA, 2012).

It is frequent to find in the parks of Mexico City trees with crown shapes different from those in nature, since they response to the limited growth space they have (narrow sidewalks, interference with light lines and buildings), of pruning activities (topiary, shape and cleansing) and of the maintenance, improvement and tree replacement plans of each Delegation (Gibrián *et al.*, 2007; NADF, 2006).

Algo semejante ocurre en una misma estación de crecimiento si se incrementa el espacio vital tras la muerte y remoción de árboles vecinos, cuando el árbol se recupera después de una defoliación severa por ataque de insectos, enfermedades del follaje que promueven su caída o plantas parásitas como los muérdagos (por ejemplo género *Cladocolea*) que limitan

When the plantation densities are very high, it is very usual that the edges of the trees or their ends of the crowns are not clearly visible at the same time from the overlaying of canopies as it happened in *Alameda Norte* where the appreciation of those in charge of the assessment became difficult for the dnc and trpf variables, which made it necessary to increase the frequency of samplings to reduce the possibility of a partial interpretation (FIA, 2012).

Something similar occurs in one same growth season if the vital space becomes larger after the death and removal of



la fotosíntesis (Alvarado, 2012; Cibrián *et al.*, 2000; Cibrián *et al.*, 2007). En la Alameda Sur, ejemplares de *Acer negundo* L. que se sometieron a podas intensas de saneamiento tras detectarse la presencia de plantas parásitas en las copas, registraron cambios en los valores de las variables.

La falta de nutrimentos y agua 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); esto hizo posible explicar la semejanza de los valores entre *trpf* y *dnc*, si se considera que en el Distrito Federal es común la escasez de agua, además de que, en ocasiones, la acumulación de humedad depende de la temporada e intensidad de las lluvias, que en los años recientes ha variado mucho. La mayoría de los árboles en las tres alamedas presentó valores promedio de *dnc* y valores bajos de *mr*, que permiten mantener un balance positivo entre la fotosíntesis y la respiración, excepto en aquellos ejemplares con evidentes daños por plagas (*S. marginella*), enfermedades del follaje, y muérdagos, o que fueron removidos por planes de manejo delegacionales enfocados en el rediseño para mejorar los espacios de recreación (Alvarado, 2012; Cibrián *et al.*, 2000; GDF, 2012; GDF, 2012a; GDF, 2012b).

La aplicación de estas variables en el arbolado urbano fue útil para estimar el estado de la copa e inferir su salud. Muchas especies en las ciudades se adaptan y sobreviven a las condiciones imperantes en dicho ambiente (contaminación, vandalismo, sequías, insuficiente nivel de nutrimentos), por lo que el análisis de la copa permitirá identificar los factores estresantes que provocan la respuesta medible por medio de las variables del indicador, y aunque proporcionan un punto de partida para dicha determinación, los problemas de salud específicos serán difíciles de evaluar si actúan de forma conjunta o si son poco evidentes (Randolph, 2005). La información también se podrá aprovechar para la selección de especies más convenientes para el Distrito Federal y, así, maximizar a largo plazo los beneficios de las áreas verdes (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 que contribuirán a obtener datos más precisos mediante el 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 en las que la hipótesis nula ( $H_0$ ) indica que no existen diferencias significativas entre los valores de las medianas, donde  $H_0 = \theta_1 = \theta_2 = \theta_3$  (Gaten, 2000).



neighboring trees, when the tree recovers after a severe defoliation from insect attack, foliage diseases that favor their shedding or parasite plants such as mistletoes (for example those of the *Cladocolea* genus) that limit photosynthesis (Alvarado, 2012; Cibrián *et al.*, 2000; Cibrián *et al.*, 2007). At the *Alameda Sur* some individuals of *Acer negundo* L. that were subjected to intense cleaning prunings after parasite plants were detected on the tree tops, there were changes in the values of the variables.

The lack of nutrients and water promote the loss of branches and twigs, thus creating spaces through which the light goes through the canopy or foliage still alive, of each example (FIA, 2012; Schomaker *et al.*; 2007); this made it possible to explain the similarity of the values between *trpf* and *dnc*, starting from the fact that in Mexico City it is very common that water is scarce in addition to an occasional moisture accumulation depending on the rainy season or on the intensity of rain, that in the last years has changed a lot. Most of the trees in the three parks showed *dnc* average values and low ones for *mr*, which favor a positive balance between photosynthesis and respiration, except for those individuals with evident damages caused by plagues (*S. marginella*), foliar diseases and mistletoes, or that were removed by the Delegation management plants focused on redesigning to improve recreational spaces (Alvarado, 2012; Cibrián *et al.*, 2000; GDF, 2012; GDF, 2012a; GDF, 2012b).

