



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Evaluación del riesgo de los árboles urbanos: propuesta de un protocolo para Montevideo, Uruguay

Ana Paula Coelho Duarte

Programa de Posgrado en Ciencias Agrarias

Diciembre 2021

Tesis aprobada por el tribunal integrado por Dr. Pedro Calaza Martínez, Dra. Claudia F. Martínez, y Dr. Fernando Muñoz Sáez, el 11 de diciembre de 2021. Autora: MSc. Ing. For. Ana Paula Coelho Duarte. Director Dr. Ing. For. Mauricio Ponce Donoso, Co-director Dr. Gustavo Daniluk Mosquera.

“– Pela tua vontade, o que preservarias? – Perguntou Manwë. – De todo o seu reino,
o que te é mais caro?

– Tudo tem seu valor, e cada um contribui para o valor dos outros. Mas os *kelvar* podem fugir ou se defender, ao passo que os *olvar* que crescem, não. E entre estes, prezo mais as árvores. Embora de crescimento demorado, veloz é sua derrubada; e, a menos que paguem o imposto dos frutos nos galhos, pouca tristeza despertam quando morrem. É assim que vejo no meu pensamento. Quisera que as árvores falassem em defesa de todos os seres que têm raízes, e castigassem aqueles que lhes fizessem mal!”

J.R.R. Tolkien

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por iluminar mi camino y renovar mi fe y mis fuerzas todos los días.

A mi esposo, Diego Rocha, que me ayudó a trazar este camino, me apoyó a seguir con mis estudios en otro país, y estuvo presente en cada día y cada conquista.

A mis padres, que no pensaron dos veces en mudarse conmigo a Uruguay, y a toda mi familia en Brasil que me acompaña virtualmente con mucho cariño. Mi hermano Marcelo, que desde ahí de donde estas, estoy segura que me estás cuidando.

A mi director de tesis, Mauricio Ponce, por guiarme de forma brillante y paciente por este camino y que, aun cuando encontramos situaciones difíciles, fue capaz de agarrar mis manos, levantarme y reconducirme.

A mi codirector de tesis, Gustavo Daniluk, quien me ayudó en la postulación al doctorado, me recibió en el Depto. Forestal y aportó al desarrollo de este trabajo.

A todos los colegas del Depto. Forestal y de la Facultad de Agronomía, por los consejos, ayuda, abrazos y sonrisas. Un muchas gracias en especial a los “Andreses” Baietto e Hirigoyen.

A Virginia Gravina y Óscar Vallejos, por sus aportes y participación activa desde el desarrollo del proyecto hasta la finalización de la tesis.

A la Comisión Sectorial de Investigación Científica por el apoyo financiero para la realización de este trabajo.

A la Intendencia de Montevideo, por permitirme desarrollar el trabajo en el Parque Batlle, y en especial al Ing. Agr. Alfonso Arcos, por el aporte y revisión de datos e información, y las muy buenas conversaciones sobre la arboricultura.

A todos los voluntarios que participaron y donaron sus valiosas horas. A Mauricio y Óscar que vinieron desde Chile y a la Universidad de Talca que nos prestó los equipamientos, a la cooperativa General Flores y a sus cuida parques, así como a mis tesisas, les agradezco por la dedicación y responsabilidad.

A los amigos más antiguos de Brasil, y a los más nuevos compañeros uruguayos y de otras partes del mundo, muchas gracias por la compañía, las charlas virtuales y presenciales, y los momentos que compartimos juntos. Cada uno de ustedes me donó un adoquín que hizo más suave mi caminata.

TABLA DE CONTENIDO

	página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
EPÍGRAFE	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	VIII
SUMMARY	IX
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. MARCO TEÓRICO	1
1.1.1. <u>La evaluación del riesgo de los árboles</u>	1
1.1.2. <u>Componentes de los métodos de evaluación visual del riesgo</u>	3
1.1.3. <u>Niveles de evaluación del riesgo</u>	6
1.1.4. <u>Protocolos para la evaluación y gestión del riesgo</u>	7
1.1.5. <u>El rol de los diferentes tipos de evaluadores</u>	9
1.1.6. <u>Arbolado urbano de Montevideo</u>	11
1.1.7. <u>Parque José Batlle y Ordóñez</u>	16
1.1.8. <u>Características de los géneros <i>Tipuana</i> y <i>Eucalyptus</i></u>	17
1.2. HIPÓTESIS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	19
1.2.1. <u>Hipótesis</u>	19
1.2.2. <u>Preguntas de investigación</u>	19
1.3. OBJETIVOS	20
1.3.1. <u>Objetivo general</u>	20
1.3.2. <u>Objetivos específicos</u>	20
1.4. ESQUEMA GENERAL DE LA TESIS	21
2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	22
2.1. ÁREA DE ESTUDIO	22
2.2. FASE 1	22
2.2.1. <u>Árboles, evaluadores y métodos</u>	22
2.2.2. <u>Análisis estadístico – Comparación del componente probabilidad de falla de los niveles de evaluación 1, 2 y 3</u>	25
2.2.3. <u>Análisis estadístico – Nivel 1</u>	26

2.2.4. <u>Análisis estadístico – Comparación de los seis métodos de nivel 2</u>	27
2.3. FASE 2	29
2.3.1. <u>Propuesta de nuevos métodos</u>	29
2.3.2. <u>Análisis estadístico – Propuesta VR</u>	31
2.3.3. <u>Análisis estadístico – Propuestas VB y VD</u>	32
2.4. FASE 3	33
2.4.1. <u>Propuesta del protocolo</u>	33
2.4.2. <u>Análisis estadístico</u>	35
3. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	37
3.1. EVALUACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE FALLA UTILIZANDO TRES NIVELES DE EVALUACIÓN DEL RIESGO DE ÁRBOLES	37
3.2. COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE EVALUACIÓN VISUAL DEL RIESGO DE ÁRBOLES URBANOS.....	49
3.2.1. <u>Análisis por componente</u>	52
3.2.1.1. Probabilidad de falla.....	52
3.2.1.2. Probabilidad de impacto.....	53
3.2.1.3. Consecuencia	54
3.2.1.4. Clasificación del riesgo	57
3.3. PROPUESTA DE DOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN VISUAL DEL RIESGO PARA ÁRBOLES URBANOS	59
3.3.1. <u>Resultados por componentes</u>	59
3.3.2. <u>Análisis de la probabilidad de falla</u>	63
3.3.3. <u>Clasificación del riesgo</u>	64
3.4. PROPUESTA DE UN MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL RIESGO DE ÁRBOLES EN PARQUES URBANOS ADAPTADO A PROGRAMAS DE VOLUNTARIADO EN LA CIUDAD DE MONTEVIDEO.....	69
3.4.1. <u>Fase 1</u>	69
3.4.2. <u>Fase 2</u>	73
3.5. PROPUESTA DE UN PROTOCOLO DE EVALUACIÓN DEL RIESGO DE ÁRBOLES EN PARQUES URBANOS DE MONTEVIDEO	84

3.5.1 <u>Identificación de defectos en nivel 1 y valoración de defectos en nivel 2</u>	84
3.5.2. <u>Identificación de blancos en nivel 1 y nivel 2</u>	89
3.5.3. <u>Recomendación de evaluación visual básica</u>	92
3.5.4. <u>Evaluación del riesgo en nivel 2</u>	93
3.5.5. <u>Recomendación de evaluación de nivel 3</u>	95
3.5.6. <u>Riesgo de cada parte del árbol y riesgo general en nivel 3</u>	96
4. <u>CONCLUSIONES</u>	100
5. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	102
6. <u>ANEXOS</u>	117
6.1. CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DE LOS ÁRBOLES	117
6.2. EVALUACIÓN DEL RIESGO NIVEL 1 – FASE 1	118
6.3. EVALUACIÓN DEL RIESGO NIVEL 3	119
6.4. MÉTODO DE EVALUACIÓN VISUAL RÁPIDO (VR)	120
6.5. MÉTODO DE EVALUACIÓN VISUAL BÁSICO (VB)	125
6.6. MÉTODO DE EVALUACIÓN VISUAL DETALLADO (VD)	136
6.7. ENCUESTA A LOS EVALUADORES – APLICACIÓN DEL PROTOCOLO	153
6.8. ÁRBOLES EVALUADOS EN LA FASE 3 – APLICACIÓN DEL PROTOCOLO	156
6.9. TREE RISK ASSESSMENT: COMPONENT ANALYSIS OF SIX METHODS APPLIED IN AN URBAN PARK, MONTEVIDEO, URUGUAY	159
6.10. PROPOSAL OF TWO VISUAL TREE RISK ASSESSMENT METHODS FOR URBAN PARKS IN MONTEVIDEO, URUGUAY	160

RESUMEN

Los árboles urbanos aportan servicios ecosistémicos de gran importancia para las ciudades. Para que estos servicios sean aprovechados es importante que los árboles estén en buen estado, minimizando el riesgo a las personas, bienes y actividades esenciales debido a la caída de ramas o árboles enteros. Por ello, su condición debe ser debidamente evaluada para favorecer su presencia en la ciudad con niveles aceptables de riesgo. El objetivo general del trabajo fue proponer un protocolo de evaluación visual del riesgo para árboles urbanos ubicados en parques de Montevideo, Uruguay. La metodología fue dividida en tres fases, realizadas entre octubre de 2018 y febrero de 2021 en el Parque José Batlle y Ordóñez. Se evaluaron un total de 60 árboles, 30 del género *Tipuana* y 30 de *Eucalyptus*, participando 17 evaluadores con diferentes niveles de conocimiento y experiencia. En la fase 1 fueron analizados los tres niveles de evaluación del riesgo, según la norma ANSI A300 (limitado, básico y avanzado), seis métodos de evaluación visual básica utilizados a nivel internacional y evaluaciones no destructivas (tomógrafo sónico y resistógrafo). En la fase 2 se desarrollaron y analizaron tres métodos de evaluación (Visual Rápida - VR, Visual Básica - VB y Visual Detallada - VD). En la fase 3, se construyó y analizó un protocolo de evaluación del riesgo con estos tres niveles. Los principales hallazgos mostraron diferencias significativas entre tipos de evaluadores, géneros, métodos e interacción entre ellos. Los métodos de evaluación VR, VB y VD propuestos resultaron efectivos y eficaces en las situaciones aplicadas. El análisis de la clasificación del riesgo semicuantitativo mostró ser más adecuado para el método VB, mientras que el análisis cualitativo lo fue para el VD. Se observó buena repetibilidad de la utilización del protocolo, con concordancias promedio del 80% en las metodologías VR y VD y del 60% en VB. El protocolo propuesto fue capaz de discriminar los árboles por su nivel de riesgo y es viable para ser utilizado en parques urbanos de Montevideo.

Palabras clave: arboricultura, clasificación del riesgo de los árboles, árboles urbanos, árbol peligroso, bosque urbano

URBAN TREE RISK ASSESSMENT: PROPOSAL OF A PROTOCOL FOR MONTEVIDEO, URUGUAY

SUMMARY

Urban trees provide ecosystem services of great importance to the city. To take advantage of these services, it is important that the trees are in good condition, minimizing the risk to people, goods, and essential activities due to the fall of branches or entire trees. Therefore, their condition must be duly evaluated to favor their presence in the city with acceptable levels of risk. The main goal of the research was to propose a visual risk assessment protocol for urban trees located in parks in Montevideo, Uruguay. The methodology was divided into three phases, carried out between October 2018 and February 2021 at Parque José Batlle y Ordóñez. A total of 60 trees were assessed, 30 of the *Tipuana* genus and 30 of *Eucalyptus*, with 17 assessors of different levels of knowledge and experience participating. In phase 1, the three levels of risk assessment were analyzed, according to the ANSI A300 standard (limited, basic, and advanced), six methods of basic visual assessment used internationally, and non-destructive evaluations (sonic tomography and resistograph). In phase 2, three evaluation methods were developed and analyzed (Fast Visual - FV, Basic Visual - BV and Detailed Visual - DV). In phase 3, a risk assessment protocol with these three levels was built and analyzed. The main findings showed significant differences between types of assessors, genus, methods, and interaction between them. The proposed FV, BV and DV evaluation methods were effective and efficient in the applied situations. The semi-quantitative risk rating analysis proved to be more suitable for the BV method, while the qualitative analysis was more suitable for the DV. Good repeatability of the use of the protocol was observed, with an average agreement of 80% in FV and DV methods and 60% in BV. The proposed protocol was able to discriminate trees by their level of risk and is viable to be used in urban parks in Montevideo.

Keywords: arboriculture, tree risk rating, urban trees, hazardous tree, urban forestry

1. INTRODUCCIÓN

1.1. MARCO TEÓRICO

1.1.1. La evaluación del riesgo de los árboles

Los árboles urbanos aportan servicios ecosistémicos de gran importancia en la ciudad, como la captura de carbono proveniente de las emisiones de dióxido de carbono, la reducción del consumo eléctrico por enfriamiento o calentamiento de edificios y viviendas, la mitigación de las partículas en suspensión, entre otros, funciones que ayudan a proporcionar bienestar a la población (Nowak et al., 2006; Hernández, 2008; Haase et al., 2014; Hamstead et al., 2016; Ponce-Donoso et al., 2020). Asimismo, su presencia en la ciudad tiene un valor tanto intrínseco como monetario (Ponce-Donoso et al., 2012), lo que le otorga un valor patrimonial público y privado a las ciudades. Para que estos servicios sean potenciados, es importante que los árboles estén en buenas condiciones y adaptados al sitio para que su riesgo sea minimizado (National Tree Safety Group, 2011; Vogt et al., 2015), de lo contrario pueden llegar a causar daños a personas, bienes materiales o cortes de servicios esenciales por la caída de ramas o árboles enteros (Calaza e Iglesias, 2016). Considerando lo anterior, eliminar el riesgo total del arbolado urbano es una actividad económica y técnicamente inviable; por ello su gestión debe orientarse a conservarlo en su mejor estado, favoreciendo sus beneficios y longevidad (Calaza e Iglesias, 2016).

