

Identification of defects and risks in trees of San Juan de Aragon Forest, Mexico City

Identificación de defectos y riesgos en el arbolado del Bosque de San Juan de Aragón, Ciudad de México

Luz de L. Saavedra-Romero¹; Dionicio Alvarado-Rosales¹; Tomás Martínez-Trinidad^{2*}; Patricia Hernández-de la Rosa²

Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, ¹Posgrado en Fitosanidad-Fitopatología,

²Posgrado en Ciencias Forestales. Carretera México-Texcoco km 36.5. C. P. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

*Corresponding author: tomtz@colpos.mx, tel.: +52 (595) 952 0246.

Abstract

Introduction: Urban forests require an assessment of their trees' structural defects, as well as the risk they represent.

Objective: To identify the defects and risks of the trees in San Juan de Aragon Forest in Mexico City.

Materials and methods: Twenty-eight circular plots of 0.1 ha were randomly established. Diameter at breast height, total height and slenderness index were measured in each tree. Structural defects were identified and a risk rating (RR) was obtained at the individual, species and section level using the methods of Matheny and Clark, and Dunster.

Results and discussion: Of the 760 trees evaluated, *Casuarina equisetifolia* L., *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. and *Hesperocyparis lusitanica* Mill. were the most frequent species with diameter classes from 7.6 to 15.1 cm, heights from 5.1 to 10 m and slenderness index from 26 to 75. Structural damage was identified in 38.7 % of the trees: lean (18.8 %), cankers (15.4 %), epicormic shoots (14.4 %), dead branches (9.9 %), tumors (9.2 %) and cavities (6.2 %). *Casuarina equisetifolia* and *Schinus molle* had the highest number of defects. With the Matheny and Clark method, 83.9 % of the trees had a low RR, 14.7 % a medium RR and 1.4 % a high RR; with Dunster's method, 88.1 % had a low RR, 11.3 % a medium RR and 0.68 % a high RR.

Conclusion: The procedures for evaluating and identifying trees at risk of failure allowed recognizing their main structural defects in a simple way.

Keywords: urban forest; structural damage; Matheny and Clark method; Dunster method.

Resumen

Introducción: Los bosques urbanos requieren de la evaluación de los defectos estructurales de su arbolado, así como del riesgo que representan.

Objetivo: Identificar los defectos y riesgo del arbolado del Bosque de San Juan de Aragón en la Ciudad de México.

Materiales y métodos: Se establecieron, aleatoriamente, 28 parcelas circulares de 0.1 ha. El diámetro normal, altura total e índice de esbeltez se midieron en cada árbol. Los defectos estructurales se identificaron y una calificación de riesgo se obtuvo a nivel individual, por especie y sección, usando los métodos de Matheny y Clark, y de Dunster.

Resultados y discusión: De los 760 árboles evaluados, *Casuarina equisetifolia* L., *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. y *Hesperocyparis lusitanica* Mill. fueron las especies más frecuentes con clases diamétricas de 7.6 a 15.1 cm, alturas de 5.1 a 10 m e índice de esbeltez de 26 a 75. Se identificaron daños estructurales en 38.7 % de los árboles: inclinación (18.8 %), cáncros (15.4 %), brotes epicórmicos (14.4 %), ramas muertas (9.9 %), tumores (9.2 %) y cavidades (6.2 %). *Casuarina equisetifolia* y *Schinus molle* tuvieron el mayor número de defectos. Con el método Matheny y Clark, 83.9 % de los árboles tuvieron calificación de riesgo bajo, 14.7 % de riesgo medio y 1.4 % de riesgo alto; mientras que con el método de Dunster, 88.1 % fueron de riesgo bajo, 11.3 % de riesgo medio y 0.68 % de riesgo alto.

Conclusión: Los procedimientos para la evaluación e identificación de árboles de riesgo permitieron identificar sus principales defectos estructurales de manera sencilla.

Palabras clave: bosque urbano; daño estructural; método Matheny y Clark; método Dunster.

Introduction

Trees in public and private forests are often in an advanced and unmanaged state of maturity and therefore pose a risk to goods and people (Koeser & Smiley, 2017). Despite this, a high percentage of the users of green areas (urban forest, peri-urban or camping areas) are convinced that all trees, regardless of their age, location and, in particular, their health, should be kept intact for the benefits they bring. Unfortunately, users do not consider the high cost of preserving them due to the lack of maintenance (Hauer, Vogt, & Fischer, 2015; Ryder & Moore, 2013), or, more importantly, the danger of protecting and conserving individuals at risk of failure (Harris, Clark, & Matheny, 2003). Various forest and park agencies have developed monitoring programs focused especially on recreational areas in order to provide a safe environment for visitors and property (United States Department of Agriculture [USDA], 2014).

The degree of risk of a tree is characterized by structural instability, the size or part of the tree at risk of failure, and its location relative to people or material goods, which are known as targets (Matheny & Clark, 1994). Trees with failure potential include: dead or decaying trees; dead parts attached to living trees (stumps or branches); and trees that are unstable because of a defect in their structure. In this sense, the term “defect” refers to any perceptible characteristic in the tree that contributes to the weakening of its structure and the increase in its potential to fail (Meilleur, 2006). A risk event can cause damage to property, or injure or kill people, especially when the tree obstructs a critical viewing radius, as occurs on highways (Dunster, Smiley, Matheny, & Lilly, 2013).

Tree risk assessments are based on identifying and assessing structural condition to assess failure potential (Matheny & Clark, 2009). The magnitude of the damage caused will depend on the tree species, and the size and location of the defect(s); age is a factor that increases risk. The presence of co-dominant trunks (multiple leaders), large branches arising near the same level in a trunk and branches with weak joints are the most frequent causes of branch breakage (Meilleur, 2006). Leaning individuals may or may not be considered hazardous, depending on the origin of their defect (Dunster et al., 2013); that is, a tree that has grown leaning for most of its life will form compression or tension wood in the trunk, depending on the species (Meilleur, 2006), and a strong root system to compensate for the lean; however, trees that grew vertically, but were subsequently bent by wind, root rot or competition, will have a damaged or unbalanced anchorage system and little resistance to support their own weight (Harris et al., 2003). Other factors that may

Introducción

Los árboles de bosques públicos y privados se encuentran, frecuentemente, en un estado de madurez avanzado y sin manejo, por lo que representan un riesgo para bienes y personas (Koeser & Smiley, 2017). A pesar de esto, un porcentaje alto de usuarios de las áreas verdes (bosques urbanos, periurbanos o áreas de campamento) están convencidos de que todos los árboles, independientemente de su edad, ubicación y en especial de su salud, deben mantenerse intactos por los beneficios que aportan. Desafortunadamente, los usuarios no consideran el alto costo que genera preservarlos debido a la falta de mantenimiento (Hauer, Vogt, & Fischer, 2015; Ryder & Moore, 2013), pero en especial, el peligro que encierra proteger y conservar individuos con un riesgo potencial de caer (Harris, Clark, & Matheny, 2003). Diversas agencias forestales y de parques han desarrollado programas de monitoreo centrados especialmente en áreas recreativas con el propósito de ofrecer un ambiente seguro para los visitantes y la propiedad (United States Department of Agriculture [USDA], 2014).

El grado de riesgo de un árbol se caracteriza con base en la inestabilidad estructural, el tamaño o parte del árbol por caer y su ubicación respecto a las personas o bienes materiales, a los cuales se les conoce bajo los nombres de objetivo de impacto o blanco de impacto (Matheny & Clark, 1994). Los conocidos como “árboles de riesgo” incluyen: árboles muertos o en declinación; partes muertas adheridas a árboles vivos (muñones o ramas); y árboles inestables a causa de un defecto en su estructura. En este sentido, el término “defecto” se refiere a cualquier característica perceptible en el árbol que contribuya al debilitamiento de su estructura y al incremento de su potencial de caída (Meilleur, 2006). Un evento de riesgo puede ocasionar daños en la propiedad, o bien, lesionar o matar personas, especialmente cuando el árbol obstruye un radio de visión crítico, como ocurre en las autopistas (Dunster, Smiley, Matheny, & Lilly, 2013).

La evaluación de árboles de riesgo tiene por sustento identificar y calificar su condición estructural con el fin de determinar su probabilidad de caída (Matheny & Clark, 2009). La magnitud del daño ocasionado dependerá de la especie arbórea, de las dimensiones y la ubicación del o los defectos; la edad es un factor que incrementa el riesgo. La presencia de troncos codominantes (liderazgo múltiple), ramas grandes que surgen cerca del mismo nivel en un tronco y ramas con uniones débiles son las causas más frecuentes de ruptura de ramas (Meilleur, 2006). Los individuos inclinados se pueden considerar de riesgo o no, dependiendo del origen de su defecto (Dunster et al., 2013); es decir, un árbol que ha crecido inclinado la mayor parte de

reduce stability are wood decay fungi (Luley, Nowak, & Greenfield, 2009) and insects that feed on living and dead tissues (Vogt, Hauer, & Fischer, 2015).