The application of these variables to the urban trees was useful to make an estimation of the crown and infer its sanity by this means. Many species in the cities adapt and survive to the prevailing conditions in such environment (pollution, vandalism, drought, not enough amount of nutrients); thus, the analysis of the crown will allow to identify the stressing factors that provoke the measurable response by means of the variables of the indicator, and even though they provide a starting point for such determination, the specific health problems will be difficult to assess if they act together or if they are not evident (Randolph, 2005). This information can be used as well for the selection of species that are more suitable for *Distrito Federal*, and, thus, maximize on a long run, the benefits of the green areas (FIA, 2012; Stoffberg *et al.*, 2008). In the *Alamedas* this forces to make a continuous assessment of the trees in order to detect the first decline signs that will contribute to get more precise data by means of the crown condition indicator and its variables.

### Statistical comparison of the crown condition

The variables of the crown condition indicator were analyzed as independent categories where the null hypothesis ( $H_0$ ) indicates that there are no significant differences between the values of the medians where:  $H_0 = \theta_1 = \theta_2 = \theta_3$  (Gaten, 2000). According to the Kruskal-Wallis test to compare the  $n$  independent samples, the significance value for the *dnc* and *mr* variables is

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 implica que  $H_0$  se rechaza, ya que hay diferencias significativas entre los grupos de valores y sus medianas entre las tres Alamedas.

De forma individual, el valor del intervalo registrado para la Alameda Oriente indica un comportamiento superior con respecto a la variable *dnc*, sitio en donde se ubicó a los árboles con mayores densidades de copa (valores más altos de *dnc* y valores más bajos para *mr*), y, por lo tanto, en mejor condición general de salud (Randolph, 2006). En la variable *trpf*, aunque no hubo diferencias estadísticas significativas entre las Alamedas, de acuerdo con esta prueba, los valores más bajos se registraron en la Alameda Norte, lo que se relaciona 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 3).

lower than 0.0001, which means that  $H_0$  is not accepted, since significant differences are found among the value groups and their medians among the three Alamedas.

Individually, the range value recorded for Alameda Oriente suggests a better behavior of *dnc*, where the trees with highest crown density were found (higher *dnc* values and lower *mr* values), and therefore, in a better general health condition (Randolph, 2006). In the *trpf* variable, even though there were not statistic significant differences among the parks, according to this test, the lowest values were in Alameda Norte, which can be related to the smaller amount of light that goes through foliage from the high plantation densities in each site of the sample (proper to this park), where the canopies are closer and do not allow so much natural pass of light (Table 3).



Cuadro 3. Resultados y estadísticos de contraste para la prueba de *Kruskal-Wallis* en las Alamedas estudiadas del Distrito Federal. Table 3. Results and contrast statistics for the *Kruskal-Wallis* test in the Alamedas of Distrito Federal.

Variable	Parque	N	Rango promedio
<i>dnc</i>	Alameda Sur	896	1 885.51
	Alameda Norte	1 976	1 896.50
	Alameda Oriente	996	2 053.97
<i>mr</i>	Alameda Sur	896	2 004.34
	Alameda Norte	1 976	2 093.26
	Alameda Oriente	996	1 556.70
<i>trpf</i>	Alameda Sur	896	1 990.73
	Alameda Norte	1 976	1 904.06
	Alameda Oriente	996	1 944.30

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

<sup>a</sup> Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ ; <sup>b</sup> *dnc* = Densidad de copa; *mr* = Muerte regresiva; *trpf* = Transparencia de follaje.

<sup>a</sup> Level of significance  $\alpha = 0.05$ ; <sup>b</sup> *dnc* = Crown density; *mr* = Crown dieback; *trpf* = Foliage transparency.



Cuadro 4. Intervalos y estadísticos de contraste para la prueba U de Mann-Whitney en Alamedas del Distrito Federal.  
Table 4. Ranges and contrast statistics for the U-Mann-Whitney in Alamedas of Distrito Federal.