Evaluar la condición del árbol tiene como objetivos reconocer y reducir potenciales riesgos, conservando una cobertura deseable (van Wassenaer y Richardson, 2009; Tomao et al., 2015; Calaza e Iglesias, 2016). La remoción de un excesivo número de árboles condiciona los remanentes a nuevos ambientes que pudieran aumentar su riesgo de colapso (Johnson, 1981) y reduce los servicios ecosistémicos (National Tree Safety Group, 2011). En este contexto, la evaluación de la condición de riesgo del árbol urbano se releva para la sociedad, principalmente para los gestores municipales, planteando dos importantes desafíos: la determinación del riesgo y su gestión (Calaza e Iglesias, 2016).

Por lo señalado precedentemente, la evaluación del riesgo del árbol es eficiente si el evaluador comprende los factores clave (Albers y Hayes, 1993), como las características del sitio, las condiciones ambientales y los manejos anteriores (Matheny y Clark, 1994), identificando además potenciales blancos, especie, edad, salud y vigor (Pokorny, 2003; Norris, 2010; American National Standards Institute, 2011; Calaza e Iglesias, 2016; Koeser et al., 2016; Blodgett et al., 2017).

Los primeros estudios asociados a la evaluación del riesgo de árboles urbanos comienzan en las décadas de los 60/70 en áreas recreacionales, cuyos objetivos son la definición de los factores ambientales y las características de los árboles, buscando distinguir situaciones de riesgo (Wagener, 1963; Paine, 1971; Webster, 1978; Johnson, 1981). Seguidamente, desde la década del '90 se han propuesto diferentes métodos en base a una evaluación visual (Matheny y Clark, 1994; Pokorny, 2003; Forbes-Laird, 2010; Smiley et al., 2011). El primer método desarrollado por la Sociedad Internacional de Arboricultura (ISA), detallado en el libro "*A Photographic Guide to the Evaluation of Hazard Trees in Urban Areas*" (Matheny y Clark, 1994) presenta una descripción de los defectos usando fotografías, recomendando que la evaluación considere la estructura del árbol en función de las prácticas de manejo, especialmente las podas. Este método sirve como base para otros desarrollados posteriormente, como el "*Best Management Practice – Tree Risk Assessment*" (Smiley et al., 2011) y el "*Quantified Tree Risk Assessment*" (Ellison, 2005). En los años 2000, Pokorny (2003) recopila información generada en décadas anteriores por el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDAFS) y la ISA, proponiendo una guía de gestión del riesgo que incluye la división de los defectos en siete categorías, a saber: pudrición, grietas, problemas radiculares, uniones débiles, canchales, arquitectura pobre y árbol o parte de éste muertos.

En la última década otros métodos de evaluación visual del riesgo han sido desarrollados o revisados, entre ellos: "*Tree Hazard: Risk Evaluation and Treatment System*" (Forbes-Laird, 2010); "*A Guide to Identifying, Assessing, and Managing Hazard Trees in Developed Recreational Sites of the Northern Rocky Mountains and the Intermountain West*" (Guyon et al., 2017); "*Guide to Hazard Tree Management*"

(Blodgett et al., 2017); “*Best Management Practice – Tree Risk Assessment (2nd edition)*” (Dunster et al., 2017); “*Quantified Tree Risk Assessment (5th edition)*” (Ellison, 2020); “*Guidelines for tree risk assessment and management arrangement (9th edition)*” (Greening, landscape and tree management section, 2020); “*VALID Tree Risk-Benefit Assessment & Management*” (VALID, 2021).

En general los métodos presentan similitudes al analizar las probabilidades de que un árbol o parte de éste falle e impacte un blanco, y las consecuencias o daños que provocaría (Tomao et al., 2015), correspondiendo a los componentes que, al combinarlos, forman lo que se conoce como clasificación del riesgo (ISO, 2018).

1.1.2. Componentes de los métodos de evaluación visual del riesgo

La probabilidad de falla se relaciona a la presencia de defectos en el árbol. Según Tomao et al. (2015), conocer las características de la especie mejoraría la evaluación del riesgo, aspecto que se considera un factor importante en estudios que analizan datos de fallas post tormenta (Duryea et al., 1996; Jim y Liu, 1997; Francis, 2000; Duryea et al., 2007). Por ello, hay métodos que sugieren la utilización del perfil de fallas por especie (Matheny y Clark, 1994; Forbes-Laird, 2010; Smiley et al., 2011; Blodgett et al., 2017; Guyon et al., 2017), que además incorporen la susceptibilidad al ataque de agentes de biodeterioro y factores que agravan su estrés (Dunster, 1996), tales como viento, suelo compactado, entre otros. Existen métodos que son específicos para evaluar la probabilidad de falla, como el “*Visual Tree Assessment (VTA)*” (Mattheck, 2007; Mattheck et al., 2015) y el “*Static Integrated Assessment (SIA)*” (Wessolly y Erb, 2016), a través del uso y aplicación de conceptos asociados a la biomecánica del árbol (Calaza e Iglesias, 2016).

La parte del árbol más probable de fallar también es relevante, pues permite la estimación de las consecuencias de la falla y orienta las actividades de manejo para reducir el riesgo valorado. Durante 2016 en Madrid (España) se registra la caída de 454 árboles y 3.235 ramas (Morcillo San Juan, 2017), señalándose que la falla de una rama es siete veces más probable que la caída de un árbol completo.

Un segundo componente en la evaluación del riesgo es la probabilidad de impacto, cuyo atributo más utilizado para valorarlo es la tasa de ocupación, la que se

relaciona con la probabilidad que al fallar un árbol o parte de éste impacten un blanco, sean personas o bienes (Matheny y Clark, 1994). Así, áreas con mayor uso público o estructuras de gran valor, reciben mayor atención que zonas de menor uso o sin estructuras (Ellison, 2005; Papastavrou et al., 2010; Klein et al., 2016).

El tercer componente es la consecuencia, que corresponde a una medida indirecta de la proporción del daño que puede causar la caída del árbol o parte de éste (Koeser y Smiley, 2017). Para su cálculo es necesario conocer la densidad de la madera, que, junto a las diferencias entre especies y características anatómicas, es influenciada por el grado de descomposición (Ellison, 2005). Hay métodos que, además del diámetro de la parte más probable de fallar, incluyen la distancia de caída y el tipo de blanco como atributos (Ellison, 2005; Smiley et al., 2011; Tomao et al., 2015). Sin embargo, no todos los métodos incorporan este componente, como es el caso del “*Guide to Hazard Tree Management*”, desarrollado por el USDAFS (Blodgett et al., 2017).

La combinación de los componentes probabilidad de falla, probabilidad de impacto y consecuencia deriva en la clasificación del riesgo, la que puede expresarse en términos cualitativos, semicuantitativos o cuantitativos (ISO, 2018). La evaluación cualitativa define consecuencias, probabilidades y nivel del riesgo indicando niveles como “bajo”, “moderado” y “alto”; mientras que los métodos semicuantitativos utilizan escalas de evaluación numéricas para probabilidades y consecuencias, y se combinan para determinar un nivel de riesgo, cuyas escalas pueden ser lineales, logarítmicas u otra relación; por su parte, en el análisis cuantitativo se estiman valores realistas para consecuencias y probabilidades, aunque cuantificar el riesgo de los árboles puede ser limitado debido a la falta de casuística e información sistematizada (Smiley et al., 2011).

La clasificación del riesgo puede ser presentada en rangos cualitativos (Smiley et al., 2011) o como ranking (Matheny y Clark, 1994), disponiéndose de un intervalo de posibles resultados, donde a mayor valor, mayor el riesgo comparativamente (Norris, 2010). Algunos métodos de evaluación del riesgo del arbolado utilizan ambos tipos (Forbes-Laird, 2010; Guyon et al., 2017; Ellison, 2020), lo que permite

clasificar un número mayor de individuos, identificando los grupos críticos para priorizar tratamientos y distribuir presupuesto (Cox, 2009).

Independiente de la metodología utilizada, un aspecto de importancia para la evaluación del riesgo son las incertidumbres que generan algunos parámetros, relacionadas a la confiabilidad del resultado final, las que deben ser consideradas en la planificación, gestión y seguridad del arbolado urbano, ya sea en el desarrollo o adaptación de un método que evalúe el riesgo (Sampaio et al., 2010; Reyes de la Barra et al., 2018). Para esto, es indispensable comparar los resultados de la aplicación de distintos métodos y tipo de evaluadores, identificando aquel que tenga una mayor adherencia a las condiciones locales y presente un adecuado nivel de confiabilidad y repetibilidad de los resultados (Norris, 2010; Koeser et al., 2017; Koeser y Smiley, 2017; Reyes de la Barra et al., 2018).

Trabajos anteriores analizan métodos de evaluación del riesgo con distintos enfoques. Norris (2010) y Reyes de la Barra et al. (2018) comparan la clasificación final del riesgo utilizando diversos métodos de evaluación visual, encontrando diferencias significativas. Koeser y Smiley (2017) observan que el componente con mayor variabilidad es la probabilidad de impacto y la probabilidad de falla es el más consistente entre los evaluadores. Klein et al. (2016) analizan la probabilidad de impacto, comparando la percepción de evaluadores con datos de uso y ocupación de los espacios; encuentran que, si bien existe correlación significativa entre ambos, las evaluaciones mejoran cuando se incorporan los datos de tráfico.

En general los métodos de evaluación visual del riesgo de árboles urbanos son desarrollados para ser aplicados en contextos locales, aunque son usados en diferentes países sin una validación o adaptación, por lo que no pueden dar garantía de fiabilidad en su aplicación (Koeser et al., 2016). Al respecto, son escasos en Latinoamérica los estudios cuyo objetivo es evaluar la adhesión, adaptación o desarrollo de un método aplicable a una condición particular, ya sea territorial o de gestión. De las iniciativas existentes, algunos se orientan a proponer metodologías específicas al contexto (Sampaio et al., 2010; Conceição et al., 2018), mientras que otros las comparan y proponen ajustes a los métodos existentes (Reyes de la Barra

et al., 2018; Ivasko et al., 2019), sin que los resultados sean coincidentes para recomendar un método específico.

1.1.3. Niveles de evaluación del riesgo

La Norma A300 de la American National Standards Institute (2011), específicamente la parte 9 sobre evaluación del riesgo de árboles, proporciona directrices para esta práctica y propone estándares. Según esta norma, los métodos pueden ser divididos en tres niveles de aplicabilidad: nivel 1 - visual limitado, donde la evaluación puede ser realizada desde un móvil en movimiento; nivel 2 - visual básica, cuyo uso se apoya en un formulario y herramientas sencillas, como martillo de goma, binocular, entre otros; y el nivel 3 - evaluación avanzada, donde se incorporan equipos avanzados para detectar descomposición y calcular la resistencia remanente, como son tomógrafo sónico, penetrógrafo o radar de suelo.

De acuerdo con lo anterior, la evaluación de nivel 1, a pesar de ser limitada, suele ser utilizada para identificar los defectos más obvios del árbol, siendo una buena herramienta para evaluar una gran población de árboles (Rooney et al., 2005), respondiendo al principio de eficiencia que debería ser parte de las actuaciones municipales.

Respecto de la evaluación de nivel 2, existen distintos métodos, donde cada propuesta busca dar un enfoque que mejor se adapte a las necesidades del contexto donde se aplica (Calaza e Iglesias, 2016; Reyes de la Barra et al., 2018). Se destacan aquellos que utilizan la evaluación visual, siendo, entre otros, los más conocidos y difundidos entre los especialistas en arboricultura urbana los métodos: “*Tree Hazard Evaluation Method*” (Matheny y Clark, 1994), “*Quantified Tree Risk Assessment*” (Ellison, 2005) y “*Best Management Practice – Tree Risk Assessment*” (Smiley et al., 2011).

Por su parte, los niveles de incertidumbre que poseen los métodos de nivel 1 y 2 pueden estar relacionados a diversos factores, como la experiencia y el conocimiento que el evaluador tiene respecto de las características de la especie a evaluar. En algunos casos los defectos son muy visibles, como las grietas o la presencia de cuerpos fructíferos, pero gran parte de ellos no son fácilmente

identificables y muchas veces se deben realizar suposiciones. Calaza e Iglesias (2016) señalan que un buen evaluador puede analizar el estado de la madera a través de los cambios de color y textura, pero detectarlos en etapas iniciales es una tarea difícil. Para disminuir la incertidumbre de las evaluaciones, se recomienda una evaluación de nivel 3, que incorpora el uso complementario de instrumentos de análisis no destructivos (Wessolly y Erb, 2016).

Actualmente han sido estudiados y adaptados al ambiente urbano diversos tipos de instrumentos, como penetrógrafos, detectores ultrasónicos, medidores de conductividad eléctrica y radares, cuyo uso e interpretación no son sencillos (Calaza e Iglesias, 2016), lo que puede ser un desafío, ya que la experiencia sigue siendo un tema relevante al momento de evaluar el riesgo. Los métodos no destructivos para la evaluación de la condición interna de los troncos y ramas o de la distribución de las raíces, si bien son costosos a corto plazo debido al precio de adquisición del instrumental, proporcionan buena información y deberían ser utilizados de forma complementaria a la evaluación visual del riesgo (Wang y Allison, 2008; Guo et al., 2013).

Koeser et al. (2017) comparan evaluaciones de la probabilidad de falla realizadas por 70 evaluadores en cinco árboles, considerando la Norma ANSI A300 (American National Standards Institute, 2011), donde se utilizan los tres niveles de evaluación; encuentran que las medias de valoración a través del método de evaluación visual limitado (nivel 1) son menores que para los métodos visual básico (nivel 2) y avanzado (nivel 3), mientras que la diferencia entre estos últimos dos es menos pronunciada. Al respecto, concluyen que ninguno de los niveles de evaluación reduce las diferencias entre evaluadores.