Several methods have been developed to evaluate risk trees in order to guide professionals (arborists, urban foresters and maintenance personnel) in the proper inspection of a tree (Bellet-Travers, 2010) and in the identification of factors that influence the perception of risk (Koeser, Klein, Hasing, & Northrop, 2015). In this sense, the present study aimed to identify the defects in trees and the risk they pose in San Juan de Aragon Forest, one of three parks of greatest environmental importance for Mexico City.

Materials and methods

Study area

The study was conducted from April to July 2014 in the park called San Juan de Aragon Forest (BSJA for its initials in Spanish), located in northeastern Mexico City (19° 27' 32" N and 99° 04' 17" W). In 2008, 55 years after its creation, the BSJA was declared an area of environmental value (Gaceta Oficial de la Federación, 2018); despite this, there is no formally published information on cultural management activities such as fertilization and irrigation. Currently, the forest has 114 ha of wooded areas and other vegetation, divided according to use and infrastructure into 14 sections, of which 10 were included in the present research (B, C, E, F, G, H, J, K, L and M) (Saavedra-Romero et al., 2016) (Figure 1). For each section, a sampling intensity of 2.5 % was applied, recommended by Schreuder, Ernst, and Ramírez-Maldonado (2004), resulting in 28 circular study plots of 0.1 ha. The geolocation of each plot was recorded and all trees within its boundaries were numbered clockwise, starting from the north. The species of each individual was recorded, and the diameter at breast height (DBH) and total height (m) were obtained with a measuring tape and a Haga altimeter, respectively. In the office, the slenderness index (SI) was determined using the formula $SI = \text{Height}/\text{DBH}$ (Dunster et al., 2013).

Tree defect identification and risk assessment

The methods of Matheny and Clark (1994, 2009) and Dunster et al. (2013) were used to identify and assess trees with failure potential in the BSJA. Each tree in the study plots was visually inspected upwards (root/root collar/trunk/branches/foilage) and with a 360° displacement to obtain a complete perspective of the individual; structural defects were identified by the codes established by the authors. This activity was carried out only once.

su vida formará madera de compresión o tensión en el tronco, según la especie (Meilleur, 2006), y un sistema fuerte de raíces para compensar la inclinación; sin embargo, los árboles que crecieron verticales, pero que posteriormente se inclinaron por efecto del viento, pudrición de raíces o por competencia, presentarán un sistema de anclaje dañado o desbalanceado y poca resistencia para soportar su propio peso (Harris et al., 2003). Otros factores que pueden reducir la estabilidad son los hongos pudridores (Luley, Nowak, & Greenfield, 2009) e insectos que se alimentan de tejidos vivos y muertos (Vogt, Hauer, & Fischer, 2015).

Diversos métodos se han desarrollado para evaluar árboles de riesgo con el propósito de orientar a los profesionales (arboristas, dasónomos urbanos y personal de mantenimiento) en la inspección adecuada de un árbol (Bellet-Travers, 2010) y en la identificación de los factores que influyen en la percepción del riesgo (Koeser, Klein, Hasing, & Northrop, 2015). En este sentido, el presente estudio tuvo como objetivo identificar los defectos y evaluar el riesgo del arbolado del Bosque de San Juan de Aragón, uno de los tres parques de mayor importancia ambiental para la Ciudad de México.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó de abril a julio del 2014 en el parque denominado Bosque de San Juan de Aragón (BSJA), localizado al noreste de la Ciudad de México (19° 27' 32" N y 99° 04' 17" W). En el 2008, a 55 años de su creación, el BSJA fue declarado área de valor ambiental (Gaceta Oficial de la Federación, 2018); pese a esto, no existe información publicada formalmente sobre actividades de manejo culturales como fertilización y riego. Actualmente, el bosque cuenta con 114 ha de áreas arboladas y demás vegetación, dividido de acuerdo con el uso e infraestructura en 14 secciones, de las cuales 10 se incluyeron en la presente investigación (B, C, E, F, G, H, J, K, L y M) (Saavedra-Romero et al., 2016) (Figura 1). Por sección, se aplicó una intensidad de muestreo de 2.5 %, recomendada por Schreuder, Ernst, y Ramírez-Maldonado (2004), resultando 28 parcelas circulares de estudio de 0.1 ha. La geolocalización de cada parcela se registró y todos los árboles dentro de los límites se numeraron en dirección de las manecillas del reloj, iniciando por el norte. Se registró la especie de cada individuo, y el diámetro normal (Dn) y altura total (m) se obtuvieron con cinta diamétrica y pistola Haga, respectivamente. En la fase de gabinete se determinó el índice de esbeltez (IE) empleando la fórmula $IE = \text{Altura}/\text{Dn}$ (Dunster et al., 2013).

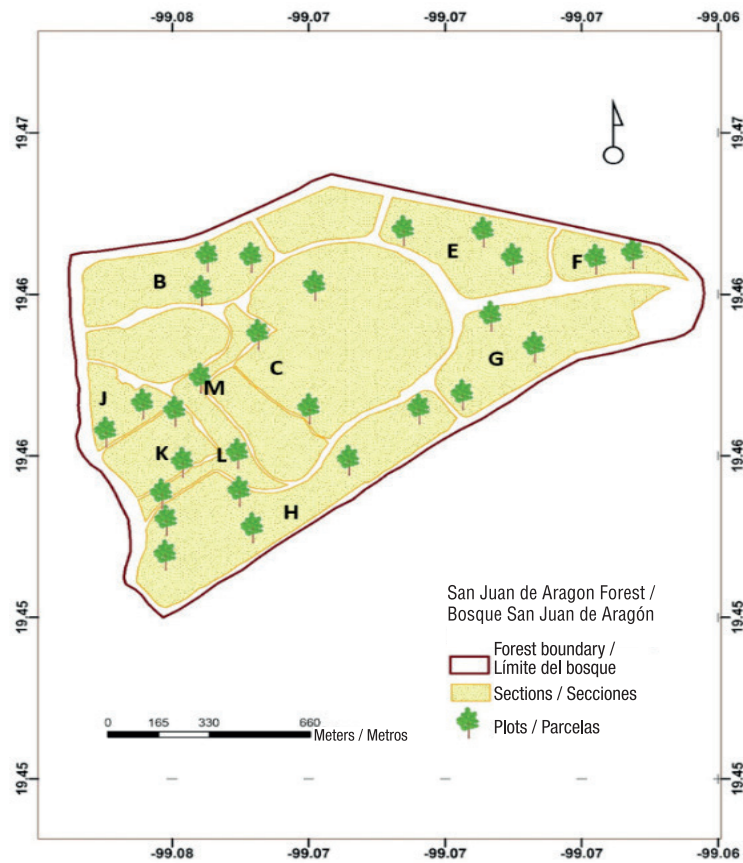


Figure 1. Sections of San Juan de Aragon Forest, Mexico City (Saavedra-Romero et al., 2016).

Figura 1. Secciones del Bosque de San Juan de Aragón, Ciudad de México (Saavedra-Romero et al., 2016).

Matheny and Clark method

The method considers three factors to estimate the potential risk of a tree: a) failure potential, defined based on the magnitude of the structural defects identified; b) size of the defective part, with the larger the size the higher the damage potential rating; and c) target rating based on the period of use of the area adjacent to the tree evaluated. Each factor was scored from 1 to 4 (Matheny & Clark, 1994, 2009). At the end, the points assigned to each factor were added together to obtain the risk rating (RR), with 12 being the maximum value and 3 the minimum.

Dunster method

This method included two factors. The first was the likelihood of failure, based on the importance of the structural defects identified in the field, as well as the weather conditions prevailing at the time of the evaluation. The second factor was the likelihood of impacting a target, taking into account the occupancy rate of the area. Based on this, scores from 1 to 4 were assigned (Table 1; Figure 2). Once the likelihood of failure and the likelihood of impacting a target were

Identificación de defectos y evaluación del riesgo del arbolado

Los métodos de Matheny y Clark (1994, 2009) y Dunster et al. (2013) se utilizaron en la identificación y evaluación de árboles de riesgo en el BSJA. Cada árbol de las parcelas de estudio se inspeccionó visualmente en sentido ascendente (raíz/cuello/tronco/ramas/follaje) y con un desplazamiento de 360°, para obtener una perspectiva completa del individuo; los defectos estructurales se identificaron mediante los códigos establecidos por dichos autores. Esta actividad se realizó en una sola ocasión.