Variable	Parque	Rango promedio	Suma de rangos	Parque	Rango promedio	Suma de rangos	Parque	Rango promedio	Suma de rangos
	Primer contraste			Segundo contraste			Tercer contraste		
dnc	AS	1 428.62	1 280 042	AS	905.40	811 234	AN	1 444.92	2 855 165
	AN	1 440.07	2 845 587	AO	983.48	979 544	AO	1 568.99	1 562 714
mr	AS	1 393.95	1 248 977	AS	1 058.89	948 768	AN	1 625.97	3 212 913
	AN	1 455.80	2 876 652	AO	845.39	842 010	AO	1 209.80	1 204 966
trpf	AS	1 476.66	1 323 087	AS	962.57	862 460	AN	1 474.27	2 913 166
	AN	1 418.29	2 802 541	AO	932.05	928 318	AO	1 510.76	1 504 712
Estadísticos de contraste									
	Primer contraste (AS-AN)			Segundo contraste (AS-AO)			Tercer contraste (AO-AN)		
	dnc	mr	trpf	dnc	mr	trpf	dnc	mr	trpf
U de Mann-Whitney	878 185.5	847 120.5	849 265	409 378	345 504	431 812	901 888.5	708 459.5	959 890
Z	-0.349	-1.925	-1.787	-3.143	-9.274	-1.23	-3.809	-13.213	-1.125
Sig. Asintótica	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>

dnc = Densidad de copa; mr = Muerte regresiva y trpf = Transparencia de follaje; AS = Alameda Sur; AN = Alameda Norte; AO = Alameda Oriente.

<sup>a</sup> Level of significance  $\alpha = 0.05$ ; <sup>b</sup>

dnc = Crown density; mr = Crown dieback; trpf = Foliage transparency; AS = Alameda Sur; AN = Alameda Norte; AO = Alameda Oriente.

En la prueba de U-Mann-Whitney se observaron resultados similares a la prueba de Kruskal-Wallis (Cuadro 4). La hipótesis nula ( $H_0$ ) establecía que no existirían diferencias entre los valores de las medianas para cada variable del indicador, entre las tres alamedas ( $H_0 = \theta_{AS} = \theta_{AN}$ ) (Gaten, 2000). 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 existieron diferencias significativas entre los valores de mediana de cada variable, entre las 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 para mr (0.054) puede interpretarse como una diferencia poco significativa entre las Alamedas Norte (AN) y la Sur (AS), pero con el valor del intervalo se explica que el mr en AN fue superior con respecto a AS, donde se registró mayor número de ejemplares afectados por altas densidades de plantación y presencia de plagas y enfermedades, aunque de acuerdo con los valores para dnc, reúne un arbolado con copas más densas.

En el segundo contraste (AS-AO), donde  $H_0 = \theta_{AS} = \theta_{AO}$ , los valores de significancia fueron menores a  $\alpha = 0.05$  (dnc = 0.002 y mr = 0.000) por lo que  $H_0$  se rechazó. Esto se explica como la existencia de diferencias significativas entre las medianas de las dos variables. En trpf el valor del estadístico de 0.219 fue superior a  $\alpha = 0.05$ , por lo que se acepta  $H_0$ , lo que indica

In the U-Mann-Whitney test were observed similar results to the Kruskal-Wallis test (Table 4). The null hypothesis ( $H_0$ ) established that there were no differences among the values of the medians for each variables of the indicator, among the three parks ( $H_0 = \theta_{AS} = \theta_{AN}$ ) (Gaten, 2000). In the first contrast (AS-AN), the significance value for the variables were: dnc = 0.727, mr = 0.054 and trpf = 0.074, above the established value of  $\alpha = 0.05$ , and thus  $H_0$  is not rejected. This means that there were no significant differences among the median values of each variable, between the two parks. The values that were recorded for the trees were different by geographic location, differences among trees (species and tree age) and maintenance programs of each park. The mr value (0.054) can be interpreted as a difference slightly significant between Alameda Norte and Alameda Sur, but with the value of range it can be explained that with the mr value in AN was higher than in AS, where there was a greater number of trees affected by the high plantation densities as well as by the presence of plagues and diseases, even though, according to the values of dnc, it has trees with more dense crowns.