1.1.4. Protocolos para la evaluación y gestión del riesgo

Los protocolos de gestión del riesgo son un conjunto de procedimientos y directrices que describen las actividades a ser realizadas para llevar a cabo la evaluación del riesgo (Hopkin, 2018). En la gestión del riesgo de los árboles urbanos, contar con un plan de manejo, donde se incluya un protocolo de evaluación del riesgo, es esencial para la gestión municipal que maneja centenas de miles de árboles

en calles, avenidas, parques y plazas de las ciudades. Los métodos de evaluación existentes pueden ser eficientes para evaluar y recomendar acciones de mitigación del riesgo, pero no es técnicamente práctico ni financieramente viable evaluar todos los árboles con un alto nivel de detalle (Pokorny, 2003), debido a la alta demanda de tiempo para hacer esta tarea.

Smiley et al. (2011) presentan en el “*Best Management Practices – Tree Risk Assessment*” dos diagramas de flujo con los procedimientos recomendados para llevar a cabo las evaluaciones de nivel 1 y nivel 2 (limitado y básico), desde la definición del alcance del trabajo hasta el informe de riesgo con las opciones de mitigación. Para el nivel 1 los autores recomiendan identificar los árboles con potencial de falla inminente y/o probable, además de la posibilidad de identificar aquellos donde es necesario un mayor nivel de evaluación, si ello estuviera acordado en el alcance del trabajo; a su vez, para el nivel 2, se recomienda evaluar las condiciones del sitio asociadas a una potencial falla y, en caso que sea necesario para complementar la evaluación, recomendar una evaluación de nivel 3 (avanzada).

VALID (2021) también considera la evaluación del riesgo en tres niveles — básico, detallado y avanzado—. El objetivo de la evaluación básica sería identificar árboles con características riesgosas obvias tolerables o no aceptables y, en estos árboles, recomienda la evaluación detallada utilizando una aplicación desarrollada específicamente para el método, conocida como “*VALID Tree Risk App*”; la evaluación avanzada es recomendada cuando se necesita más información sobre la probabilidad de falla, en casos donde el valor del árbol y sus servicios ecosistémicos compensan el costo de este tipo de evaluación.

Greening, landscape and tree management section (2020) presenta una serie de procedimientos que pueden ser utilizados a fin de priorizar los recursos disponibles para la mitigación del riesgo, como por ejemplo, dos opciones para llevar a cabo la evaluación: una basada en factores de la zona, como la tasa de ocupación o interrupción de servicios esenciales, y otra en el propio árbol. El autor indica una inspección en grupo para detectar de forma rápida los árboles potencialmente peligrosos, utilizando un sistema “*TRIAGE*” y, solamente en los casos que se identifique la necesidad, llevar a cabo una evaluación individual del árbol, que sería

similar a la evaluación de nivel 2 descrita por Dunster et al. (2017). El autor presenta un diagrama de flujo de la gestión del riesgo que incluye los niveles de evaluación, la categorización de los árboles a través del “TRIAGE” y los respectivos requerimientos para su mitigación y monitoreo.

A pesar de la existencia de protocolos y planes de gestión del riesgo de árboles urbanos en diferentes países, son escasas las investigaciones sobre la validación de éstos respecto a la reproducibilidad, eficiencia y eficacia, características esenciales para la viabilidad de su aplicación por parte de los gestores municipales.

Las validaciones de protocolos son frecuentes en la evaluación del riesgo que representan las plantas invasoras y las malezas. Sohrabi et al. (2020) adaptan la versión del sistema australiano de gestión del riesgo de malezas, evaluando su desempeño en 38 especies, concluyendo que el sistema puede ser ajustado y utilizado en otros países. A su vez, Koop et al. (2012) desarrollan un nuevo modelo de evaluación del riesgo de malezas para los Estados Unidos, que incluye una segunda herramienta de cribado para especies con necesidad de evaluación adicional, y comparan sus resultados con el sistema australiano; identifican una mayor precisión con el sistema propuesto, que además reduce de 22 a 12% la necesidad de una evaluación adicional. Estos mismos autores recomiendan para especies que presentan un riesgo moderado o alta incertidumbre en un nivel básico de evaluación, una evaluación más detallada que considere más factores, como las que se aplican para organismos genéticamente modificados.

1.1.5. El rol de los diferentes tipos de evaluadores

La incertidumbre inherente al proceso de evaluación del riesgo de árboles urbanos puede llevar a que los evaluadores arriben a conclusiones diferentes respecto del mismo árbol, principalmente debido a que sus evaluaciones están basadas por supuestos o existe una falta de objetividad que, a su vez, se fundamentan en distintos puntos de vista (Cox, 2009).

Norris (2010) propone que los métodos deben proporcionar resultados precisos, confiables, repetibles y verificables, y que los datos deben recopilarse de una manera fácil. Así, el autor, al investigar 15 métodos de evaluación de riesgo de

árboles urbanos, sustenta la hipótesis que diferentes evaluadores tendrían resultados similares, lo que ayudaría a identificar las diferencias producidas por cada método; sin embargo, a partir de la existencia de diferencias significativas entre ellos, concluye que la variación puede estar influenciada por la forma en cómo se calcula el resultado final de cada método. Por otra parte, Koeser y Smiley (2017) evalúan el impacto del profesional arbolista en el proceso de evaluación del riesgo, encontrando diferencias significativas entre evaluadores, tanto en aquellos que cuentan únicamente con certificación profesional de arbolista como en los que presentan además la certificación de evaluadores de riesgo. Estos autores indican que, si bien la valoración de la probabilidad de falla es poco precisa, el entrenamiento y mejores definiciones por parte de la industria podrían aumentar la repetibilidad de los otros componentes del riesgo.

Otros trabajos discuten la posibilidad de contar con voluntarios de la comunidad para actividades relacionadas a la arboricultura y los bosques urbanos. Still y Gerhold (1997) estudian las preferencias por actividades de los voluntarios y observan que existe un potencial de reclutamiento para las actividades de cuidado, plantación, inventario y educación. Bloniarz y Ryan (1996), Roman et al. (2017) y Bancks et al. (2018) comparan datos de inventario de árboles urbanos recolectados por voluntarios y por profesionales expertos, concluyendo que es viable que voluntarios recopilen datos con mayor precisión, como género y diámetro a la altura del pecho, pero respecto de la condición del árbol, es necesario mayor entrenamiento. Ball (1986) describe que uno de los problemas más comunes en el fracaso de programas de voluntariado es la falta de supervisión y administración; mientras que Hauer et al. (2018) opinan que, además, los voluntarios no deben ser utilizados como sustitutos del personal técnico y sí como un adicional.

La inclusión de voluntarios para actividades relacionadas con la gestión del riesgo todavía no ha sido objetivo de investigaciones. Roman et al. (2017) señalan que incluir la recolección de información sobre la condición de los árboles puede ser problemático para los técnicos municipales, debido a las implicancias de responsabilidad legal que están involucradas a la evaluación del riesgo y a la menor precisión en la recolección de este tipo de datos por los voluntarios. Por otro lado,

Pokorny (2003) indica que si los voluntarios reciben un mismo nivel de entrenamiento que el personal técnico, son supervisados por evaluadores expertos y pasan por controles de calidad que demuestren habilidad para realizar esta tarea, podrían ser incluidos en un programa de evaluación del riesgo.

Con respecto al contexto de Uruguay, el voluntariado crece de forma significativa en el periodo 1999 a 2001, pasando de 160 a 300 mil personas que realizan tareas destinadas a los temas de infancia y salud, principalmente (Bettoni y Cruz, 2001). En la última década hubo miles de voluntarios involucrados en tareas de colaboración en la construcción de viviendas y la mejora de servicios y espacios públicos (Gonnet, 2013), incluidas las áreas verdes. Específicamente relacionado al tema de arboricultura y bosques urbanos, en octubre de 2017 se funda el programa de voluntariado “Voluntárboles”, que en dos meses inventariaron más de 1.500 árboles y arbustos del Jardín Botánico de Montevideo, aportando una base de datos con un sistema de manejo para la institución, generándose un sentimiento de pertenencia por parte de la comunidad involucrada (Duarte et al., 2018).

1.1.6. Arbolado urbano de Montevideo

La ciudad de Montevideo, capital del Uruguay, está subdividida en ocho municipios – A, B, C, CH, D, E, F y G. Según el Censo de 2011, la población total de la ciudad es de 1.318.755 habitantes, donde el 99% se ubica en la zona urbana (Instituto Nacional de Estadística, 2011).

Posee una razón de 9 m² de áreas verdes por persona, en que la mayor parte corresponde a parques construidos desde el siglo XIX a inicio del XX (Economist Intelligence Unit, 2010). Montevideo cuenta con un arbolado público de más de 200.000 árboles ubicados en calles y avenidas públicas (Terrani, 2014), a los que se suman alrededor de 80.000 localizados en plazas y parques (Alfonso Arcos, comunicación personal, 12 de julio de 2021), con una proporción promedio de un árbol por cada cuatro habitantes. En general, las especies predominantes en el arbolado de calles son *Melia azedarach* L., *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, *Platanus x acerifolia* (Aiton) Willd. y *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze, que presentan una condición buena, pero un 16% corresponde a árboles con edad avanzada y de

gran porte (Terrani, 2014), características consideradas relevantes al momento de realizar una evaluación del riesgo (Dunster et al., 2017; Koeser y Smiley, 2017).

La gestión del arbolado urbano en la ciudad de Montevideo está dividida en tres grandes áreas: arbolado de veredas, arbolado de avenidas y grandes corredores y arbolado de parques y plazas. El arbolado de veredas es gestionado de manera descentralizada por cada uno de los ocho municipios, mientras que los dos últimos son gestionados centralmente por el gobierno departamental; la Intendencia de Montevideo a través del Servicio de Áreas Verdes es el encargado de coordinar que se utilicen los mismos criterios y parámetros técnicos en toda la ciudad (Intendencia de Montevideo, 2010).

Cada área tiene su plan de gestión y distintos prestadores de servicio, que se evidencia, por ejemplo, en que los árboles de los parques sufren poca o ninguna intervención, mientras que los árboles de avenidas de gran intensidad de tráfico de vehículos y peatones son intervenidos con mayor frecuencia. Así, es posible observar las mismas especies en ambos ambientes, pero con estructuras de copa distintas, causado principalmente por los diferentes tipo e intensidades de poda. Este manejo concommita con la aparición de factores de riesgo, como son las heridas no compartimentalizadas (Matheny y Clark, 1994).

La prensa escrita reporta la caída de ramas o árboles enteros principalmente durante los temporales que son habituales en el periodo primavera – verano, teniendo el caso del fallecimiento de una mujer en enero de 2012, producto del colapso de un árbol que cae sobre su auto (Montevideo Portal, 2014; El Observador, 2017; Telenoche, 2020; Subrayado, 2021).

De acuerdo con los datos aportados por el Servicio de Áreas Verdes de la Intendencia de Montevideo (Alfonso Arcos, comunicación personal, 22 de marzo de 2017), se registran 2.923 denuncias vinculadas preferentemente a temporales entre el 25 de enero de 2012 al 16 de marzo del 2017, que se relacionan con ejemplares caídos en la vía pública, que se quedan sostenidos por cableado/columnas, o por la aparición de defectos que indican una probabilidad de falla inminente, como grietas en el tronco, desgajos de ramas estructurales o movimientos del suelo. Los temporales de menor magnitud ocurren entre los meses de agosto a marzo, con

menos de 80 árboles con fallas por evento; mientras que los principales temporales ocurren entre los meses de septiembre a enero, con más de 180 denuncias por árboles con fallas por evento (Figura 1). La falla de árboles ocurre debido a la velocidad que alcanza los vientos y las ráfagas, que superan los 60 km/h, esto es, a partir de 7 en la escala de Beaufort (Dunster et al., 2017).

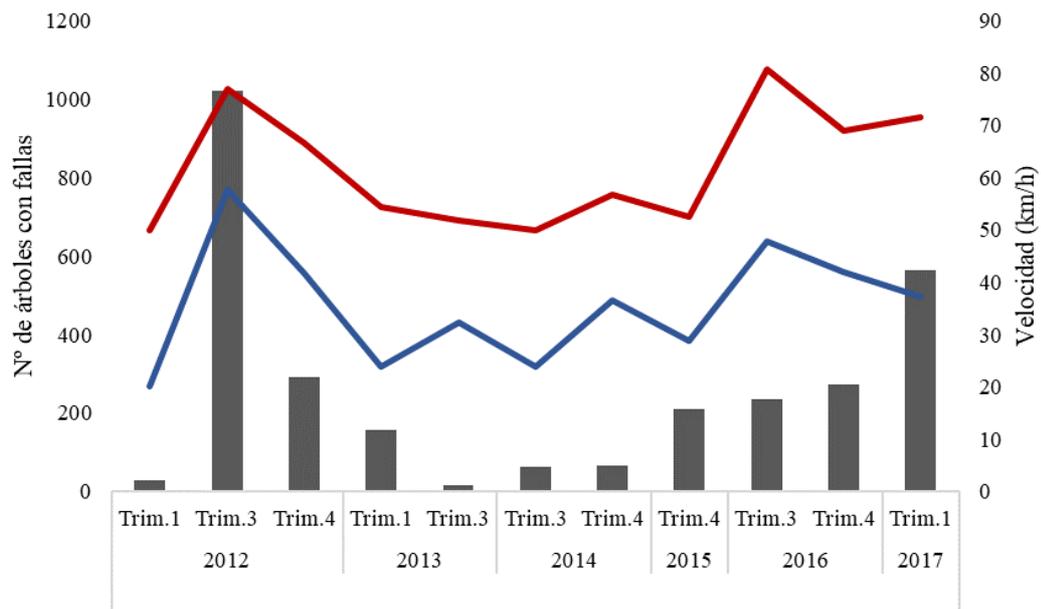


Figura 1. Registro de falla de árboles en el periodo de 2012 a 2017. Línea azul: velocidad del viento máxima registrada; línea roja: velocidad de la ráfaga máxima registrada. Elaborado a partir de datos de la Intendencia de Montevideo (Alfonso Arcos, comunicación personal, 22 de marzo de 2017).

De acuerdo con los registros de falla de árboles por municipio, en el CH, donde está ubicado el Parque José Batlle y Ordoñez, la *Tipuana tipu* está entre las tres con mayor incidencia de fallas. Las cinco especies con mayor número de registro de falla por municipio se muestran en la Figura 2.