Método Matheny y Clark

El método considera tres factores para estimar el riesgo potencial de un árbol: a) potencial de falla, definido con base en la magnitud de los defectos estructurales identificados; b) tamaño de la pieza defectuosa, a mayor tamaño, el potencial de daño se calificó más alto; y c) calificación del objetivo con base en el periodo de uso del área adyacente al árbol evaluado. Cada factor se calificó con un puntaje de 1 a 4 (Matheny & Clark, 1994, 2009). Al final, los puntos asignados a cada factor

determined, the combined probability of both factors was obtained by means of a matrix, shown in Table 2, to characterize the consequences of the risk.

Subsequently, the consequences generated by tree failure and impact were categorized according to the value of the target and the damage to it (monetary or otherwise), as follows: a) negligible (low-value property damage or disruptions that can be replaced or repaired; does not involve personal injury); b) minor (low to moderate property damage, or small disruptions to traffic or communication lines); c) significant (property damage of moderate to high value, considerable disruption or personal injury); d) severe (serious personal injury or death, damage to high-value property or total disruption of activities). Finally, to compare the risk by both methods, a RR per tree, section and species was obtained, adding together the values of the combined likelihood (A + B) and of the generated consequences. Table 3 indicates the four final risk categories obtained: low, moderate, high and extreme. For the analysis, a database was created in MS-Excel, which was analyzed with nonparametric statistics by means of the Kruskal-Wallis range test, using the SAS® program (Statistical Analysis Software Inc., 2015).

Results and discussion

Out of a total of 760 trees assessed, the most frequent species were: *Casuarina equisetifolia* L. (23.6 %), *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. (17.2 %), *Hesperocyparis lusitanica* Mill. (13.6 %), *Eucalyptus camaldulensis* Dnhh. (12.0 %) and *Schinus molle* L. (9.7 %); these species made up 76.2 % of the total. The remaining percentage was represented in order of decreasing importance by *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh, *Acacia retinodes* Schltldl., *Cupressus sempervirens* L., *Tamarix gallica* L. and *Ligustrum lucidum* Aiton. The most frequent diameter class was from 7.6 to 15.1 cm (31.7 %) (Figure 3A). The dominant category regarding height included trees from 5.1 to 10.0 m (44.9 %) (Figure 3B), while the most frequent slenderness index ranged from 26 to 75 (61.7 %) (Figure 3C). The mean of the forest mensuration variables was 24.03 cm in diameter, 11.14 m in height and 58.25 in SI.

Based on these figures, most of the trees were small, possibly due to their recent planting or because site conditions have not been favorable for optimal development, and although there are large individuals, their frequency was low. Although the SI is used to determine plant quality in nurseries, its use has been extended to other phenological stages in order to determine trunk stability. Low slenderness values are associated with conical (tapered) trees (Villar-Salvador, 2003), which are more resistant to strong winds and mechanical damage (Arias, 2004). Tree instability

se sumaron para obtener la calificación de riesgo (CRi), siendo 12 el valor máximo y 3 el mínimo.

Método Dunster

Este método incluyó dos factores. El primero fue la probabilidad de falla, obtenido con base en la importancia de los defectos estructurales identificados en campo, así como de las condiciones climáticas prevalentes al momento de la evaluación. El segundo factor fue la probabilidad de impactar un blanco, tomando en cuenta la tasa de ocupación del área. Con base en ello, se asignaron puntajes de 1 a 4 (Cuadro 1; Figura 2). Una vez determinada la probabilidad de falla de un árbol y la probabilidad de impactar un blanco, la probabilidad combinada de ambos factores se obtuvo mediante una matriz, mostrada en el Cuadro 2, para caracterizar las consecuencias del riesgo.

Posteriormente, las consecuencias generadas por un árbol de riesgo se categorizaron en función del valor del objetivo y del daño ejercido sobre él (monetario o de otro tipo), de la siguiente forma: a) insignificantes (bajo valor de la propiedad afectada, trastornos que pueden reemplazarse o repararse; no incluye daño a personas); b) menores (bajo daño a la propiedad, trastornos menores al tránsito y líneas de comunicación); c) significantes (daño moderado a propiedades de alto valor, trastornos considerables y daño a personas); d) severas (daño a personas o muerte, daño en propiedad valiosa en términos monetarios e interrupción total de actividades). Finalmente, para comparar el riesgo por ambos métodos, se obtuvo una CRi por árbol, sección y especie, sumando los valores de la probabilidad combinada (A + B) y de las consecuencias generadas. El Cuadro 3 indica las cuatro categorías finales de riesgo obtenidas: bajo, moderado, alto y extremo. Para el análisis se creó una base de datos en MS-Excel, la cual se analizó con estadística no paramétrica mediante la prueba de rangos de Kruskal-Wallis, empleando el programa SAS® (Statistical Analysis Software Inc., 2015).

Resultados y discusión

Las especies más frecuentes de un total de 760 árboles evaluados fueron: *Casuarina equisetifolia* L. (23.6 %), *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. (17.2 %), *Hesperocyparis lusitanica* Mill. (13.6 %), *Eucalyptus camaldulensis* Dnhh. (12.0 %) y *Schinus molle* L. (9.7 %); dichas especies conformaron 76.2 %. El porcentaje restante fue representado en orden de importancia por *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh, *Acacia retinodes* Schltldl., *Cupressus sempervirens* L., *Tamarix gallica* L. y *Ligustrum lucidum* Aiton. La clase diamétrica más frecuente fue la de 7.6 a 15.1 cm (31.7 %) (Figura 3A). La categoría dominante respecto a la altura incluyó árboles de 5.1 a 10.0 m (44.9 %) (Figura 3B), mientras que el índice de esbeltez

Table 1. Components evaluated in the identification of trees with failure potential based on the Dunster et al. (2013) method.**Cuadro 1. Componentes evaluados en la identificación de árboles de riesgo con base en el método de Dunster et al. (2013).**

Rating/ Calificación	Likelihood of failure/Probabilidad de falla			Likelihood of impacting a target/ Probabilidad de impactar un blanco	
	Category/ Categoría	Defect types/ Tipos de defecto	Weather conditions/ Condiciones climáticas	Category/ Categoría	Occupancy rate/ Tasa de ocupación
1	Improbable	Epicormic shoots and surface cracks/ Brotos epicórmicos y grietas superficiales	Failure not likely under normal or severe weather conditions in a specified timeframe/ Condiciones climáticas normales o severas en un tiempo definido	Very low/ Muy bajo	Rare The target zone is not commonly used by people (e.g. isolated trails)/ Rara La zona por impactar no es usada comúnmente por personas (v. g. senderos aislados)
2	Possible/ Posible	Surface wounds, oozing, leader branch or other dead branches, included bark/ Heridas superficiales, exudados, rama líder u otras ramas muertas, corteza incluida	Failure could occur, but not in normal weather conditions/ Podría ocurrir caída, pero no en condiciones climatológicas normales	Low/ Bajo	Occasional The target zone is occupied by people or targets infrequently/ Ocasional El objetivo o persona se encuentra irregularmente
3	Probable	Presence of basidiocarps, trunk and branch girdling/ Presencia de basidiocarpos, cinchado de tronco y ramas	Failure likely under normal conditions/ Caída probable en condiciones normales	Medium/ Medio	Frequent The target zone is occupied for a large portion of a day or week (does not consider human harm)/ Frecuente El objetivo está presente por un día o semana (no considera daño humano)
4	Imminent/ Inminente	Cavities affecting more than 50% of the trunk circumference, advanced rot, exposed roots, cankers, deep cracks, tumors, lean and inadequate tapering/ Cavidades que afectan más de 50 % de la circunferencia del tronco, pudrición avanzada, raíces expuestas, canchros, fisuras profundas, tumores, inclinación y ahusamiento inadecuado	Failure can occur in the near future and in any weather condition/ La caída puede ocurrir en un futuro cercano y en cualquier condición climática	High/ Alto	Constant The target is present nearly all the time, 24 hours a day, seven days a week (considers human harm)/ Constante El objetivo o blanco está presente todo el tiempo, 24 h al día y siete días a la semana (considera daño humano)



Figure 2. Examples of likelihood of failure categories based on the type of defect present: improbable (1), possible (2), probable (3) and imminent (4).

Figura 2. Ejemplos de categorías de probabilidad de caída de un árbol con base en el tipo de defecto presente: improbable (1), posible (2), probable (3) e inminente (4).

Table 2. Combined likelihood matrix for the likelihood of a tree failure impacting a specific target (Dunster et al., 2013). Cuadro 2. Matriz de probabilidad combinada para la identificación de árboles de riesgo (Dunster et al., 2013).