In the second contrast (AS-AO), where  $H_0 = \theta_{AS} = \theta_{AO}$ , the significance numbers were under  $\alpha = 0.05$  (dnc = 0.002 and mr = 0.000) which made that  $H_0$  was not accepted. This was explained as the existence of significant differences between the medians of the two variables. In trpf, the statistic was 0.219 and over  $\alpha = 0.05$ , thus accepting  $H_0$ , which meant that there were no significant differences between the median numbers.

que entre los valores de medianas no existieron diferencias significativas. De acuerdo con los valores del intervalo, el arbolado de la Alameda Oriente (AO) registró valores más altos para dnc y los valores más bajos para mr y trpf, con respecto a Alameda Sur lo que indicó una condición buena 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 del estadístico de contraste para dnc y mr fueron menores a  $\alpha = 0.05$  (<0.000 en ambas variables) por lo que se rechazó  $H_0$ . Esto sugiere que existían diferencias significativas entre los valores de las medianas. Para trpf el valor del estadístico 0.261 fue mayor que el  $\alpha = 0.05$  establecido, por lo que  $H_0$  no se rechazó, lo que quiere decir que el valor de las medianas son estadísticamente similares entre la Alamedas Norte y la Oriente. De acuerdo con los valores del intervalo y los lineamientos del indicador, la mejor condición general de salud para el arbolado de la Alameda Oriente, que presentó los intervalos superiores para dnc (1 568.99) y trpf (1 510.76), y el valor inferior para mr (1 209.80), probablemente porque la especie predominante (*Casuarina equisetifolia*) es perennifolia y suele tener un follaje que permite 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. El arbolado de Alameda Norte registró los valores superiores de mr, por lo que su condición general de salud se consideró como la más pobre de las tres Alamedas.

### Estado general de salud del arbolado

La evaluación del indicador condición de copa en bosques del sur de los Estados Unidos de América (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: de 10 a 20 % se consideraron como condición de copa pobre; de 25 a 50 %, como condición de copa promedio y, de 55 a 100 % como condiciones de copa buenas. Con base en estas categorías, las tres Alamedas tuvieron medianas de 55 %, lo que las ubica dentro de la categoría "buena condición de copa". Si se analiza el valor de las medias y sus desviaciones estándar, habría que tomar en cuenta de forma individual e interespecífica los estadísticos descriptivos para emitir el diagnóstico correspondiente, pues como ya se ha reportado, existieron árboles con valores máximos y mínimos posibles entre 0 y 100 %. Antes de emitir una valoración final debe considerarse que mr y su relación con dnc es un factor importante que se debe incluir.

El valor más alto para mr fue 35 %, en las Alamedas Sur y Norte. Cuando los umbrales se establecen, con el transcurso

According to the values of the range, the trees of the *Alameda Oriente*, dnc was higher and mr and trpf were lower in regard to the *Alameda Sur*, which suggests a good crown condition following the classification categories established in previous works (Randolph, 2006; Schomaker *et al.*, 2007).

In the third contrast (AN-AO) where  $H_0 = \theta_{AN} = \theta_{AO}$ , the values of the contrast statistic for dnc and mr were lower than  $\alpha = 0.05$  (<0.000 for both variables) so  $H_0$  is rejected. This suggests that there are significant differences between the median values. For the statistical value of trpf 0.261, it was greater than the established  $\alpha = 0.05$ , so  $H_0$  is not rejected, which means that the value of the medians are statistically similar between the *Alameda Norte* and the *Alameda Oriente*. According to the range values and guidelines of the indicator, the better overall health for the woodland was *Alameda Oriente*, which gathered the highest ranges for dnc (1 568.99) and trpf (1 510.76), and the lower value for mr (1 209.80), probably because the predominant species (*Casuarina equisetifolia*) is evergreen and its foliage usually allows greater passage of the incident light (Randolph, 2006; Valdés *et al.*, 2004). The results of the nonparametric tests indicated that the *Alameda Oriente* has a better general condition of the crown, with the lowest values of crown dieback. The trees of *Alameda Norte* recorded the highest values of mr, so that their overall health condition was considered as the poorest of the three parks.

### General health state of the trees

The assessment of the crown condition indicator of the forests at the south of the United States of America (Randolph, 2006) made it possible to establish thresholds of classification of the general health state from the dnc values (medians) as follows: from 10 to 20 % they were considered as a poor crown; from 25 to 50 %, as average crown condition and from 55 to 100 %, as good crown conditions. Based upon these categories, the three *Alamedas* had medians of 55 %, which places them in the "good crown condition". If the value of the means and their standard deviations are analyzed, it should be taken into account individually and in an interspecific way, the descriptive statistics to make the corresponding diagnosis, since, as it has already been reported, there were trees with maximum and minimum possible values between 0 and 100 %. Before a final valuation, it must be considered that mr and its relation to dnc is an important factor that must be included.