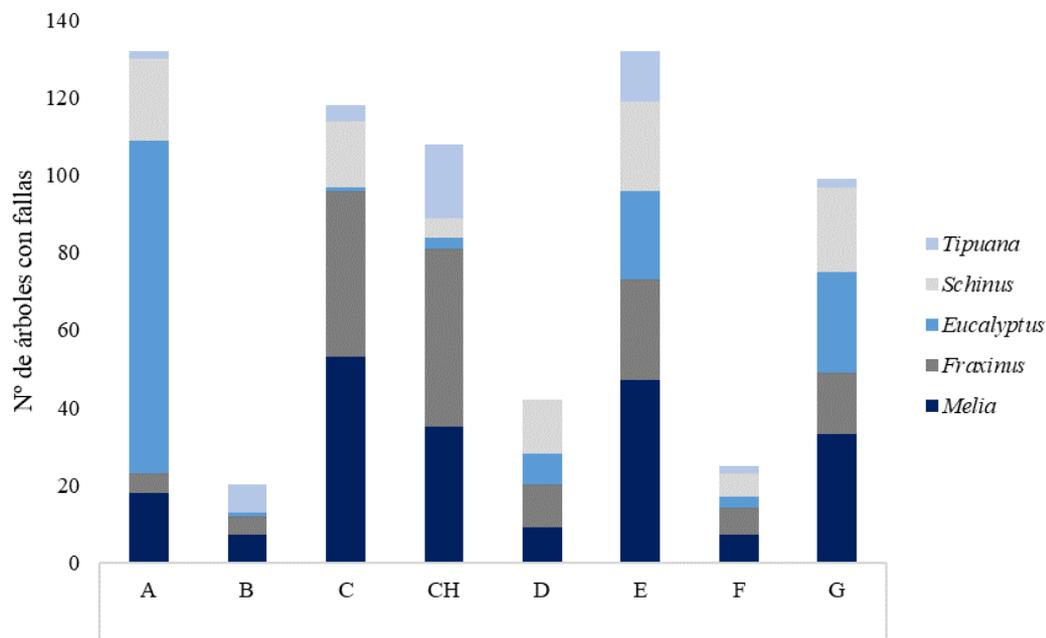


Figura 2. Registro de fallas de árboles por especie para cada municipio. Elaborado a partir de datos de la Intendencia de Montevideo (Alfonso Arcos, comunicación personal, 22 de marzo de 2017).

El Servicio de Áreas Verdes posee desde el año 2005 un documento llamado: “Instructivo para el relevamiento de información censal en alineaciones de árboles y arbustos en aceras de la ciudad”, donde se describe el trabajo a desempeñar por el empadronador, conceptos básicos y definiciones de las características que serán evaluadas de cada árbol, como por ejemplo, estado vegetativo, daños en las raíces, en el tronco y en la copa, interferencias y características dendrométricas, entre otros (Intendencia de Montevideo, 2005). En el año 2013 este manual es actualizado, incluyéndose descripciones relacionadas a los componentes del riesgo similar a lo descrito en Matheny y Clark (1994), tales como blancos, defectos del árbol, falla potencial, tamaño de la parte más probable de fallar, tasa de ocupación y el rating de peligro; además, se incluyen las acciones posibles para la reducción del riesgo identificado y los posibles efectos en árboles adyacentes (Intendencia de Montevideo, 2013).

En un informe sobre arbolado de calles y avenidas, de fecha de 21 de marzo de 2017, se señala que para algunas especies el porcentaje de incidencias de falla

durante temporales es mayor que la proporción a la que se presentan en la ciudad, como ocurre con *Melia azedarach*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Tipuana tipu*, *Schinus molle* y *Eucalyptus* sp.; la *Tipuana tipu* tiene mayor cantidad de registros de falla por rotura de ramas que por caída de árboles enteros, mientras que los *Eucalyptus* tienen una incidencia de fallas en temporales cuatro veces mayor (Arcos, 2017).

Entre los años 2013 y 2016 es evaluada la condición de riesgo de 116.236 ejemplares ubicados en calles y avenidas por el Servicio de Áreas Verdes (Figura 3).

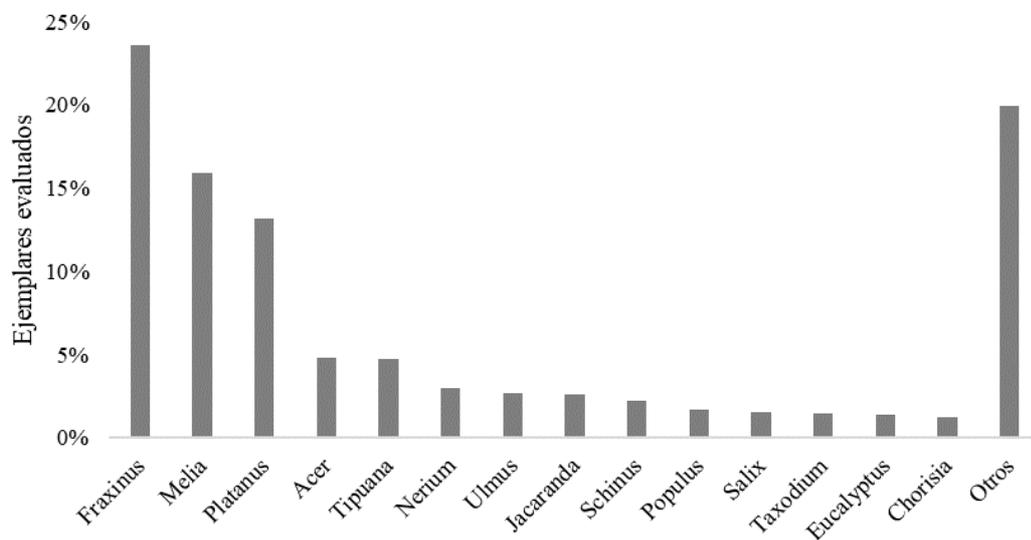


Figura 3. Géneros con mayor porcentaje de evaluaciones del riesgo en calles y avenidas. Elaborado a partir de datos de la Intendencia de Montevideo (Alfonso Arcos, comunicación personal, 22 de marzo de 2017).

De los géneros con mayor porcentaje de evaluaciones, *Chorisia*, *Nerium* y *Taxodium* presentan el 100% de los ejemplares con índice de riesgo muy bajo o no detección de riesgo; de los demás géneros, más del 90% de los individuos evaluados tienen un índice de riesgo muy bajo o no detección de riesgo y los géneros *Acer*, *Melia* y *Platanus* tienen mayor porcentaje de árboles con riesgo medio y alto (Figura 4).

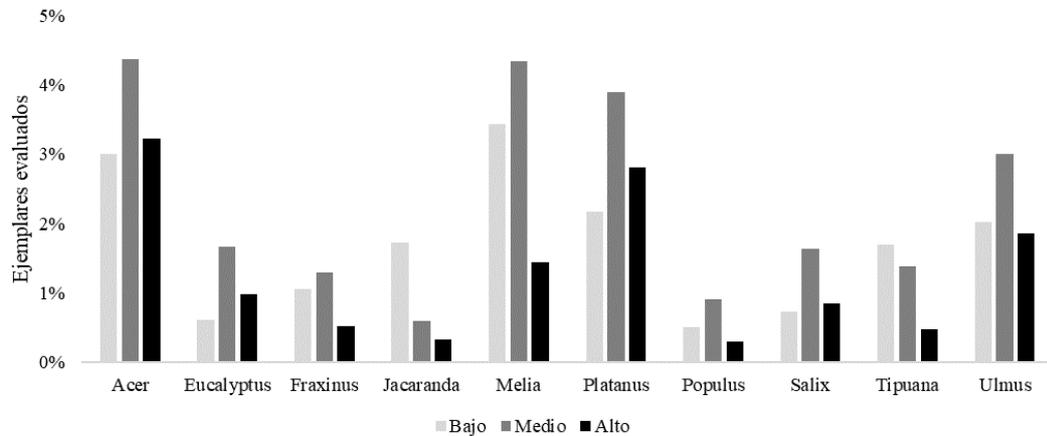


Figura 4. Distribución de los índices de riesgo de los géneros más evaluados en calles y avenidas. Elaborado a partir de datos de la Intendencia de Montevideo (Alfonso Arcos, comunicación personal, 22 de marzo de 2017).

1.1.7. Parque José Batlle y Ordóñez

El Parque José Batlle y Ordóñez está ubicado en la zona central de Montevideo, conectando importantes áreas de la ciudad y rodeado de avenidas de intenso tráfico vehicular y peatonal. Abarca un área de 52,05 ha, con un 74% de áreas verdes (Facultad de Arquitectura, 2008); incluye áreas deportivas (Estadio Centenario, Pista de Atletismo y clubes deportivos privados), áreas culturales (Velódromo Municipal) y recreativas (juegos infantiles). En el mismo estudio se señala que se realizan diversas actividades como caminar/pasear/tomar sol (37,1%), tomar mate (15,1%), pasear niños (11,2%), practicar deportes/ejercicios (10,2%), pasear mascotas (5,7%), contemplar la naturaleza (3,9%), leer/estudiar (3,1%) y otros (13,7%). La zona dispone de diferentes servicios, como los hospitales Italiano, Británico, Pereira Rossell, Centro Médico y Sanatorio Americano (Carrier y Peniza, 2010), la Escuela N° 100 Héctor Fígoli, además de varios locales comerciales y 25 monumentos de diferentes envergaduras. El parque se destaca como un área de afluencia de personas, especialmente durante la realización de eventos deportivos y culturales (Carrier y Peniza, 2010).

El arbolado del Parque José Batlle y Ordóñez es la más grande área verde del centro de la ciudad y, a pesar de la presencia de muchos ejemplares de especies perennifolias, que podrían reducir su aprovechamiento en el invierno, el área sigue

siendo durante todo el año un importante centro de disfrute para los ciudadanos. De las especies arbóreas presentes, se destacan entre otras: *Quercus suber* L., *Araucaria bidwillii* Hook., *Cupressus sempervirens* L., *Ginkgo biloba* L., *Tipuana tipu* y distintas especies del género *Eucalyptus* L'Hér. (Lombardo, 1979). Especialmente los dos últimos son encontrados en gran número, tanto en alineación en las aceras como en zonas interiores del parque.

1.1.8. Características de los géneros *Tipuana* y *Eucalyptus*

Tipuana es un género uniespecífico, cuya especie es *Tipuana tipu*, árbol muy cultivado en Argentina, adaptado a las regiones templadas, templado-cálidas y húmedas de ese país (Tortorelli, 2009), pero también ampliamente utilizado en el arbolado urbano de Uruguay (Lombardo, 1979; Terrani, 2014) y del sur y sureste de Brasil (Lorenzi, 2003). Es un árbol de gran porte que puede alcanzar 40 m de altura y 1,60 m de diámetro a la altura del pecho (DAP), de crecimiento medio a rápido y un ciclo de vida medianamente longevo; la madera presenta porosidad semicircular, con densidad entre 670 a 750 kg/m³, módulo de rotura a la flexión de 1.360 kg/cm² y 450 kg/cm² el módulo de rotura a compresión axial (Tortorelli, 2009).

La forma de la copa suele ser umbeliforme cuando el crecimiento es libre de interferencias y podas, pero puede ocurrir un cambio hacia una forma flabeliforme cuando son efectuadas podas de reducción y elevación (Bobrowski et al., 2013). Estos árboles tienden a desarrollar troncos codominantes, que podrían resultar en potenciales puntos de falla; además, la resistencia de las ramas es moderada a débil, que a través de una poda de formación podría reducirse la probabilidad de falla al disminuir su masa y mejorar la resistencia de las uniones (Urban Forest Ecosystems Institute, 2021).

Según los resultados del diagnóstico fitosanitario de 1.109 árboles de *Tipuana tipu* en la ciudad de São Paulo (Brazolin, 2009), un 30,5% presentan síntomas de decaimiento de la madera provocado por hongos xilófagos y el 27,7% están infestadas por termitas xilófagas. El autor atribuye este hallazgo al manejo inadecuado —especialmente las podas—, que causan lesiones que permiten la entrada de los agentes de deterioro. Brazolin et al. (2010) reportan una asociación

entre la presencia de hongos descomponedores y termitas subterráneas, indicando que estos organismos interactúan en el proceso de biodeterioro del leño de esta especie. Brazolin et al. (2011) detectan la presencia de pudrición blanca del duramen en el 85% de los árboles de *Tipuana tipu* analizados, confirmando que es la principal causa de los problemas estructurales en la especie; además, solamente el 15% de los árboles presentan pudrición de la albura asociadas a lesiones externas, indicando que el deterioro del duramen se origina en el interior del tronco, sin conexión con daños externos.

El género *Eucalyptus* es uno de los más cultivados en el mundo, con centenas de especies y gran adaptabilidad a los más diversos climas; las especies arbóreas son de gran porte, con alturas de 10 a 50 m (Brussa, 1994). En Montevideo una cantidad importante de especies de *Eucalyptus* son introducidas, tanto con objetivo comercial como ornamental, especialmente para parques urbanos. En el Parque José Batlle y Ordóñez, particularmente, se tiene, entre otras, el registro de las especies *E. tereticornis* Sm., *E. camaldulensis* Dehnh., *E. polyanthemos* Shauer, *E. tricarpa* (L.A.S.Johnson) L.A.S.Johnson & K.D.Hill, *Eucalyptus x trabutii* Vilm. ex Trab., *E. robusta* Sm., *E. punctata* A.Cunn. ex DC. y *E. globulus* Labill. (Lombardo, 1979).