Likelihood of failure/ Probabilidad de falla	Likelihood of impacting target/Probabilidad de impactar un blanco			
	Very low/Muy bajo	Low/Bajo	Medium/Medio	High/Alto
Imminent/ Inminente	Unlikely/ Improbable	Somewhat likely/ Algo probable	Likely/ Probable	Very likely/ Muy probable
Likely/ Probable	Unlikely/ Improbable	Unlikely/ Improbable	Somewhat likely/ Algo probable	Likely/ Probable
Possible/ Posible	Unlikely/ Improbable	Unlikely/ Improbable	Unlikely/ Improbable	Somewhat likely/ Algo probable
Unlikely/ Improbable	Unlikely/ Improbable	Unlikely/ Improbable	Unlikely/ Improbable	Unlikely/ Improbable

Table 3. Matrix used to generate the final risk rating (RR) based on the components probability of failure, probability of impacting a target and consequences (Dunster et al., 2013).

Cuadro 3. Matriz empleada para generar la calificación final de riesgo (CRI) con base en los componentes probabilidad de falla, probabilidad de impactar un objetivo y consecuencias (Dunster et al., 2013).

Probability of failure + Probability of impact/ Probabilidad de falla + Probabilidad de impacto	Consequences/Consecuencias			
	Negligible/ Insignificantes	Minor/ Menores	Significant/ Significantes	Severe/ Severas
Very likely/ Muy probable	Low/ Bajo	Moderate/ Moderado	High/ Alto	Extreme/ Extremo
Likely/ Probable	Low/ Bajo	Moderate/ Moderado	High/ Alto	High/ Alto
Somewhat likely/ Algo probable	Low/ Bajo	Low/ Bajo	Moderate/ Moderado	Moderate/ Moderado
Unlikely/ Improbable	Low/ Bajo	Low/ Bajo	Low/ Bajo	Low/ Bajo

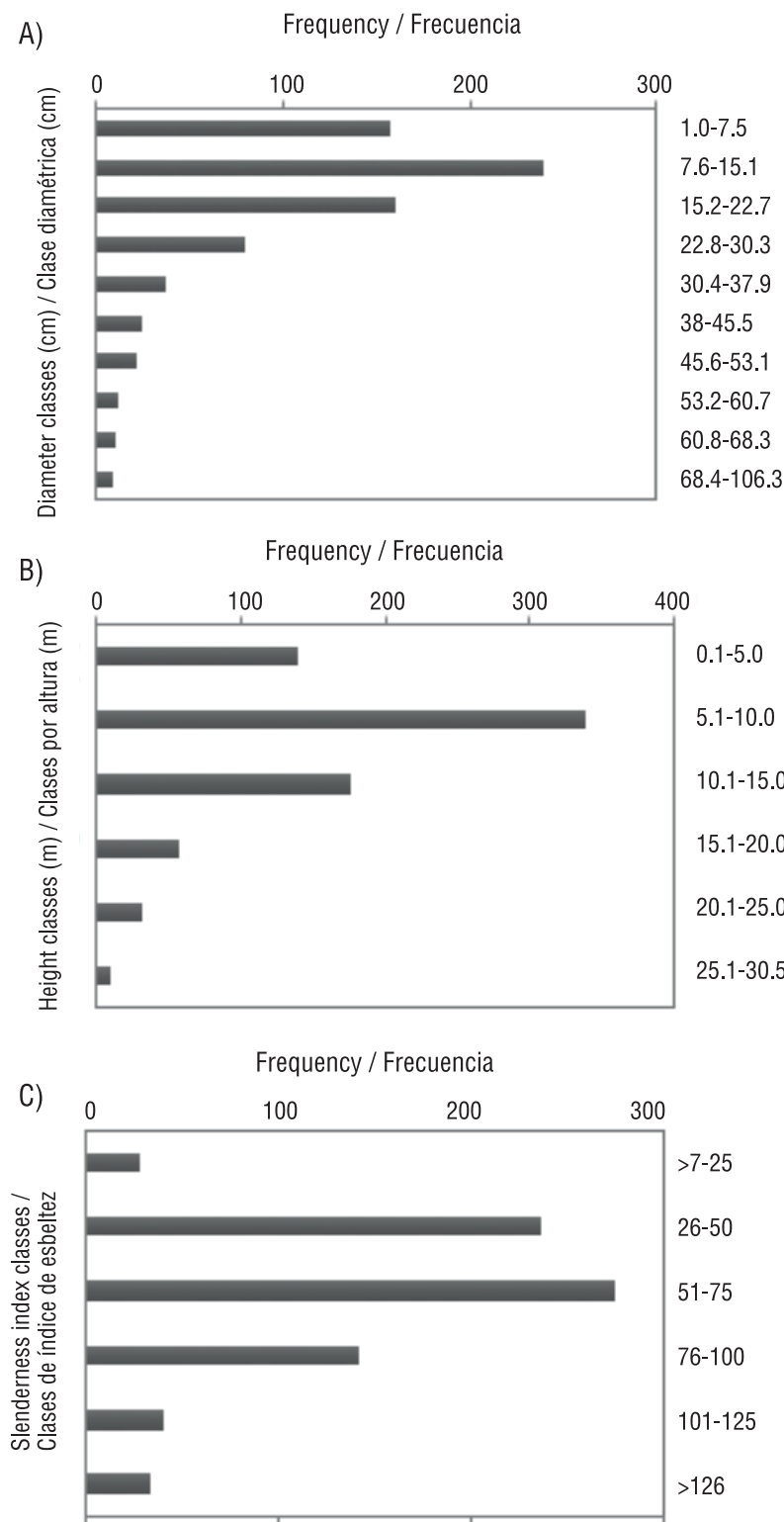


Figure 3. Distribution of diameter (A), height (B) and slenderness index (C) classes of the trees evaluated in San Juan de Aragon Forest, Mexico City.

Figura 3. Distribución de clases diamétricas (A), por altura (B) e índice de esbeltez (C) de los árboles evaluados en el Bosque de San Juan de Aragón, Ciudad de México.

increases with slenderness indices greater than 80, while those exceeding an index of 100 are extremely unstable (USDA, 2014); however, even values of this magnitude are considered normal in juvenile phases, but after 10 years one would expect a value of less than 80, otherwise there would be very thin trees that could break easily (Pérez-González, Domínguez-Domínguez, Martínez-Zurimendi, & Etchevers-Barra, 2012). In the present study, 76 % of the trees had an acceptable slenderness value.

Structural defects

Figure 4 shows the 14 types of structural defects identified in 292 trees; that is, 38.4 % of the individuals presented some type of defect, with the most frequent being: lean (18.8 %), cankers (15.4 %), epicormic shoots (14.4 %), dead branches (9.9 %), tumors (9.2 %) and cavities (6.1 %).

Leaning is perhaps the most common example of an unbalanced tree, a product of its life history, growth patterns and genotype; a tree with a lean greater than 10° may be unstable, so it should be periodically monitored, but if its lean exceeds 40° and at the same time hangs over a target, then the target should be moved, or the tree in question should be felled

más frecuente varió de 26 a 75 (61.7 %) (Figura 3C). La media de las variables dasométricas fue 24.03 cm de diámetro, 11.14 m de altura y 58.25 de IE.

Con base en estas cifras, la mayoría de los árboles presentaron portes pequeños, posiblemente, debido a su plantación reciente o a que las condiciones del sitio no han sido favorables para un desarrollo óptimo, y aunque existen individuos de gran porte, su frecuencia fue baja. A pesar de que el IE se emplea para determinar calidad de planta en vivero, su uso se ha extendido a otras etapas fenológicas con el propósito de determinar la estabilidad del tronco. Los valores bajos de esbeltez se asocian con árboles cónicos (ahusados) (Villar-Salvador, 2003), los cuales presentan mayor resistencia a los vientos fuertes y al daño mecánico (Arias, 2004). La inestabilidad de un árbol aumenta con índices de esbeltez mayores de 80, mientras que los que superan una calificación de 100 son extremadamente inestables (USDA, 2014); no obstante, incluso los valores de esta magnitud se consideran normales en fases juveniles, pero a partir de los 10 años se esperaría un valor inferior de 80, de lo contrario se tendrían árboles muy delgados que podrían quebrarse fácilmente (Pérez-González, Domínguez-Domínguez, Martínez-Zurimendi, & Etchevers-Barra, 2012). En el presente estudio, 76 % de los árboles presentó un valor aceptable de esbeltez.