The highest value for mr was 35 % in the *Alameda Sur* and *Alameda Norte*. When the limits are established, as time goes by, the dnc values diminish with a tendency to the category of poor crown condition, which is interpreted as a decline in the health of the trees, but that it might be due to one of the aforementioned factors; if species with better crown conditions than others are found, it will become difficult to detect the specific decline for one genus or species.

del tiempo los valores de dnc disminuyen con una tendencia a la categoría de condición pobre de copa, lo que se interpreta como una declinación en la salud del arbolado pero que tal vez se deba 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 situaciones 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 la evapotranspiración y la fotosíntesis. Aunque los árboles han desarrollado mecanismos de adaptación que les permiten sobrevivir en condiciones de sitio pobres, si la forma natural de su copa se modifica, dichos procesos se ven afectados. El estado general de salud del arbolado en las tres alamedas queda comprendido en la categoría de buena condición de copa, con valores promedio para la variable densidad de copa y bajos para la muerte regresiva.

En la Alameda Oriente, el arbolado presentó los valores más altos para la primera variable e inferiores para la segunda, por lo que se consideró a este parque con los árboles más sanos. La Alameda Sur registró números intermedios, mientras que en la Alameda Norte, fueron más bajos para densidad de copa; se infiere que aquí se verificaron uno o más factores estresantes que influyeron en el estado general de salud, lo que se reflejó en cifras elevadas de muerte regresiva en el estudio realizado. Por lo tanto, el indicador condición de copa y sus tres variables permitieron hacer un diagnóstico general del estado de salud de los árboles de forma útil y sencilla, por lo que su aplicación futura en la zona urbana del Distrito Federal es factible. 🌿

## Agradecimientos

El estudio actual estuvo financiado por el 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 Distrito Federal, con el apoyo de las Delegaciones Azcapotzalco, Coyoacán e Iztacalco. Se agradece la participación del Dr. José Luis García Cué y del Dr. Dionisio Alvarado Rosales, profesores investigadores del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México.

A second limitation to use only the good, average and poor categories is that the information of the examples with extreme values (data at the tails of the probability distribution), are lost when the data are grouped into a few categories. In an urban environment, the dynamics of the forest or the trees is conditioned by the programs of management and maintenance practices, according to the Delegation, which makes it even more difficult to keep a record of each species through its growth station.

## Conclusions

The low values of the crown density values are related with scarce crowns and poorly dense foliage with a reduction of evapotranspiration and photosynthesis. Even though the trees have developed adaptation mechanisms that allow them to survive under poor site conditions, if the natural shape of their crowns is changed, those processes are affected. The general health state of the trees in the three parks is classified under the good crown condition category, with average values for the density of crown and low for dieback crown.

The trees of *Alameda Oriente* showed the highest values for the first variable and low for the second, which led to consider this park as the one that gathers the healthiest of them. *Alameda Sur* showed in-between numbers, while in *Alameda Norte*, there were the lowest for crown density; it is inferred that here occurred stressing factors that influenced upon the general health state, which was reflected on high ciphers of crown dieback in this study. Therefore, the crown condition indicator and their three variables made it possible to make a general diagnosis of the health state of trees in an easy and useful way, which their future application in the urban zone of *Distrito Federal* is feasible. 🌿

## Acknowledgements

The actual study was sponsored by the Project Number 120593 "Evaluación del impacto de la contaminación del aire en zonas boscosas y agrícolas rurales y urbanas del Distrito Federal" of the Fondo Mixto Conacyt-Gobierno del Distrito Federal, with the support of the Delegaciones Azcapotzalco, Coyoacán e Iztacalco. Thanks to Dr. José Luis García Cué and to Dr. Dionisio Alvarado Rosales, professors and researchers of Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México.