Estas especies presentan características adaptativas y mecanismos de defensa que son importantes en la evaluación de su condición: tienen un patrón de crecimiento indefinido, es decir, ausencia de una yema apical definida; en condiciones extremas de sequedad o frío, cuando los brotes son dañados, al mejorar las condiciones climáticas, las yemas latentes son activadas y son producidos nuevos brotes, continuando su desarrollo; algunas yemas que permanecen latentes indefinidamente son encontradas en el tejido cortical del tronco (yemas corticales) y, cuando el individuo es seriamente lesionado, estas yemas interrumpen la latencia y generan nuevos brotes con características de rebrotes de cepa; muchas especies presentan hojas con cutículas gruesas y reducción de la superficie foliar, adaptadas a las sequías, y algunas presentan raíces adventicias lignificadas, como el *E. robusta*, que pueden estar asociadas a daños en la corteza, y tienen la función de suministro de agua al árbol; cuando ramas secundarias y brotes son afectados por el fuego, las

ramas primarias y el tronco producen brotes epicórmicos, que con el pasar del tiempo constituirán una nueva copa (Brussa, 1994).

Las maderas presentan características semejantes en *E. tereticornis*, *E. camaldulensis*, *E. polyanthemos*, *E. tricarpa*, *E. punctata*, *E. robusta* y *E. globulus*: son duras, resistentes y con duramen durable, grano entrecruzado y densidades que van entre los 625 a 1.115 kg/m³ (Boland et al., 2006).

El género *Eucalyptus* es reportado en la literatura como susceptible a presentar un tipo de falla de ramas llamado *Summer Branch Drop* (Harris, 1983; Calaza, 2015), que es la caída repentina de ramas estructurales de tamaño importante, generalmente durante condiciones climáticas normales, en días cálidos y sin viento. Tso et al. (2014) describen el perfil de falla de *E. globulus* y la parte del árbol con más registros de falla son las ramas (44%), donde la causa más común es la sobrecarga en las pesadas ramas laterales (54%); mientras que el decaimiento se reporta en el 45% de los registros de fallas de ramas. La falla de las raíces son un 42% de los casos registrados, donde un 62% se asocia a decaimiento radicular y en 71% ocurren durante condiciones climáticas adversas, con vientos de alta intensidad. Con respecto a las fallas en troncos (14%), el mismo autor indica que un 51% ocurren a nivel del suelo y en el 33% de los casos la causa es la presencia de troncos codominantes; el decaimiento se reporta en el 23% de las fallas del tronco.

1.2. HIPÓTESIS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 Hipótesis

Dada la existencia de metodologías que evalúan el riesgo de árboles urbanos que son aplicadas en sus respectivos contextos, en consecuencia, es posible proponer un protocolo de evaluación visual del riesgo para árboles ubicados en parques urbanos de Montevideo, que sea confiable, repetible, eficiente y eficaz.

1.2.2 Preguntas de investigación

A continuación, se presentan las preguntas que orientan esta tesis.

¿Hay diferencias significativas entre métodos de evaluación visual del riesgo de árboles urbanos, considerando sus componentes y la clasificación del riesgo?

¿Tienen efecto significativo en las evaluaciones visuales del riesgo del árbol urbano el nivel de conocimiento, la experiencia de los evaluadores y el género de los árboles?

¿Podrá el protocolo propuesto reducir las diferencias de las evaluaciones visuales del riesgo del árbol urbano, considerando los distintos tipos de evaluadores, manteniendo su confiabilidad, repetibilidad, eficiencia y eficacia?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Proponer un protocolo de evaluación visual del riesgo para árboles urbanos ubicados en parques de Montevideo, Uruguay.

1.3.2. Objetivos específicos

a) Aplicar tres niveles de evaluación del riesgo, identificando las limitaciones con respecto al contexto de Montevideo;

b) Comparar seis métodos de evaluación visual del riesgo de nivel 2, identificando las diferencias por componente y las limitaciones en la aplicabilidad de los métodos respecto a la experiencia del evaluador;

c) Proponer dos métodos para la evaluación visual del riesgo de árboles urbanos en parques, que difieran en el nivel de detalle de la información recolectada en campo;

d) Ajustar al contexto de Montevideo un método de nivel 1 de evaluación visual del riesgo de árboles en parques urbanos, para ser utilizado en programas de voluntariado;

e) Proponer un protocolo para evaluación del riesgo de árboles en parques urbanos, conteniendo tres niveles de evaluación visual, posibilitando la inclusión de evaluadores con distintos grados de conocimiento y experiencia.

1.4. ESQUEMA GENERAL DE LA TESIS

Este trabajo está organizado en seis capítulos. El capítulo 1 realiza una revisión del estado del arte vinculado con la evaluación del riesgo del árbol urbano y enuncia la hipótesis, las preguntas que orientan esta investigación y los objetivos. El capítulo 2 describe las metodologías de campo y de análisis estadísticos aplicados. En el capítulo 3 se presentan y discuten los resultados, que son divididos en cinco apartados, cada uno relacionado a los objetivos específicos. En el capítulo 4 se presentan las conclusiones y en el capítulo 5 las referencias bibliográficas utilizadas. Los anexos se encuentran en el capítulo 6, en el que además de datos dendrométricos de todos los árboles evaluados y formularios utilizados, están dos artículos: en el apartado 6.9 se encuentra el artículo “Tree Risk Assessment: Component analysis of six visual methods applied in an urban park, Montevideo, Uruguay”, publicado en la revista *Urban Forestry & Urban Greening*, volumen 59 (2021), cuyos autores son Coelho-Duarte, Daniluk-Mosquera, Gravina, Vallejos-Barra y Ponce-Donoso; en el apartado 6.10 se encuentra el artículo “Proposal of two visual tree risk assessment methods for urban parks in Montevideo, Uruguay”, publicado en la revista *Bosque*, volumen 42 (2) 2021, cuyos autores son Coelho-Duarte, Daniluk-Mosquera, Gravina, Hirigoyen, Vallejos-Barra y Ponce-Donoso.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo de campo fue realizado en el Parque José Batlle y Ordóñez, Montevideo, Uruguay (34°53'45"S y 56° 9'33"O). La ciudad se ubica a 136 msnm y posee una población de 1,3 millones de habitantes, representando casi el 50% del total de la población del país. Posee un clima subtropical húmedo de Köppen-Geiger (Cfa) con una temperatura media anual de 16,7°C y una precipitación anual de 1.100 mm; el invierno es húmedo, ventoso y nublado, con ocurrencia de temporales y tormentas; mientras que el verano es cálido y húmedo, con poco viento (Instituto Uruguayo de Meteorología, 2020).

Para la realización de las diferentes fases, fueron seleccionados ejemplares de los géneros *Eucalyptus* y *Tipuana*, ampliamente presentes en el parque y áreas de la ciudad, que se alinean en aceras, áreas internas y senderos del parque. La mayoría de los árboles seleccionados estaban ubicados donde prevalecía el movimiento de vehículos y peatones, aunque también se seleccionaron algunos ubicados en áreas al interior del parque, que presenta un uso ocasional a intermitente. La selección consideró las distintas situaciones vinculadas a los componentes de probabilidad de falla, probabilidad de impacto y consecuencia, incorporando árboles en todos los posibles niveles de riesgo.

2.2. FASE 1

2.2.1. Árboles, evaluadores y métodos

Para la primera etapa fueron seleccionados 16 ejemplares de cada género. En estos árboles fueron aplicados tres niveles de evaluación del riesgo —nivel 1, nivel 2 y nivel 3—. Las características dendrométricas de altura y DAP fueron medidas (Anexo 6.1).

Las evaluaciones fueron llevadas a cabo entre los meses de octubre y diciembre de 2018, realizadas de forma individual por ocho personas divididas en tres grupos: dos profesionales con experiencia en evaluaciones de riesgo del arbolado

urbano, tanto visuales como a través de tecnologías avanzadas —llamado grupo Experto—; tres estudiantes de último año de la carrera de agronomía opción forestal, sin experiencia previa en evaluaciones de riesgo —llamado grupo Sin experiencia—; y tres voluntarios de la comunidad sin experiencia y conocimientos previos en la temática —llamado grupo Voluntario—. El grupo Voluntario realizó solamente evaluaciones de nivel 1, mientras que el grupo Sin experiencia realizó las evaluaciones de nivel 1 y 2; a su vez, el grupo Experto realizó evaluaciones de los tres niveles.

Para el nivel 1 todos los evaluadores tuvieron un máximo de 5 minutos para visualizar el árbol y marcar las categorías de probabilidad de falla, de impacto, consecuencia y clasificación del riesgo que mejor representaba la situación, basado en las categorías descritas en el método ISA BMP (Dunster et al., 2017) para cada uno de los componentes (Anexo 6.2).

Para el nivel 2 fueron utilizados los siguientes métodos de evaluación visual (Cuadro 1): ISA M&C “*A photographic Guide to the Evaluation of Hazard Trees in Urban Areas*” (Matheny y Clark, 1994); ISA BMP “*Best Management Practices – Tree Risk Assessment*” (Dunster et al., 2017); QTRA “*Quantified Tree Risk Assessment*” (Ellison, 2018); THREATS “*Tree Hazard: Risk Evaluation and Treatment System*” (Forbes-Laird, 2010); USDA 1 “*A Guide to Identifying, Assessing, and Managing Hazard Trees in Developed Recreational Sites of the Northern Rocky Mountains and the Intermountain West*” (Guyon et al., 2017); y USDA 2 “*Guide to Hazard Tree Management*” (Blodgett et al., 2017).

A fin de analizar la información sobre los daños potenciales que podrían causar la falla de los ejemplares evaluados, fue calculado el porcentaje de los defectos identificados en cada método y, a través del método de nivel 2 ISA BMP (Dunster et al., 2017), fue extraída la información del tamaño de la parte más probable de fallar.

Cuadro 1. Atributos de los componentes y clasificación del riesgo de los métodos.

Método	Probabilidad de Falla	Probabilidad de Impacto	Consecuencias	Clasificación del Riesgo
ISA M&C (Matheny y Clark, 1994)	Defectos estructurales	Tasa de uso y ocupación	Tamaño de la parte	Potencial de falla + Clasificación del blanco + Tamaño de la parte Ranking de 3 a 12 puntos
ISA BMP (Dunster et al., 2017)	Defectos, perfil de falla de la especie, condiciones del sitio, factores ambientales, crecimiento respuesta	Tasa de ocupación, zona de impacto para el defecto identificado	Tipo de blanco, tamaño de la parte, características de la caída, distancia de caída, factor de protección del blanco	Matriz 1: Probabilidad de falla x Probabilidad de impacto Matriz 2: Probabilidades x Consecuencia Rangos divididos en: <i>Bajo – Moderado – Alto – Extremo</i>
QTRA (Ellison, 2018)	Defectos estructurales, condiciones meteorológicas prevalentes	Tipos de diana (construcciones, humanos, vehículos), frecuencia de uso o valor monetario	Tamaño de la parte Puede considerar la degradación en el caso de ramas muertas, y aplicar un múltiplo de “Peso Reducido”, descontando el tamaño a la mitad o a un cuarto del valor	Los rangos se introducen en una calculadora manual o software, combinándose para obtener el <i>Riesgo de Daño</i> El ranking varía de 1/1 a 1/<1.000.000 Se divide en 4 rangos, basados en la expresión ALARP: <i>Ampliamente aceptable – Tolerable – Tolerable/inaceptable – Inaceptable</i>
THREATS (Forbes-Laird, 2010)	Defectos identificados considerando el histórico de la especie, criterios de falla establecidos y época del año	Zona de impacto para el defecto identificado, blanco potencial, tasa de ocupación	Tamaño de la parte, altura de caída/impulso, protección de la diana	Probabilidad de falla x Puntuación del blanco x Puntuación del impacto Ranking varía de 0 a 20.000 puntos Dividido en 7 rangos llamados <i>Categoría de amenaza</i> , incluye recomendaciones de acción y plazo de ejecución: <i>Insignificante – Mínimo – Leve – Moderado – Significante – Grave – Extremo</i>
USDA 1 (Guyon et al., 2017)	Defectos identificados Considera la posibilidad de aumentar el puntaje en caso de presencia de defectos combinados	Zona de impacto potencial, tasa de ocupación, tipo de blanco	Tamaño de la parte, altura de caída	Potencial de falla + Valor del blanco + Daño potencial El ranking varía de 3 a 10 puntos Divide en 4 rangos: <i>Bajo – Medio – Alto – Severo</i>
USDA 2 (Blodgett et al., 2017)	Defectos estructurales relacionados con la forma de crecimiento, daños mecánicos o enfermedades	Basado en el nivel de exposición al peligro potencial (tasa de ocupación), tipo de blanco	El método no incluye la valoración de la consecuencia	Blanco potencial x Peor defecto Ranking varía de 0 a 6 puntos, excluyendo el 5 Subdivide en 3 rangos de <i>Peligro Potencial</i> y su respectiva sugerencia de acción: <i>Bajo – Moderado – Alto</i>

Para el nivel 3 fueron realizadas evaluaciones con dos instrumentos no destructivos: el resistógrafo (IML-RESI PD-Series) y el tomógrafo de impulso 2D (RINNTECH® ARBOTOM®). Para todos los árboles se utilizó el ajuste del resistógrafo con velocidad de penetración de 25 cm/minuto y velocidad de rotación de 1.500 rotaciones/minuto; en todas las evaluaciones se buscó mantener la horizontalidad del aparato (ángulo de entrada de 0°). Los aparatos fueron posicionados únicamente en el tronco, de acuerdo con la presencia de defectos y, en algunos casos, se llevó a cabo más de una aplicación por árbol. Las evaluaciones con el resistógrafo fueron realizadas en la dirección de o entre los sensores del tomógrafo que presentaban alguna zona con posible deterioro identificado en la imagen del tomograma, y en la misma altura de la medición de éste. Al final de la aplicación instrumental, los evaluadores observaban las imágenes generadas por cada técnica y marcaban en una planilla (Anexo 6.3) la categoría de probabilidad de falla correspondiente (improbable, posible, probable e inminente). Para esta actividad fueron utilizadas las imágenes del software del resistógrafo y las generadas en la aplicación de análisis mecánica del software del tomógrafo con el ajuste automático.

Para el componente probabilidad de falla se usaron las mismas cuatro categorías, señaladas en el párrafo anterior, para los tres niveles de evaluación. Luego, para el procesamiento estadístico, fueron transformadas en rangos numéricos de 1 a 4, donde 1 corresponde a la categoría más baja (improbable) y 4 a la más alta (inminente).