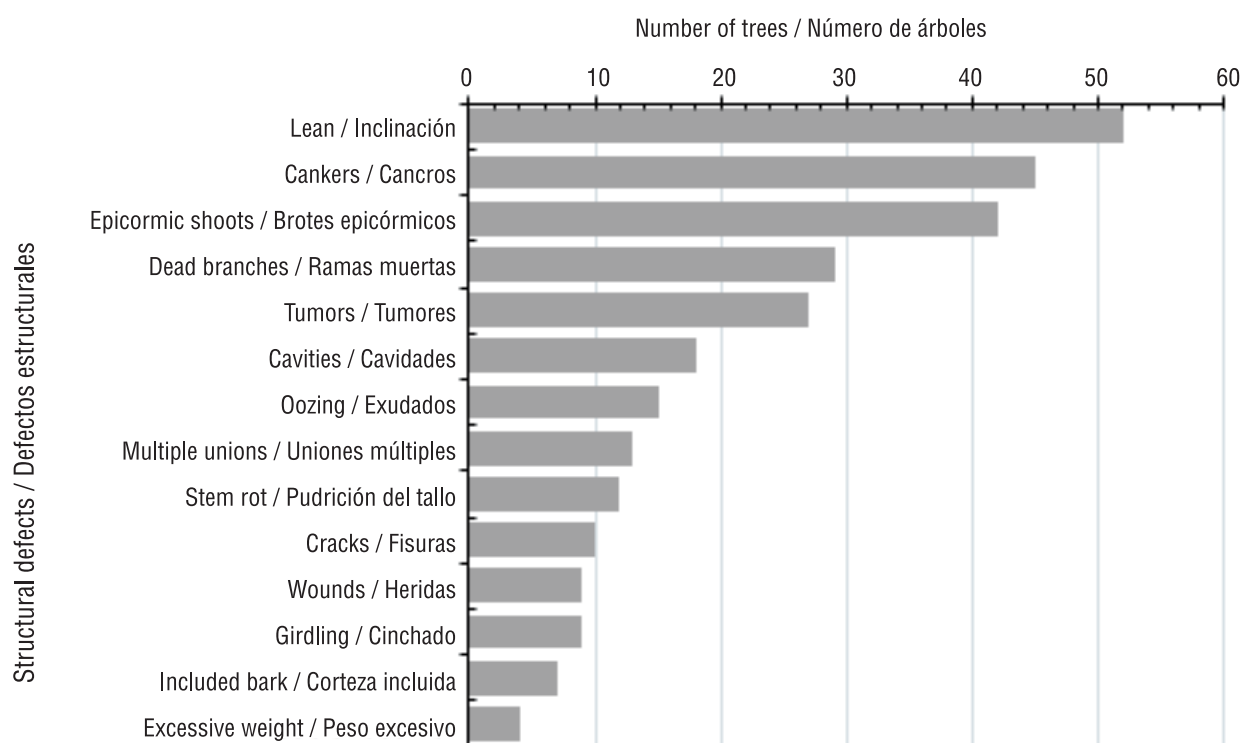


Figure 4. Frequency of the types of structural defects in 292 trees in San Juan de Aragon Forest, Mexico City.

Figura 4. Frecuencia de los tipos de defectos estructurales en 292 árboles del Bosque de San Juan de Aragón, Ciudad de México.

(Pokorny, 1992). In the BSJA, some trees showed a critical lean angle; however, they were found in sites of occasional use. According to a study by Jim and Zhang (2013), leaning and crooked trees are one of the most frequent defects in Hong Kong.

Epicormic shoots turned out to be the third most frequent character. These shoots originate from latent buds, tend to grow on the trunk, root collar or in branches and often their development is stimulated by sudden exposure to light (Meier, Saunders, & Michler, 2012) or as a consequence of chronic stress; therefore, shoots are considered a tree survival strategy (Bellingham & Sparrow, 2003). In the short term, these shoots can replace dead branches or those that were pruned during management activities, which creates an excellent appearance; however, despite their rapid growth, their adventitious origin propitiates a weak union with the tree (bark-wood) (Pallardy, 2008), being likely that the excess weight in the future results in premature failure, causing severe material and economic damage.

Dead branches were also common, especially in the upper part of the crowns, and although their incidence was low, immediate removal is justified when they are found in areas of frequent use (Sreetheran, Adnan, & Azuar, 2011). Crown cleaning and reduction pruning, in exceptional cases, should be applied as soon as possible.

The presence of tumors in the lower part of the trunk and root collar were also frequent and although they are proven to limit tree growth and productivity (Escobar, Leslie, McGranaham, & Dandekar, 2002), they are rarely considered a physiological health and structural problem (Meilleur, 2006).

A unique process in trees is their ability to compartmentalize; this phenomenon includes the activation of four walls that limit wood decay and discoloration within the tree (Shigo, 1984). Occasionally, these walls cannot contain the decay (Martínez-Trinidad & Islas-Rodríguez, 2010), forming cavities and areas with incipient or advanced rotting. This situation increases with the presence of cankers, a very common defect in the study area, as they limit wound closure (compartmentalization capacity) and increase risk (Meilleur, 2006). Wood decay in a living tree in a park could cause branch or trunk breakage during adverse weather conditions, turning the tree into an element of risk for people (Kulhavy, Unger, Hung, Wu, & Sun, 2014).

Defects by section and species

Table 4 reports the proportion of trees with defects in each assessed BSJA section. Sections B and H in the

Defectos estructurales

La Figura 4 muestra los 14 tipos de defectos estructurales identificados en 292 árboles; es decir, 38.4 % de los individuos presentó algún tipo de defecto, siendo los más frecuentes: inclinación (18.8 %), canchros (15.4 %), brotes epicórmicos (14.4 %), ramas muertas (9.9 %), tumores (9.2 %) y cavidades (6.1 %).

La inclinación es quizá el ejemplo más común de un árbol desbalanceado, producto de su historia de vida, patrones de crecimiento y genotipo; un árbol con inclinación superior de 10° puede ser inestable, por lo que su monitoreo debe ser periódico, pero si excede de 40° y al mismo tiempo pende sobre un objetivo, entonces el blanco de afectación debe ser removido, o bien, el árbol en cuestión debe ser derribado (Pokorny, 1992). En el BSJA, algunos árboles mostraron un ángulo crítico de inclinación; no obstante, se encontraron en sitios de uso ocasional. De acuerdo con el estudio realizado por Jim y Zhang (2013), los árboles inclinados y torcidos son uno de los defectos más frecuentes en Hong Kong.

Por su parte, los brotes epicórmicos resultaron ser el tercer carácter más frecuente. Estos brotes se originan a partir de yemas latentes, tienden a crecer sobre el tronco, cuello de la raíz o en ramas y a menudo, su desarrollo se ve estimulado por una súbita exposición a la luz (Meier, Saunders, & Michler, 2012) o como consecuencia de estrés crónico; por ello, los brotes se consideran una estrategia de sobrevivencia del árbol (Bellingham & Sparrow, 2003). En el corto plazo, estos brotes pueden reemplazar ramas muertas o que fueron podadas durante actividades de manejo, lo que en apariencia es excelente; sin embargo, a pesar de que su crecimiento es rápido, su origen adventicio propicia una débil unión con el árbol (corteza-madera) (Pallardy, 2008), siendo probable que el exceso de peso en el futuro provoque caída prematura, ocasionando severos daños materiales y económicos.

Las ramas muertas fueron también comunes, especialmente en la parte alta de las copas, y aunque su incidencia fue baja, la remoción inmediata se justifica cuando se encuentran en zonas de uso frecuente (Sreetheran, Adnan, & Azuar, 2011). La poda de limpieza de ramas muertas dentro de la copa y la poda de reducción, en casos excepcionales, debe ser aplicada lo más pronto posible.

La presencia de tumores en la parte baja del tronco y cuello también fueron frecuentes y a pesar de que está comprobado que limitan el crecimiento y productividad de los árboles (Escobar, Leslie, McGranaham, & Dandekar, 2002), rara vez se les considera un problema de salud fisiológica y estructural (Meilleur, 2006).

northwest and south of the forest, respectively, had the highest percentage of trees with structural defects. It is important to note that all sections had leaning trees. A leaning tree with a major defect in the lower part of the trunk is more susceptible to fail, due to structural imbalance and accentuated weakness in the trunk or root. In some trees, the oblique growth may be natural, whereas in others the development was inadequate, due to the presence of shallow soils and a poor anchoring system (Pokorny, 1992).

Each tree species showed its own defects, as illustrated graphically in Figure 5; for example, *C. equisetifolia* and *S. molle* had the highest number with 23.97 and 17.81 %, respectively, which could be an indicator that these genotypes are not suitable for BSJA conditions, while *H. lusitanica*, *C. sempervirens* and *F. uhdei* could be candidates for future plantations, although species diversification will have to be considered. The most common defects were dead branches in *Casuarina*, *Eucalyptus* and *Tamarix*, and leaning trees in *Acacia*.