*End of the English version*





## Referencias

- Alvarado R., D. 2012. Enfermedades de actualidad en los bosques y arbolado urbano de la Ciudad de México. In: Islas de Bauer, Ma. de L. (comp.). Deforestación, desertificación y reforestación. Comité de Acción para el Saneamiento del Ambiente (CASA). México, D.F., México. pp. 55-74.
- Canadian Forest Service (CFC). 2004. EMAN monitoring protocols and standards. Brochure: Tree Health. Sault Ste. Marie, Ontario, Canada. 28 p.
- Chacalo H., A. y V. Corona N. E. 2009. Árboles y arbustos para ciudades. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. México, D.F., México. 600 p.
- Cibrián T., D., J. T. Méndez M., R. Campos B., H. O. Yates y J. Flores L. 2000. Insectos forestales de México. Universidad Autónoma Chapingo. USDA Forest Service. Texcoco, Edo. de Méx., México. 453 p.
- Cibrián T., D., D. Alvarado R. y S. E. García D. (eds.). 2007. Enfermedades forestales de México. Universidad Autónoma Chapingo. USDA Forest Service. Texcoco, Edo. de Méx., México. México. 587 p.
- Cochran, W. 2008. Diseños experimentales. Ed. Trillas. México, D. F., México. 661 p.
- Forest Inventory and Analysis National Program (FIA). 2012. Forest health indicators: crown condition method guide (Version 3.0-2005). <http://www.fia.fs.fed.us/program-features/indicators/crown/default.asp> (23 de noviembre de 2012).
- Gaten, T. 2000. *Kruskal-Wallis* non-parametric ANOVA. On line Statistics. University of Leicester. Leicester, UK. <http://www.le.ac.uk/bl/gat/virtuallfc/Stats/kruskal.html> (22 de octubre de 2013).
- Gobierno del Distrito Federal (GDF). 2010. Delegación Azcapotzalco: Programa de Gobierno Delegacional 2009-2012. México, D. F., México. 83 p.
- Gobierno del Distrito Federal (GDF). 2011. Ecoturismo. Secretaría de Turismo. <http://www.mexicocity.gob.mx/> (23 de julio de 2012).
- Gobierno del Distrito Federal (GDF). 2012. Estudio base para el manejo de arbolado urbano infestado por muérdago. Dirección de reforestación urbana, parques y ciclovías. <http://www.sma.df.gob.mx/drupc/index.php?opcion=15> (20 de junio de 2012).
- Gobierno del Distrito Federal (GDF). 2012a. Historia: Alameda Central. Secretaría del Medio Ambiente. [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) (22 de noviembre de 2012).
- Gobierno del Distrito Federal (GDF). 2012b. Historia: Alameda Oriente. Secretaría de Obras y Servicios. [http://www.obras.df.gob.mx/?page\\_id=998](http://www.obras.df.gob.mx/?page_id=998) (16 de junio de 2012).
- Gobierno del Distrito Federal (GDF). 2013. Nota 69. Primer informe de actividades <http://coyoacan.df.gob.mx/Prensa/2013/nota69.html> (22 de enero de 2013).
- Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFiS). 2012. Indicador Condición de Copa. Sistema Nacional de Información Forestal <http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/infys/temas/documentos-metodologicos> (25 de junio de 2013).
- Koeser, A., R. Hauer, K. Norris and R. Krouse. 2013. Factors influencing long-term street tree survival in Milwaukee, WI, USA. *Urban Forestry & Urban Greening* 2(4): 562-568.
- 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 Forestry & Urban Greening* 2(1):53-62.
- Martínez G., L. 2008. Árboles y áreas verdes urbanas. Fundación Xochitla. México, D.F., México. 549 p.
- Martínez G., L. y A. Chacalo H. 1994. Los árboles de la Ciudad de México. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. México, D.F., México. 351 p.
- Norma Ambiental para el Distrito Federal. (NADF). 2006. 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. <http://centro.paot.org.mx/index.php/marconormativo/normasdf> (13 de julio de 2013).
- Nowak, D. J., D. E. Crane and J. C. Stevens. 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening* 4(3-4):115-123.
- 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. México, D. F., México. 260 p.
- Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial (PAOT). 2011. Diagnóstico fitosanitario del arbolado de Alameda Oriente. Gobierno del Distrito Federal. Reporte. México, D.F., México. 31 p.
- Randolph, K. C. 2005. A comparison of tree crown condition in areas with and without gypsy moth activity. In: Proceedings of the Seventh Annual Forest Inventory and Analysis Symposium. October 3-6, 2005. Portland, ME, USA. Vol. 1. pp. 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. Southern Station, Knoxville, TN, USA. 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. Asheville, NC, USA. Report SRS-102. 78 p.
- Smiley, E. T., L. Calfee, B. R. Fraedrich and E. J. Smiley. 2006. Comparison of structural and non-compacted soils for trees surrounded by pavement. *Arboriculture & Urban Forestry* 32(4): 164-169.
- Statistical Analysis System (SAS). 2002. Statistical Analysis System Ver. 9.0. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. s/p.
- Statistical Analysis System (SAS). 2011. Statistical Analysis System Ver. 9.3. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. s/p.
- Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). 2006. Statistical Package for the Social Sciences Ver. 15. IBM, Armonk, NY, USA. s/p.
- 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 Forestry & Urban Greening* 7(4):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.
- United States Forest Service (USDA). 2010. I-Tree User's Manual. Version 3.1. [www.itreetools.org](http://www.itreetools.org) (28 de abril de 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.