Todos los evaluadores tuvieron un entrenamiento inicial que incluyó la descripción de los niveles de evaluación, las características del Parque José Batlle y Ordóñez y de las especies arbóreas estudiadas.

2.2.2. Análisis estadístico – Comparación del componente probabilidad de falla de los niveles de evaluación 1, 2 y 3

En el análisis estadístico se incluyeron 192 evaluaciones de los evaluadores del grupo Experto. Diferencias entre géneros, niveles de evaluación, evaluadores y la interacción entre éstos fueron testeadas utilizando análisis de varianza (ANOVA) a un nivel $P < 0,01$. Para el ANOVA se utilizó un modelo lineal mixto (MLMix),

considerando como factor aleatorio el efecto “árbol”, evitando así problemas de falta de independencia y multicolinealidad, dado que todos los métodos fueron aplicados en los mismos árboles. Cuando la hipótesis nula fue rechazada, los promedios fueron comparados utilizando la prueba *Least Significant Difference* (LSD) de Fisher ($\alpha=0,01$). Los datos fueron analizados con la función lmer de la librería lme4 de R, interconectado al *software* InfoStat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020). Asimismo, para construir los gráficos se usó SigmaPlot versión 12.

Con respecto a las evaluaciones de nivel 2, fueron analizadas las partes más probables de fallar marcadas por los evaluadores para todos los árboles, que en algunos casos correspondió a más de una parte por árbol. Para este nivel fueron analizadas las evaluaciones utilizando el método ISA BMP. De las evaluaciones de nivel 3, fueron extraídos los datos del registro realizado con el resistógrafo y el tomógrafo. De este último, fue procesada la información del ARBOTOM® a través de *Mechanic Graph*, que presenta las velocidades mínimas, medias y máximas de la propagación de la onda entre los sensores, y que indicaría la pérdida de resistencia mecánica de la parte en función de la forma del tronco, la ubicación y el porcentaje de la zona con decaimiento (Rinn, 2012). Se extrajo información con ajuste automático y manual; el uso del ajuste manual del software consistió en la exclusión de las velocidades detectadas como *outliers* en el gráfico de estadística del propio software y a partir de ello fueron seleccionadas las velocidades mínimas y máximas.

2.2.3. Análisis estadístico – Nivel 1

Los datos de los componentes de probabilidad de falla, probabilidad de impacto, consecuencia de la falla y la clasificación del riesgo de los tres grupos de evaluadores fueron analizados, lo que generó un total de 1.024 datos. Las diferencias entre géneros, tipo de evaluadores y la interacción entre ambos fueron testeadas utilizando un ANOVA a un nivel $P<0,01$, en que se empleó un MLMix, considerando como factor aleatorio el efecto “árbol”. También se testeó los resultados de los evaluadores dentro del grupo Experto, utilizando el mismo análisis anterior. Las medias fueron comparadas utilizando la prueba LSD de Fisher ($\alpha=0,01$). Los datos fueron analizados con la función lmer de la librería lme4 de R,

interconectado al *software* InfoStat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020). Para construir los gráficos se usó SigmaPlot versión 12.

2.2.4. Análisis estadístico – Comparación de los seis métodos de nivel 2

Cada método fue analizado a través de los componentes probabilidad de falla, probabilidad de impacto, consecuencia y clasificación del riesgo. Como los métodos tienen distintas formas de valoración y combinación de los componentes, que se expresan tanto en rangos y/o rankings de tipo numérico, probabilístico o literal, se realizó una estandarización para homogenizarlos. Basado en la comparación cualitativa de Norris (2010), se identificó que la mayoría de los componentes presentan cuatro rangos (Cuadro 2), optándose por estandarizar los componentes de cada método en rangos de 1 a 4, donde 1 corresponde al rango más bajo (ej. improbable, bajo o insignificante) y 4 al rango más alto (ej. inminente, extremo, severo). Para los métodos que tenían componentes con menos o más de cuatro rangos, se utilizó como base las descripciones de los dos métodos de la ISA (Matheny y Clark, 1994; Dunster et al., 2017), categorizándolos con el de mayor similitud.

El análisis incluyó 960 evaluaciones que, descompuesto por componente, sumó un total de 3.680 datos. Diferencias entre géneros, métodos, tipo de evaluadores y la interacción entre éstos fueron testeadas utilizando un ANOVA a un nivel $P < 0,05$, a través del modelo lineal generalizado mixto (MLGM), considerando como factor aleatorio el efecto “árbol”. Cuando la hipótesis nula fue rechazada, los promedios fueron comparados utilizando la prueba LSD de Fisher ($\alpha = 0,05$). Los datos fueron analizados con la función *glmer* de la librería *lme4* de R, interconectado al *software* InfoStat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020). Para construir los gráficos se usó SigmaPlot versión 12.

Cuadro 2. Métodos, componentes e índices estandarizados.

Método	Probabilidad de Falla		Probabilidad de Impacto		Consecuencia		Clasificación del Riesgo	
	Método	Índice	Método	Índice	Método	Índice	Método	Índice
ISA BMP	Improbable	1	Muy bajo	1	Despreciable	1	Bajo	1
	Posible	2	Bajo	2	Menor	2	Moderado	2
	Probable	3	Medio	3	Significante	3	Alto	3
	Inminente	4	Alto	4	Severo	4	Extremo	4
ISA M&C	Bajo	1	Uso ocasional	1	< 15 cm	1	3 a 8	1
	Medio	2	Uso intermitente	2	15 - 45 cm	2	9	2
	Alto	3	Uso frecuente	3	45 - 75 cm	3	10	2
	Severo	4	Uso constante	4	> 75 cm	4	11	3
						12	4	
USDAI	Muy bajo	1	Bajo	1	Menor	1	3 a 7	1
	Bajo	2	Moderado	2	Medio	3	8	2
	Medio	3	Alto	4	Extensivo	4	9	3
	Alto	4					10	4
USDA2	0	1	Medio	1			0 y 1	1
	1	2	Alto	4			2 y 3	2
	2	3					4	3
	3	4					6	4
THREATS	0	1	0	1	< 10 cm	1	1 a 3	1
	0,8	1	7	1	10 - 35 cm	2	4 y 5	2
	2	2	15	2	35 - 75 cm	3	6	3
	8	3	20	2	> 75 cm	4	7	4
	50	4	25	3				
		40	4					
QTRA	7	1	6	1	2,5 - 10 cm	1	Ampliamente	1
	6	2	5	1	11 - 25 cm	2	aceptable	
	5	2	4	2	26 - 45 cm	3	Tolerable	2
	4	3	3	2	> 45 cm	4	Tolerable/	3
	3	3	2	3			Inaceptable	
	2	3	1	4			Inaceptable	4
	1	4						

2.3. FASE 2

2.3.1. Propuesta de nuevos métodos

Tres nuevas propuestas fueron formuladas: (a) evaluación visual rápida (VR, Anexo 6.4) con un formulario de evaluación focalizado en el estado fitosanitario y los defectos del árbol, que puede ser aplicada por voluntarios; (b) evaluación visual básica (VB, Anexo 6.5) donde se utiliza un formulario y herramientas sencillas, permite inventariar los árboles y puede ser aplicado con un nivel apropiado de conocimientos (Cuadro 3); y (c) evaluación visual detallada (VD, Anexo 6.6) que complementa la anterior, incluyendo un formulario que recoge más información y que faculta el uso de equipamiento no destructivo, cuya aplicación requiere de entrenamiento avanzado (Cuadro 3). Este último método está destinado preferentemente a la evaluación de árboles de riesgo alto a extremo, de carácter patrimonial/monumental o en aquellos que presentan algún tipo de conflicto para su conservación.

En VR, se evaluó el estado fitosanitario general y la severidad de heridas o canchales, orificios de emergencia y plagas, utilizando los rangos bueno, regular y malo, basado en Vallejos (2018). Con respecto a la incidencia de defectos en cuello, tronco, copa y ramas, se evaluó la presencia/ausencia de fisura, pudrición, bifurcación, cavidad, ramas secas, ramas colgadas y deformaciones. Además, para raíces se evaluó presencia/ausencia del levantamiento del plato radicular, raíces cortadas y raíces estranguladoras.

En VB se evaluó la probabilidad de falla general del árbol, mientras que en VD se evalúan las probabilidades de falla para cada parte del árbol, esto es cuello, tronco, ramas estructurales, ramas secundarias y raíz. Para el análisis del componente probabilidad de falla y posterior cálculo del riesgo en VD, se utilizó la mayor valoración encontrada de las cinco partes del árbol. Las propuestas VB y VD desarrolladas (Cuadro 3) se basaron en diversos métodos disponibles en la literatura (Matheny y Clark, 1994; Forbes-Laird, 2010; Dunster et al., 2017; Guyon et al., 2017; Ellison, 2018).

Cuadro 3. Características de los componentes.

Método	Evaluación Visual Básica (VB)	Evaluación Visual Detallada (VD)
Probabilidad de Falla	Basada en siete categorías de defectos estructurales (Pokorny, 2003): pudrición, grietas, problemas radiculares, uniones débiles, cancro, arquitectura pobre, madera muerta. Probabilidad de Falla dividida en cuatro categorías (adaptado de Pokorny, 2003): bajo (1), moderado (2), alto (3), extremo (4).	Evaluación fitosanitaria (Vallejos, 2018). Defectos por parte del árbol: cuello, tronco, ramas estructurales, ramas secundarias y raíces. Probabilidad de Falla dividida en cuatro categorías para cada parte del árbol (adaptado de Dunster et al., 2017): improbable (1), posible (2), probable (3), inminente (4).
Probabilidad de Impacto	Tipo de blanco: peatones / ciclistas, vehículos, estructuras / servicios, otros. Tasa de ocupación: raro, ocasional, frecuente, constante / estructuras. Zona y protección del blanco. Probabilidad de Impacto dividida en cuatro categorías (adaptado de Dunster et al., 2017): muy bajo (1), bajo (2), medio (3), alto (4).	
Consecuencias	Parte del árbol más probable de fallar. Ejemplos, tamaño de la parte y peso para cada categoría. Consecuencia dividida en cuatro categorías (adaptado de Forbes-Laird, 2010): insignificante (1), menor (2), significativa (3), severa (4). Distancia de la caída. Reducción de la masa de la parte.	Parte del árbol más probable de fallar. Rangos cualitativos con ejemplos para cada tipo de blanco. Consecuencia dividida en cuatro categorías (adaptado de Dunster et al., 2017): insignificante (1), menor (2), significativa (3), severa (4). Distancia de la caída.
Información adicional	Mensuras dendrométricas. Factores del sitio. Medidas de control recomendadas.	Equipamientos non-destructivos pueden ser usados. Mensuras dendrométricas avanzadas. Características del sitio y área de protección de raíces. Condiciones climatológicas. Rango de edad.

Para analizar el riesgo en los métodos VB y VD se optó por dos formas distintas: una cualitativa, basada en las matrices del método ISA BMP (Dunster et al., 2017), y una semicuantitativa, basada en la suma simple de los componentes de probabilidad de falla, probabilidad de impacto y consecuencia. El ranking semicuantitativo fue dividido en cuatro rangos (Cuadro 4), permitiendo el uso de la

herramienta de gestión del riesgo *As Low as Reasonable Practicable* (ALARP) complementaria al ranking (Ellison, 2018).

Cuadro 4. Clasificación del riesgo por tipo de análisis.

Clasificación Cualitativa	Clasificación Semicuantitativa	Índice*
Bajo	3 a 8	1
Moderado	9	2
Alto	10 y 11	3
Extremo	12	4

* Clasificación del Riesgo Estandarizada

Para esta etapa fueron seleccionados 24 árboles, 12 de cada género. Las características dendrométricas de altura y DAP fueron medidas (Anexo 6.1). Las evaluaciones fueron llevadas a cabo en el otoño de 2019, antes de la defoliación total de las tipuanas, por evaluadores que fueron divididos en tres grupos: uno conformado por dos profesionales con experiencia en evaluaciones de riesgo —llamado Experto—; otro por dos estudiantes de último año de la carrera de agronomía opción forestal, sin experiencia en evaluación del riesgo, pero con conocimientos básicos sobre arbolado urbano —llamado Sin Experiencia—; y un tercer grupo con dos voluntarios de la comunidad sin experiencia y conocimiento previo en la temática —llamado Voluntario—. Los grupos Experto y Sin Experiencia realizaron evaluaciones utilizando todas las propuestas, mientras que el grupo Voluntario utilizó la propuesta VR. Independiente del grupo, todos los evaluadores recibieron una inducción sobre la información necesaria para completar los respectivos formularios.

2.3.2. Análisis estadístico – Propuesta VR

Fueron analizadas 144 evaluaciones realizadas por los tres grupos de evaluadores. Las diferencias entre géneros, tipo de evaluadores y la interacción entre

éstos fueron testeadas mediante ANOVA a un nivel $P < 0,01$. Para las características relacionadas al estado fitosanitario, que evaluó la severidad, se utilizó un MLMix; y para los defectos un MLGM, a fin de analizar el conteo de las categorías presentes y su presencia/ausencia. Como en las secciones anteriores, se consideró como factor aleatorio el efecto “árbol”. Los promedios fueron comparados utilizando la prueba LSD de Fisher ($\alpha = 0,01$). Los datos fueron analizados con las funciones lmer y glmer de la librería lme4 de R, interconectado al *software* InfoStat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020). Para construir los gráficos se usó SigmaPlot versión 12.

Para analizar la concordancia entre los evaluadores, primero fueron comparadas las evaluaciones de los expertos utilizando el mismo ANOVA para las características de fitosanidad y los defectos, a un nivel $P < 0,01$. Después, se calculó el porcentaje de las evaluaciones de los grupos Sin experiencia y Voluntario —también separadas por estado fitosanitario y defectos—, que concordaban exactamente con las evaluaciones de cada experto y el promedio de estos dos.