Un proceso único en los árboles es su capacidad de compartimentar; este fenómeno incluye la activación de cuatro paredes que limitan la descomposición y decoloración de la madera al interior del árbol (Shigo, 1984). Ocasionalmente, dichas paredes no pueden contener la descomposición (Martínez-Trinidad & Islas-Rodríguez, 2010), formándose cavidades y áreas con pudrición incipiente o avanzada. Esta situación se incrementa con la presencia de canchros, defecto muy común en la zona de estudio, ya que limitan el cierre de la herida (capacidad de compartimentación) e incrementan el riesgo (Meilleur, 2006). La descomposición de la madera en un árbol vivo de un parque podría provocar la ruptura de ramas o tronco durante condiciones climáticas adversas, convirtiendo al árbol en un elemento de riesgo para las personas (Kulhavy, Unger, Hung, Wu, & Sun, 2014).

Defectos por sección y especie

El Cuadro 4 reporta la proporción de árboles con defectos en cada sección evaluada del BSJA. Las secciones B y

Table 4. Trees with structural defects (%) in each of the sections of San Juan de Aragon Forest, Mexico City.

Cuadro 4. Árboles con defectos estructurales (%) en cada una de las secciones del Bosque de San Juan de Aragón, Ciudad de México.

Section / Sección	Lean / Inclinación	Fork / Bifurcación	Multiple unions / Uniones múltiples	Included bark / Corteza incluida	Excessive weight / Peso excesivo	Cracks / Fisuras	Stem rot / Pudrición del tallo	Cavities / Cavidades	Oozing / Exudados	Dead branches / Ramas muertas	Cankers / Cancros
B	3.08	-	1.71	0.68	0.34	0.68	1.71	-	-	7.19	3.08
C	3.77	-	1.03	-	0.68	-	0.34	-	0.34	6.51	0.34
E	0.68	-	1.71	-	-	-	-	-	0.68	0.34	8.22
F	0.68	-	-	-	-	0.34	0.34	2.05	-	1.37	0.34
G	3.08	-	-	1.03	-	-	-	-	-	4.11	1.37
H	2.40	0.34	-	-	-	0.34	1.37	2.05	2.40	6.16	2.74
J	1.03	-	-	-	0.34	0.34	-	1.03	-	4.45	2.05
K	2.74	-	-	-	-	1.71	-	0.34	1.37	0.68	-
L	0.34	-	-	0.68	-	-	0.34	0.68	0.34	1.71	1.71

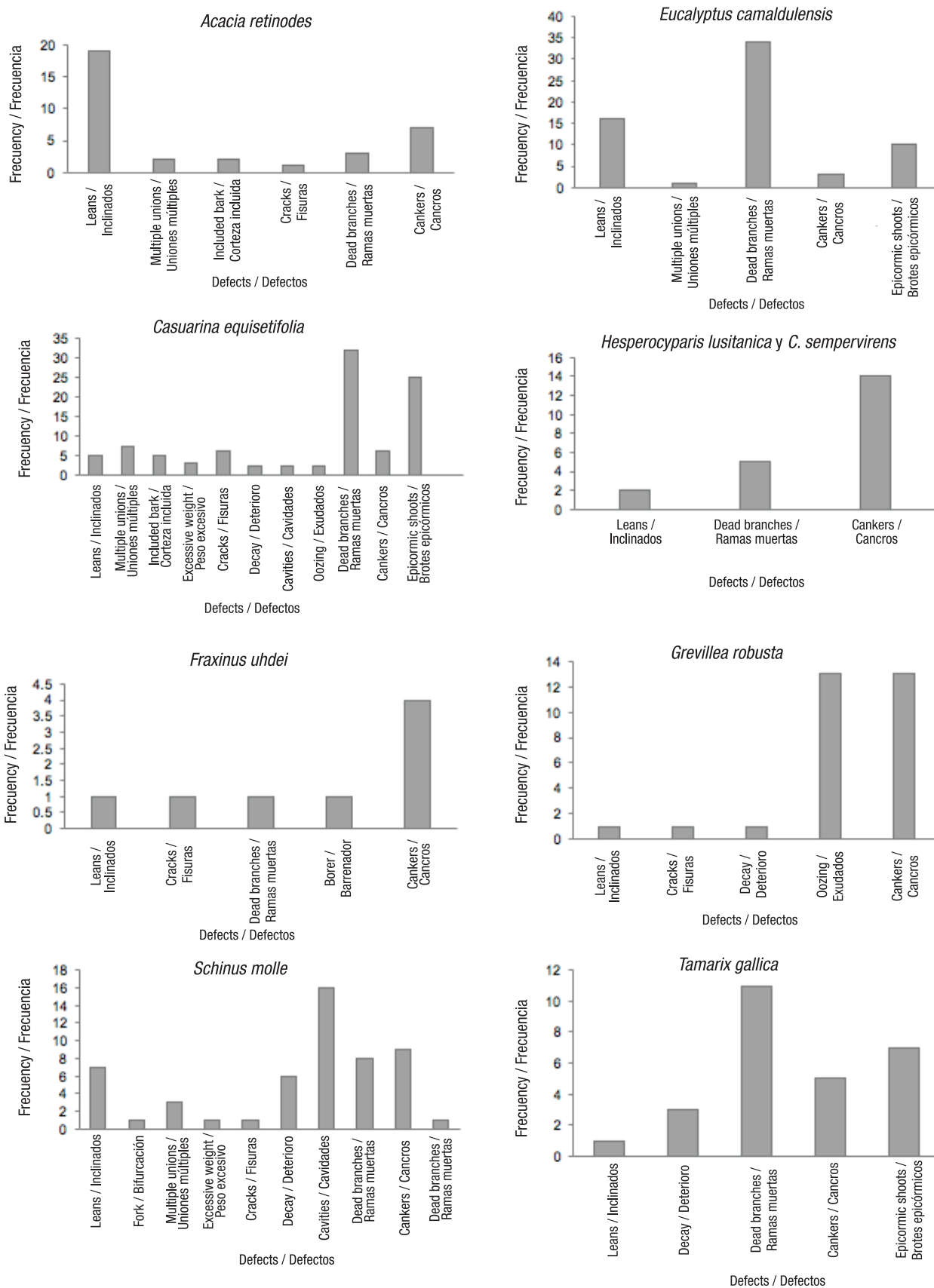


Figure 5. Frequency of structural defects in nine species evaluated in San Juan de Aragon Forest, Mexico City.
Figura 5. Frecuencia de defectos estructurales en nueve especies evaluadas en el Bosque de San Juan de Aragón, Ciudad de México.

Risk rating

Figure 6 shows that the most frequently assessed tree ratings were 7 and 8. For the Matheny and Clark method, trees rated ≤ 8 were included in low risk (83.9 %), 9 in moderate (14.7 %), and 10 in high (1.3 %). Based on the third component of the Dunster method (the consequences of a tree or part failure), 88.17 % of the trees presented low risk, 11.3 % moderate risk, and 0.68 % high risk. The extreme category was not represented.

Risk rating by species and section

Based on the Kruskal-Wallis range test, the risk rating showed significant differences among species; however, for both methods, all were grouped at low risk (Table 5).

Regarding the sections, and according to Table 6, only section K (southwest) had a moderate risk rating (9 rating); all the other sections had a low rating. It should be noted that this section and sections E and F have the highest influx of users, who engage in activities such as hiking along unauthorized trails, having picnics and just resting, so it is recommended to carry out constant monitoring to identify any change in the condition of the trees.

Based on the methods used, the tree species and sections evaluated had a low risk rating (≤ 8), with the exception of section K, where the risk was moderate; therefore, the likelihood of loss is low. In numerical terms, the values obtained by the Matheny and Clark method were higher due to the influence exerted by the diameter of the defective part.

H al norponiente y sur del bosque, respectivamente, presentaron el mayor porcentaje de árboles con defectos estructurales. Es importante destacar que todas las secciones presentaron árboles inclinados. Un árbol inclinado con un defecto importante en la parte baja del tronco es más susceptible a caer, debido al desbalance estructural y a la debilidad acentuada en el tronco o raíz. En algunos árboles, el crecimiento oblicuo puede ser natural, en otros el desarrollo fue inadecuado, debido a la presencia de suelos someros y un sistema de anclaje deficiente (Pokorny, 1992).

Cada especie arbórea mostró sus propios defectos, tal como se ilustra gráficamente en la Figura 5; por ejemplo, *C. equisetifolia* y *S. molle* tuvieron el mayor número con 23.97 y 17.81 %, respectivamente, lo que podría ser un indicador de que estos genotipos no son adecuados para las condiciones del BSJA, mientras que *H. lusitanica*, *C. sempervirens* y *F. uhdei* podrían ser candidatos para futuras plantaciones, aunque se tendrá que considerar la diversificación de especies. Los defectos más comunes fueron las ramas muertas en *Casuarina*, *Eucalyptus* y *Tamarix*, así como en árboles inclinados en *Acacia*.

Calificación de riesgo

La Figura 6 muestra que los árboles evaluados tuvieron calificaciones de 7 y 8 como las más frecuentes. Para el método Matheny y Clark, los árboles con calificaciones ≤ 8 se incluyeron en riesgo bajo (83.9%); el 9 en moderado (14.7 %), mientras que el 10 se calificó como riesgo alto (1.3 %). Con base en el tercer componente del método Dunster (las consecuencias que generaría la caída de un árbol o parte de él), 88.17 % de los árboles presentó riesgo bajo; 11.3 %, riesgo moderado; y 0.68 %, riesgo alto. La categoría extrema no tuvo representación.

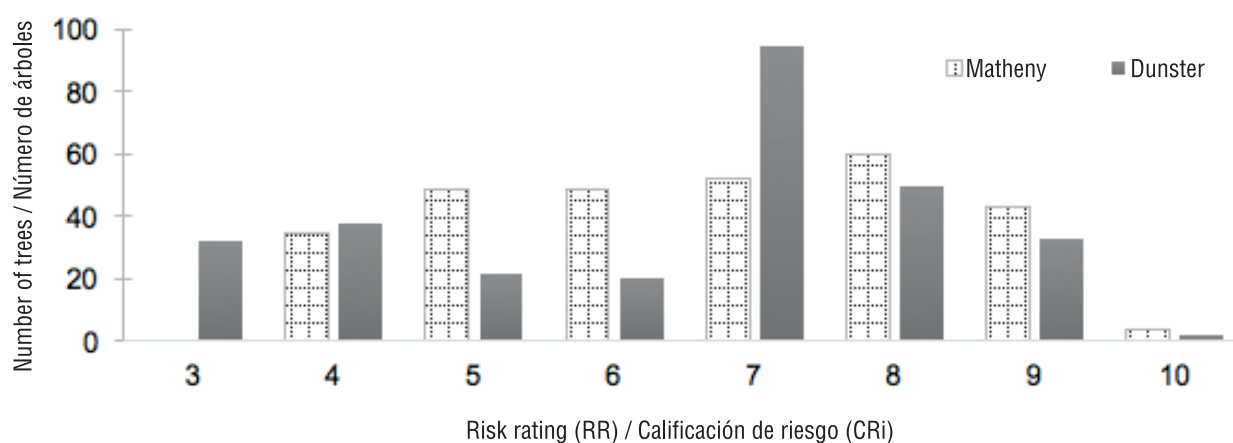


Figure 6. Frequency histograms of the RRs of the trees in San Juan de Aragon Forest, Mexico City, evaluated with the Matheny and Clark (1994, 2009) and Dunster et al. (2013) methods.

Figura 6. Histogramas de frecuencia de las CRi de los árboles del Bosque de San Juan de Aragón, Ciudad de México, evaluados con los métodos Matheny y Clark (1994, 2009) y Dunster et al. (2013).

Table 5. Risk rating by tree species based on the Matheny and Clark (1994, 2009) and Dunster et al. (2013) methods.
Cuadro 5. Calificación de riesgo por especie arbórea con base en los métodos Matheny y Clark (1994, 2009), y Dunster et al. (2013).

Species/ Especie	Matheny and Clark method/ Método Matheny y Clark		Dunster method / Método Dunster		
	Median / Mediana	Range / Rango	Species / Especie	Median / Mediana	Range / Rango
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	6	113.83 a	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	5	101.35 a
<i>Casuarina equisetifolia</i>	6	118.31 a	<i>Tamarix gallica</i>	5	118.98 ab
<i>Hesperocyparis lusitanica</i>	6	119.10 ab	<i>Hesperocyparis lusitanica</i>	7	126.15 abc
<i>Tamarix gallica</i>	6	122.05 ab	<i>Casuarina equisetifolia</i>	7	130.04 bc
<i>Grevillea robusta</i>	7	153.88 bc	<i>Grevillea robusta</i>	7	164.50 bcd
<i>Schinus molle</i>	7.5	175.64 c	<i>Acacia retinodes</i>	7	168.60 cd
<i>Acacia retinodes</i>	7.5	182.62 c	<i>Schinus molle</i>	8	174.59 d

Different letters indicate significant differences according to the Kruskal-Wallis range test ($P < 0.0001$).

Letras distintas indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de rangos de Kruskal-Wallis ($P < 0.0001$).

Table 6. Risk rating by section based on the Matheny and Clark (1994, 2009) and Dunster et al. (2013) methods.
Cuadro 6. Calificación de riesgo por sección con base en los métodos de Matheny y Clark (1994, 2009), y Dunster et al. (2013).

Matheny and Clark method / Método Matheny y Clark			Dunster method / Método Dunster		
Section / Sección	Median / Mediana	Range / Rango	Section / Sección	Median / Mediana	Range / Rango
C	5	99.15 a	G	6	113.17 a
H	5	101.68 a	J	6	114.48 a
G	6	113.13 ab	C	6.5	118.42 a
J	6	114.34 ab	H	7	122.20 a
B	7	135.64 bc	B	7	132.56 a
L	7	176.23 cd	L	7	142.50 ab
F	8	206.67 d	E	7	172.61 bc
K	8.5	207.60 d	F	8	203.90 c
E	8.5	216.05 d	K	9	217.08 c

Different letters indicate significant differences according to the Kruskal-Wallis range test ($P < 0.0001$).

Letras distintas indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de rangos de Kruskal-Wallis ($P < 0.0001$).

It is important to note that the study was conducted at a specific time and that the structural conditions of the trees and the weather can change drastically in a different timeframe. While it is important to identify the potential risk posed by trees already established within the city, according to Hauer et al. (2015) and Vogt et al. (2015), proactive maintenance would provide a longer useful life of the tree resource. Properly planted and maintained trees will provide greater benefits and increase the value of the urban forest.

Conclusions

The procedures for tree risk identification and assessment applied to San Juan de Aragon Forest in Mexico City allowed rating the main structural defects in the park's trees in a simple way. The most frequent defects were leaning trees, cankers, dead branches in the upper crown, tumors, cavities and epicormic shoots. *Casuarina equisetifolia* and *Schinus molle* were the species with the highest number of defects. The highest percentage of trees with defects was found in sections B and H. Most of the trees had a low risk rating for goods, services and human lives. The section with the highest risk rating was K. This information is relevant to decision-makers wishing to implement preventive measures that can mitigate potential tree damage to the infrastructure and injury to the population in urban green areas.

Acknowledgments

The authors are grateful to the National Science and Technology Council (CONACYT for its initials in Spanish) for the postgraduate scholarship granted to the first author, as well as to the staff of San Juan Aragon Forest for the assistance provided.

End of English version

References / Referencias

- Arias, A. D. (2004). Estudio de las relaciones altura-diámetro para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la zona sur de Costa Rica. *Revista Forestal Kurú*, 1(2), 1-11. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/ejemplar/400183>
- Bellet-Travers, M. (2010). A risk assessment methodology for trees in parkland bases on comparative population analysis. *Arboricultural Journal*, 33(1), 3-14. doi: 10.1080/03071375.2010.9747588
- Bellingham, P. J., & Sparrow, A. D. (2003). Resprouting as a life history strategy in woody plant communities. *Oikos*, 89(2), 409-416. doi: 10.1034/j.1600-0706.2000.890224.x
- Dunster, J. A., Smiley, T. A., Matheny, N., & Lilly, S. (2013). *Tree risk assessment manual*. Champaign, Illinois, USA:

Calificación de riesgo por especie y sección

Con base en la prueba de rangos de Kruskal-Wallis, la calificación de riesgo mostró diferencias significativas entre especies; no obstante, para ambos métodos, todas quedaron agrupadas en riesgo bajo (Cuadro 5).

Respecto a las secciones, y de acuerdo con el Cuadro 6, únicamente la sección K (al suroeste) presentó calificación de riesgo moderado (calificación 9), el resto fue bajo. Cabe mencionar que esta sección, así como la E y F, poseen la mayor afluencia de usuarios, quienes realizan actividades de caminata por veredas no autorizadas, pícnic y descanso, por lo que se recomienda llevar a cabo un monitoreo constante, para identificar cualquier cambio en la condición de los árboles.

Con base en los métodos utilizados, las especies arbóreas y secciones evaluadas presentaron calificación de riesgo bajo (≤ 8), con excepción de la sección K cuyo riesgo fue moderado, por ello, la probabilidad de algún siniestro es reducida. En términos numéricos, los valores obtenidos por el método Matheny y Clark fueron mayores debido a la influencia que ejerce el diámetro de la parte defectuosa.

Es importante resaltar que el estudio se realizó en un tiempo específico y que las condiciones estructurales de los árboles y el clima pueden cambiar drásticamente en un marco de tiempo distinto. Si bien, es importante identificar el riesgo potencial de los árboles ya establecidos dentro de la ciudad, de acuerdo con Hauer et al. (2015) y Vogt et al. (2015), el mantenimiento proactivo proporcionaría una mayor vida útil del recurso árbol. Los árboles plantados y con mantenimiento adecuado proporcionarán beneficios mayores e incrementarán el valor del bosque urbano.