2.3.3. Análisis estadístico – Propuestas VB y VD

Las preguntas que sustentaron este análisis fueron las siguientes: i) ¿Hay un cambio en la valoración del riesgo a medida que aumenta el nivel de detalle de la evaluación?; ii) ¿El género y tipo de evaluadores afectan las evaluaciones?; y iii) ¿Las clasificaciones de riesgo cualitativas y semicuantitativas se comportan de manera diferente con respecto a la distribución de los resultados? Además, se identificó el efecto de cada componente de evaluación de riesgo y sus respectivos atributos en la clasificación final.

Para identificar diferencias entre los métodos VB y VD se consideraron los componentes probabilidad de falla, probabilidad de impacto y consecuencia. Fueron analizadas 192 evaluaciones de los grupos Experto y Sin Experiencia. Las diferencias entre métodos, géneros, tipo de evaluadores y la interacción entre éstos fueron testeadas utilizando un ANOVA a un nivel $P < 0,01$, utilizando un MLMix, considerando como factor aleatorio el efecto “árbol”. Cuando la hipótesis nula fue rechazada, los promedios fueron comparados utilizando la prueba LSD de Fisher ($\alpha =$

0,01). Al identificar diferencias significativas entre los métodos propuestos para un determinado componente, se analizó sus valoraciones por separado en cada método.

A su vez, se aplicó un ANOVA y prueba de comparación de medias para analizar los atributos de probabilidad de falla de los métodos VB (probabilidad de falla general) y VD (probabilidad de falla para cada parte del árbol).

Con respecto a la evaluación VD, para determinar cuáles valoraciones de la parte del árbol tenían efecto significativo en el índice del componente probabilidad de falla (Cuadro 3), se construyó un MLMix, donde la variable respuesta fue el índice de probabilidad de falla y las variables independientes fueron las probabilidades de falla para cada parte.

Los resultados de la clasificación final del riesgo a partir de los análisis semicuantitativo y cualitativo fueron analizados con un MLMix ($P < 0,01$), considerando como efectos fijos método, tipo de evaluador y género, y como efecto aleatorio el árbol.

Para evaluar el efecto de los componentes en la clasificación del riesgo, se construyó un MLMix para cada método propuesto, donde la variable respuesta fue los índices estandarizados de la clasificación del riesgo (Cuadro 4) y las variables independientes fueron los índices de cada componente (Cuadro 3).

Los datos fueron analizados con la función *lmer* de la librería *lme4* de R, interconectado al *software* InfoStat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020). Para construir los gráficos se usó SigmaPlot versión 12.

2.4. FASE 3

2.4.1. Propuesta del protocolo

Para llevar a cabo esta etapa, los evaluadores participaron previamente de un curso de educación permanente llamado: “Evaluación del Riesgo de los Árboles Urbanos”, con una carga horaria total de 20 horas, que incluyeron 4 horas de entrenamiento sobre los tres métodos propuestos que fueron ajustados en la fase 2 — VR, VB y VD (Anexos 6.4, 6.5 y 6.6, respectivamente)—; adicionalmente se les presentó el protocolo (Figura 5), que incluyó 4 horas de práctica en campo. Al final

del proceso señalado, los participantes realizaron la evaluación de cuatro árboles seleccionados, donde aplicaron el protocolo propuesto.

Los participantes contestaron una encuesta (Anexo 6.7) que permitió dividirlos en dos grupos: Grupo Junior, de uno a tres años de experiencia en evaluaciones del riesgo y el Grupo Senior, con cuatro a siete años de experiencia. Todos declararon tener al menos un año de experiencia en trabajos relacionado con arboricultura urbana.

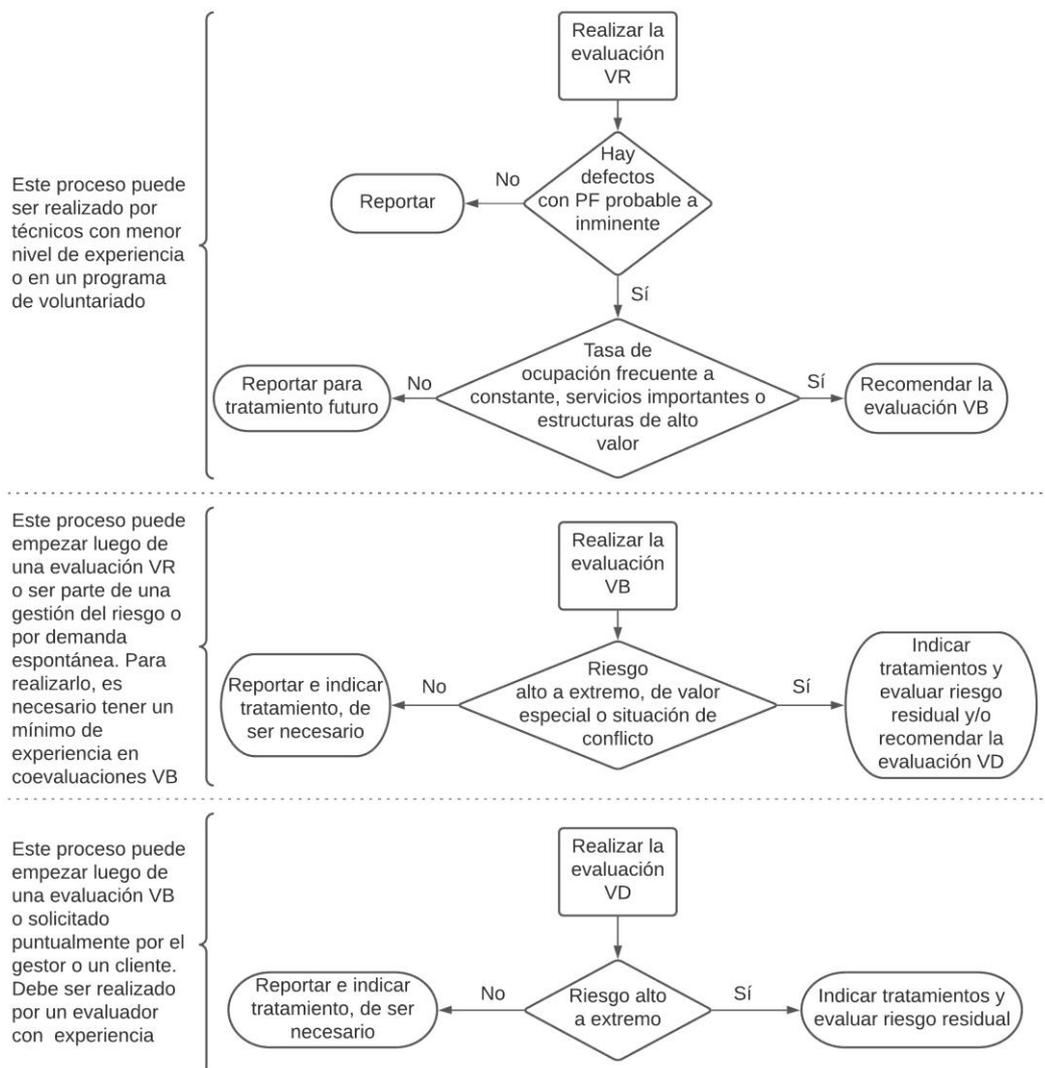


Figura 5. Protocolo de evaluación del riesgo propuesto, incluyendo los tres niveles de evaluación del riesgo.

Los árboles seleccionados para esta fase de la investigación correspondieron a dos del género *Eucalyptus* y dos de *Tipuana* (Anexo 6.8). Las características dendrométricas de altura y DAP fueron medidas (Anexo 6.1). Las evaluaciones fueron realizadas entre los meses de diciembre de 2020 y febrero de 2021 por 10 evaluadores, cinco del Grupo Junior y cinco del Grupo Senior.

2.4.2. Análisis estadístico

Fueron analizadas 104 evaluaciones: 40 del método VR, 40 del método VB y 24 del método VD. La hipótesis principal testada se relacionó a la posible diferencia entre los grupos de evaluadores, en los siguientes puntos clave del protocolo:

- Nivel 1:
 - Identificación de las siete categorías de defectos;
 - Identificación de los blancos;
 - Recomendación de realizar una evaluación visual básica (VB);
- Nivel 2:
 - Valoración de la probabilidad de falla, correlacionándola con los defectos identificados en el nivel 1;
 - Valoración de la probabilidad de impacto, correlacionándola con los blancos identificados en el nivel 1;
 - Valoración del riesgo;
 - Recomendación de realizar una evaluación visual detallada (VD), con o sin equipamiento;
- Nivel 3:
 - Valoración del riesgo general y de cada parte del árbol

Las diferencias entre tipo de evaluadores fueron testadas mediante un ANOVA a un nivel $P < 0,01$. Para la identificación de defectos y blancos fue utilizado un MLGM y para la valoración de los componentes se utilizó un MLMix. En ambos casos se consideró como factor aleatorio el efecto “árbol”. Para la correlación entre los niveles 1 y 2 fue utilizado un MLMix, considerando el “evaluador”, además del “árbol”, como efecto aleatorio, ya que se analizaron evaluaciones realizadas por el

mismo evaluador en diferentes niveles. Los promedios fueron comparados utilizando la prueba LSD de Fisher ($\alpha=0,01$). Los datos fueron analizados con las funciones `glmer` y `lmer` de la librería `lme4` de R, interconectado al *software* InfoStat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020). Para construir los gráficos se usó SigmaPlot versión 12.

Considerando el número de repeticiones asociadas a los cuatro árboles, se optó por complementar los análisis utilizando estadística descriptiva para calcular la concordancia entre los grupos de evaluadores. Para los mismos puntos clave del protocolo presentados anteriormente, fue calculado el porcentaje de las evaluaciones que concordaban exactamente, dentro de cada grupo de evaluador.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. EVALUACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE FALLA UTILIZANDO TRES NIVELES DE EVALUACIÓN DEL RIESGO DE ÁRBOLES

Los resultados de las evaluaciones se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Resumen de las evaluaciones asociadas a la probabilidad de falla, fase 1.

Efectos	Niveles	Media	Desv. Est.	Mínimo	Máximo	Mediana	
Género	<i>Eucalyptus</i>	2,74	A	0,81	1,00	4,00	3,00
	<i>Tipuana</i>	2,69	A	0,79	1,00	4,00	3,00
Evaluador	Experto 1	2,61	A	0,76	1,00	4,00	3,00
	Experto 2	2,81	A	0,83	1,00	4,00	3,00
Nivel de evaluación	1	2,73	A	0,67	1,00	4,00	3,00
	2	2,97	A	0,69	1,00	4,00	3,00
	3	2,43	B	0,93	1,00	4,00	3,00

Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$)

Comparando los niveles de evaluación del componente probabilidad de falla, no hubo diferencias significativas entre los géneros y entre los evaluadores, ni tampoco interacciones entre las variables. A su vez, hubo diferencias significativas ($P < 0,01$) entre los niveles de evaluación (Figura 6).

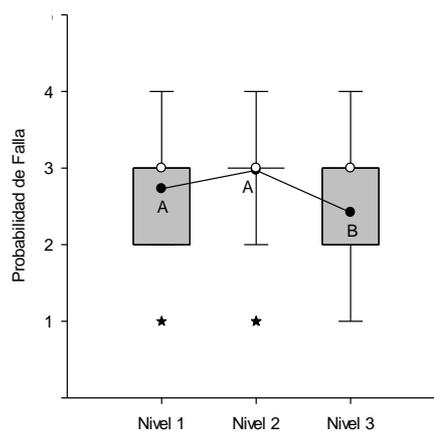


Figura 6. Diagrama de caja (barras) para la probabilidad de falla por nivel de evaluación ($P < 0,01$). Media ajustada (puntos negros), medianas (círculos blancos) y valores atípicos (estrellas negras). Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$).

Las evaluaciones de nivel 1 y 2 no difirieron estadísticamente, lo que diferencia a lo encontrado por Koeser et al. (2017) —que utiliza también el método ISA BMP—, donde encuentran menor promedio en la evaluación de nivel 1, siendo menor inclusive que la evaluación utilizando los equipamientos no destructivos. La diferencia entre los niveles 1 y 2 era esperada, debido a que durante una evaluación limitada, el evaluador no tiene la visión completa del árbol, como lo señalan estos autores. El resultado obtenido puede ser explicado por la mayor presencia de defectos de fácil visualización en la copa, donde los evaluadores con mayor experiencia fueron capaces de identificar rápidamente los principales problemas. Se observó además que la evaluación de nivel 3, utilizando las tecnologías de diagnóstico, obtuvo un menor promedio que los niveles 1 y 2, pudiendo ser explicado porque en la mayoría de las evaluaciones visuales básicas la parte más probable de fallar fueron las ramas, mientras que la evaluación avanzada se focalizó en el tronco. Koeser et al. (2017) encuentran que el uso del penetrógrafo (nivel 3) no se diferencia de la evaluación visual básica (nivel 2); a su vez, el tomógrafo —que también correspondiente a un nivel 3 de evaluación— obtiene un menor promedio que el nivel 2, resultado similar a lo encontrado en esta tesis.

En general, un cambio del nivel de evaluación de limitado a básico conlleva un aumento en el tiempo de evaluación de 15 a 20 minutos (Koeser et al., 2016), que es más que el doble del tiempo, cuestión que en esta investigación sucedió, pero sin que cambiara la valoración de la probabilidad de falla obtenida. La diferencia principal entre estas dos formas de evaluar este componente sería que, en el nivel 2, el evaluador indica los problemas y los respectivos manejos necesarios para reducir la probabilidad de falla. Esto podría indicar que, en la práctica, sería viable generar un método de nivel 1 con un formulario más robusto, pero de rápida evaluación, para ser utilizado en grandes poblaciones arbóreas —como son los parques urbanos o periurbanos— a fin de detectar y reportar defectos que evidencian situaciones peligrosas, para su posterior manejo.

Cuando se compararon los evaluadores en un mismo nivel de evaluación, no hubo diferencia significativa entre ellos considerando $P < 0,01$, pero lo hubo en un nivel de significancia de 0,05 para los niveles 1 y 2 (Figura 7).