Conclusiones

Los procedimientos para la evaluación e identificación de árboles de riesgo adaptados al arbolado del Bosque de San Juan de Aragón, Ciudad de México, permitieron calificar los principales defectos estructurales de una manera sencilla. Los defectos más frecuentes fueron árboles inclinados, canchales, ramas muertas en copa superior, tumores, cavidades y brotes epicórmicos. *Casuarina equisetifolia* y *Schinus molle* fueron las especies con mayor número de defectos. El mayor porcentaje de árboles con defectos se presentó en las secciones B y H. La mayoría de los árboles presentaron una calificación de riesgo bajo para bienes, servicios y vidas humanas. La sección con mayor calificación de riesgo fue la K. Esta información es relevante para los tomadores de decisiones con el objetivo de implementar medidas preventivas que puedan mitigar daños potenciales

- International Society of Arboriculture. Retrieved from <http://www.treesource.co.uk/tree-risk-assessment-manual~4365>
- Escobar, M. A., Leslie, C. A., McGranham, G. H., & Dandekar, A. M. (2002). Silencing crown gall disease in walnut (*Juglans regia* L.). *Plant Science*, 163(3), 591–597. doi: 10.1016/S0168-9452(02)00164-4
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México (2018). Administración pública de la Ciudad de México. Retrieved from http://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/d666dd8ef846b97be1579960fecabf69.pdf
- Harris, R. W., Clark, J. R., & Matheny, N. P. (2003). *Arboriculture. Integrated management of landscape trees, shrubs and vines* (4th ed.). USA: Prentice Hall. Retrieved from <https://www.amazon.com/Arboriculture-Integrated-Management-Landscape-Shrubs/dp/0130888826>
- Hauer, R. J., Vogt, J. M., & Fischer, B. C. (2015). The cost of not maintaining the urban forest. *Arborist News*, 24(1), 12–16. Retrieved from <http://html5.epaperflip.com/Viewer.aspx?docid=fd65520a-16ff-421e-9fb8-a42c0118f0d3#page=14>
- Jim, C. Y., & Zhang, H. (2013). Defect-disorder and risk assessment of heritage trees in urban Hong Kong. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(4), 585–596. doi: 10.1016/j.ufug.2013.06.003
- Koeser, A. K., & Smiley, T. (2017). Impact of assessor on tree risk assessment ratings and prescribed mitigation measures. *Urban Forestry and Urban Greening*, 24, 109–115. doi: 10.1016/j.ufug.2017.03.027
- Koeser, A. K., Klein, R. W., Hasing, G., & Northrop, R. J. (2015). Factors driving professional and public urban tree risk perception. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14, 968–974. doi: 10.1016/j.ufug.2015.09.004 1618-8667
- Kulhavy, D. L., Unger, D. R., Hung, I. K., Wu, D., & Sun, J. (2014). Comparison of tree condition and value for city parks and Stephen F. Austin State University in Nacogdoches, Texas, U. S. *Arboriculture & Urban Forestry*, 40(3), 165–177. Retrieved from <http://scholarworks.sfasu.edu/forestry/220>
- Luley, C. J., Nowak, D. J., & Greenfield, E. J. (2009). Frequency and severity of trunk decay in street tree maples in four New York cities. *Arboriculture & Urban Forestry*, 35(2), 94–99. Retrieved from https://www.fs.fed.us/nrs/pubs/jrnl/2009/ns_2009_luley_002.pdf
- Martínez-Trinidad, T., & Islas-Rodríguez, L. (2010). Biología y compartimentación del árbol. *ArbolAMA*, 3, 21–29. Retrieved from <http://www.isahispana.com/portals/0/docs/treecare/Arboricultura%20tradicional%20y%20arboricultura%20moderna.pdf>
- Matheny, N., & Clark, J. R. (2009). Tree risk assessment. What we know? (and What we don't know?). *Arborist News*, 18, 20–31. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/292089898/download>
- Matheny, N., & Clark, J. R. (1994). *A photographic guide to the evaluation of hazard trees in urban areas* (2nd ed.). USA: International Society of Arboriculture. Retrieved from <https://www.amazon.com/Photographic-Guide-Evaluation-Hazard-Trees/dp/1881956040>
- del arbolado en la infraestructura y usuarios de las áreas verdes urbanas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de estudios de posgrado otorgada a la primera autora, así como al personal del Bosque de Aragón por las facilidades otorgadas.

Fin de la versión en español

- Meier, A. R., Saunders, M. R., & Michler, C.H. (2012). Epicormic buds in trees: a review of bud establishment, development and dormancy release. *Tree Physiology*, 32(5), 565–684. doi: 10.1093/treephys/tps040
- Meilleur, G. (2006). Basic tree risk assessment. *Arborist News*, 15(5), 12–17. Retrieved from <http://www.historictreecare.com/wp-content/uploads/2012/05/ISA-CEU-Basic-Tree-Risk-Assessment-complete.pdf>
- Pallardy, S. D. (2008). *Physiology of woody plants* (3rd ed.). USA: Academic Press. Retrieved from <http://www.agrifis.ir/sites/default/files/Stephen%20G.%20Pallardy%20Physiology%20of%20Woody%20Plants%2C%203rd%20edition%20%202007.pdf>
- Pérez-González, G., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., & Etchevers-Barra, J. D. (2012). Caracterización dasométrica e índice de sitio en plantaciones de caoba en Tabasco, México. *Madera y Bosques*, 18(1), 7–24. doi: 10.21829/myb.2012.181511
- Pokorny, J. D. (1992). Urban tree risk management: A community guide to program design and implementation. Retrieved from https://www.fs.usda.gov/naspf/sites/default/files/publications/02_na-tp-03-03_urban_tree_risk_management_508c_v2_20171027.pdf
- Ryder, C. M., & Moore, G. M. (2013). The arboricultural and economic benefits of formative pruning street trees. *Arboriculture & Urban Forestry*, 39(1), 17–24. Retrieved from <http://joa.isa-arbor.com/articles.asp?JournalID=1&VolumeID=39&IssueID=1>
- Saavedra-Romero, L. L., Alvarado-Rosales, D., Hernández de la Rosa, P., Martínez-Trinidad, T., Mora-Aguilera, G., & Villa-Castillo, J. (2016). Condición de copa, indicador de salud en árboles urbanos del Bosque San Juan de Aragón, Ciudad de México. *Madera y Bosques*, 22(2), 15–27. doi: 10.21829/myb.2016.2221321
- Schreuder, H. T., Ernst, R., & Ramírez-Maldonado, H. (2004). Statistical techniques for sampling and monitoring natural resources. doi: 10.2737/RMRS-GTR-126
- Shigo, A. L. (1984). Compartmentalization: A conceptual framework for understanding how trees grow and defend themselves. *Annual Review Phytopathology*, 22, 189–214. doi: 10.1146/annurev.py.22.090184.001201
- Sreetheran, M., Adnan, M., & Azuar, A. K. K. (2011). Street tree inventory and tree risk assessment of selected

- major roads in Kuala Lumpur, Malaysia. *Arboriculture & Urban Forestry*, 37(5), 226–235. Retrieved from https://www.academia.edu/26914789/Street_Tree_Inventory_and_Tree_Risk_Assessment_of_Selected_Major_Roads_in_Kuala_Lumpur_Malaysia
- Statistical Analysis Software Inc. (SAS). (2015). SAS® 9.4 In-database products: User's guide (6th ed.). Cary, NC, USA: Author. Retrieved from http://support.sas.com/documentation/cdl/en/statug/63033/HTML/default/viewer.htm#statug_npar1way_sect004.htm
- United States Department of Agriculture (USDA). (2014). Field guide for hazard-tree identification and mitigation on developed sites in Oregon and Washington Forests. Retrieved from https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprd3799993.pdf
- Villar-Salvador, P. (2003). Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. En J. Rey-Benayas, T. Espigares, & J. M. Ibarra (Eds.), *Restauración y ecosistemas mediterráneos* (pp. 65–86). España: Universidad de Alcalá/ Asociación Española de Ecología Terrestre. Retrieved from <http://www3.uah.es/pedrovillar/PDF/Texto%20publicado.pdf>
- Vogt, J., Hauer, R. J., & Fischer, B. C. (2015). The costs of maintaining and not maintaining the urban forest: A review of the urban forestry and arboriculture literature. *Arboriculture & Urban Forestry*, 41(6), 293–323. Retrieved from https://www.isa-arbor.com/Portals/0/Assets/PDF/research/Vogt_AUFNov2015.pdf