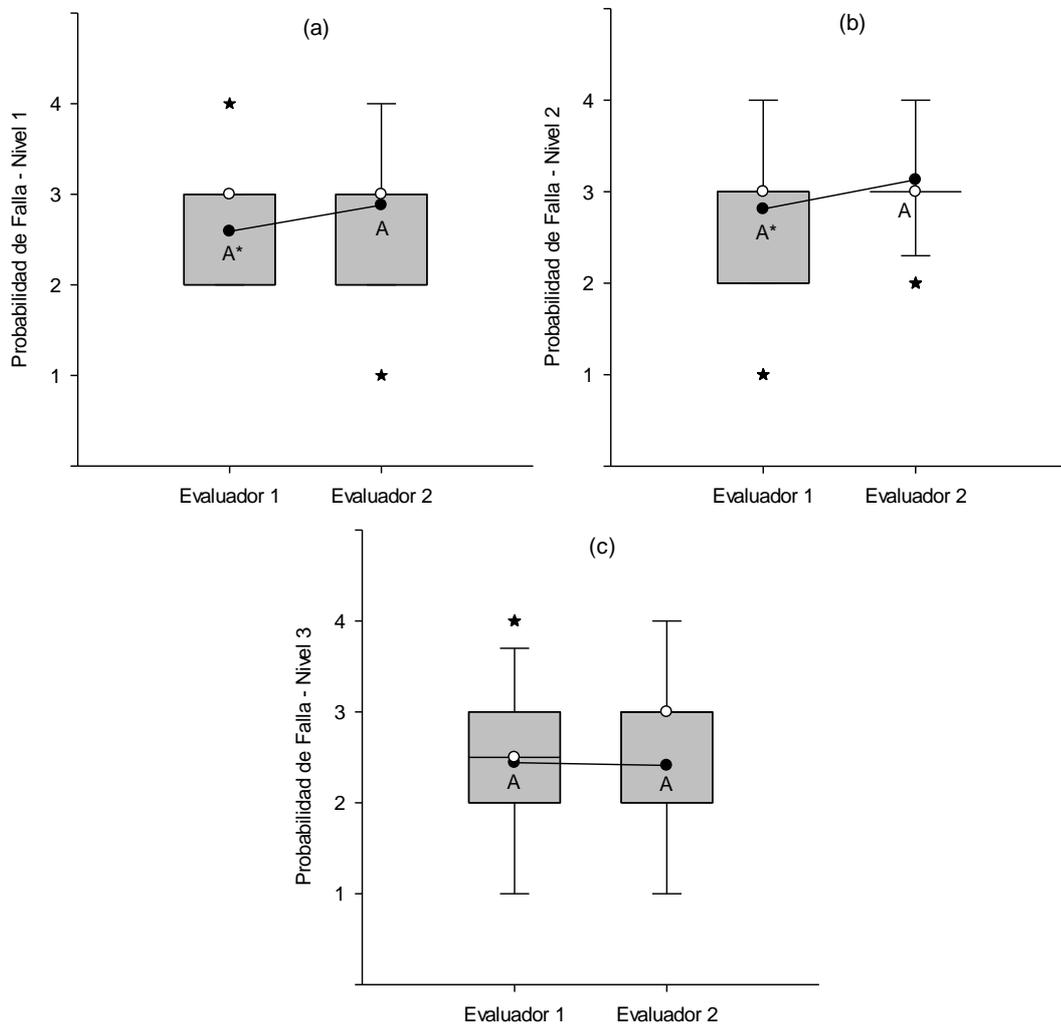


Figura 7. Diagrama de caja (barras) para la probabilidad de falla por evaluador para cada nivel de evaluación ($P < 0,01$): (a) Nivel 1, (b) Nivel 2, (c) Nivel 3. Media ajustada (puntos negros), medianas (círculos blancos) y valores atípicos (estrellas negras). Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas en las medias determinadas con una prueba de LSD Fisher ($P < 0,01$) y el * representa diferencia significativa con una prueba de LSD Fisher ($P < 0,05$).

Fue posible observar una tendencia en la reducción de las diferencias entre los evaluadores al aumentar el nivel de evaluación con la utilización de los instrumentos. Koeser et al. (2017) encuentran una mayor consistencia tanto entre los niveles de evaluación como entre los evaluadores en un árbol sin indicadores externos de

putrefacción en el tronco, lo que podría explicar los resultados encontrados en la presente investigación, dado que el tronco fue pocas veces considerado como la parte más probable de fallar (solamente en tres de 32 árboles).

Con respecto al análisis de las partes del árbol más probable de fallar, considerado en el nivel 2, se realizaron 143 evaluaciones, de estas 91,6% eran ramas (secundarias y estructurales), 5,6% tronco y 2,8% raíz. Solamente en tres árboles (IDs 06, 11 y 16) el tronco fue evaluado como la parte más probable de fallar, todos del género *Eucalyptus*. Las evaluaciones de raíz, como parte más probable de fallar, fueron consideradas en otros tres árboles (IDs 01, 02 y 17), dos *Eucalyptus* y una *Tipuana*; mientras que la probabilidad de falla en ramas se analizó para todos los árboles.

El reducido número de árboles en que el análisis del tronco fue considerado en las evaluaciones de nivel 2 (9%) fue similar al porcentaje identificado por Wu et al. (2018), donde el 7% de los 147 árboles evaluados visualmente tienen identificados algún defecto estructural en el tronco.

De las evaluaciones con el tomógrafo, se observó que hay diferencias significativas entre los géneros en las velocidades reportadas, con excepción de la velocidad mínima, para ambos ajustes (Cuadros 6 y 7 y Figura 8), siendo mayores las velocidades en los *Eucalyptus*.

Cuadro 6. Valores promedios de velocidades (m/s) obtenidos del tomógrafo con ajuste automático, por género.

Velocidad	Género	
	<i>Eucalyptus</i>	<i>Tipuana</i>
Mínima	894,63 ± 227,58 A	864,19 ± 146,47 A
Media	1.822,44 ± 298,35 A	1.514,81 ± 149,45 B
Máxima	2.750,88 ± 462,39 A	2.165,88 ± 333,67 B

Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los géneros (P<0,05).

Cuadro 7. Valores promedios de velocidades (m/s) obtenidos del tomógrafo con ajuste manual, por género.

Velocidad	Género	
	<i>Eucalyptus</i>	<i>Tipuana</i>
Mínima	537,81 ± 98,69 A	521,94 ± 31,64 A
Media	1.266,06 ± 165,36 A	1.108,94 ± 105,71 B
Máxima	1.994,63 ± 269,54 A	1.696,38 ± 212,70 B

Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los géneros (P<0,05).

Al realizar el ajuste manual se observó una reducción de las velocidades, mientras la tendencia entre las especies permanece en ambos tipos de ajuste (Figura 8).

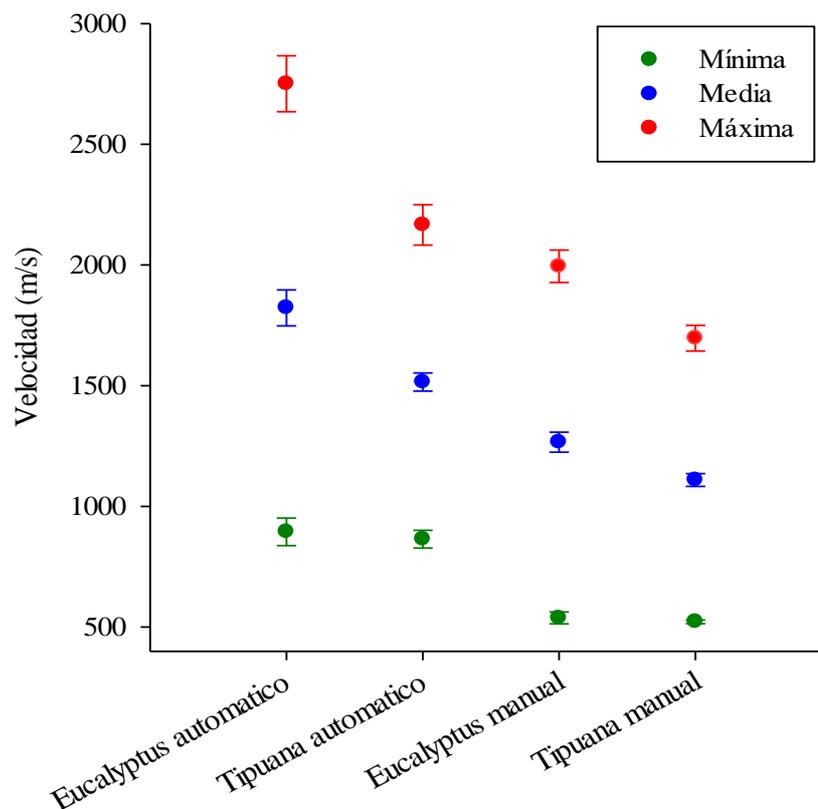


Figura 8. Gráfico de dispersión (media y error estándar) para las velocidades mínima, media y máxima por género y tipo de ajuste.

Las mayores velocidades medias y máximas de los tomogramas de los eucaliptos estarían principalmente relacionadas a la mayor densidad de la madera del grupo de especies de este género, que van desde los 625 kg/m³ hasta los 1.220 kg/m³ (Boland et al., 2006), comparado al de la tipuana, que varía entre 670 a 750 kg/m³ (Tortorelli, 2009). La velocidad mínima promedio detectada para el género *Tipuana* con ajuste manual del software fue similar al encontrado por Rollo (2010), pero las velocidades media y máxima encontradas por el mismo autor son más bajas, lo que indicaría una mejor condición interna del tronco de los árboles encontrados en el Parque José Batlle y Ordóñez, coincidiendo con el hecho que para ningún árbol de este género, el tronco fue considerado como la parte más probable de fallar. Es importante destacar que el ajuste del software influyó el resultado final de las velocidades, pero Rollo (2010) no indica esta información en su metodología de análisis. Nicolotti et al. (2003) encuentran para maderas de *Platanus hybrida* (con densidades promedio de madera sana de 769 a 954 kg/m³ y de madera con pudrición de 856 a 858 kg/m³), velocidades estimadas entre 600 y 1.200 m/s, correspondientes a zonas con decaimiento, y entre 1.200 y mayor a 2.000 m/s para zonas de madera sana. Este resultado fue similar a las velocidades encontradas con ajuste manual para el género *Eucalyptus*, que también tienen una densidad de madera sana equivalente, indicando que este ajuste fue más adecuado comparativamente al automático.

Para el índice de pérdida mecánica también hubo diferencia significativa entre los géneros, siendo mayor la pérdida mecánica para el género *Eucalyptus* en ambos ajustes (Cuadro 8 y Figura 9).

Cuadro 8. Valores promedios del índice de pérdida mecánica vía tomografía por género (ajustes automático y manual).

Ajuste	Género	
	<i>Eucalyptus</i>	<i>Tipuana</i>
Automático	-32,31 ± 10,22 A	-22,00 ± 8,74 B
Manual	-8,63 ± 7,48 A	-3,81 ± 5,62 B

Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los géneros (P<0,05).

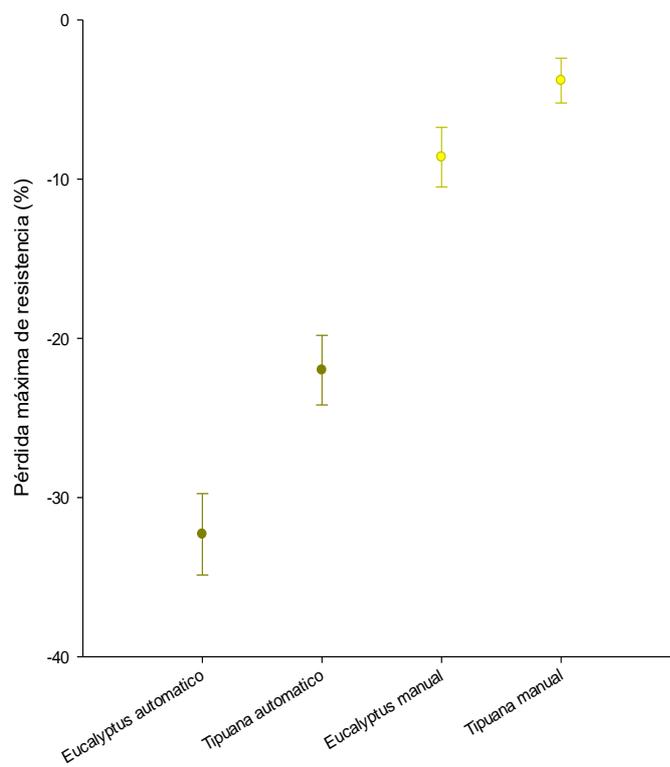


Figura 9. Gráfico de dispersión (media y error estándar) para la pérdida de resistencia máxima por género y tipo de ajuste.

Se observó que los eucaliptos tenían significativamente mayor pérdida de resistencia que las tipuanas, que se relaciona con la identificación del tronco como la parte más probable de fallar en las evaluaciones visuales de nivel 2 en los árboles del género *Eucalyptus*.

Utilizando el ajuste automático del tomógrafo, un 63% de los eucaliptos tuvieron un porcentaje de pérdida máxima de resistencia mayor al 30%, mientras que para las tipuanas fue de 19% (Cuadro 9). Se observó que hubo una reducción de las pérdidas de resistencia cuando se utilizó el ajuste manual, dado que todos los árboles presentaron pérdidas menor o igual a 30% y la mayoría menor a 10% (Cuadro 9).

Cuadro 9. Porcentaje de árboles por rango de pérdida de resistencia, por género y tipo de ajuste.

Ajuste	Género	Pérdida Máxima de Resistencia (%)				
		0 a 10	11 a 20	21 a 30	31 a 40	≥ 41
Automático	<i>Eucalyptus</i>	0	13	25	37	25
	<i>Tipuana</i>	0	56	25	13	6
Manual	<i>Eucalyptus</i>	63	31	6	0	0
	<i>Tipuana</i>	94	0	6	0	0

El número reducido de árboles con identificación de defectos peligrosos en el tronco, correspondientes al nivel 2 de evaluación, se relacionó con el bajo porcentaje de troncos con pérdida de resistencia mayor a 30%. Se observó, además, que el ajuste manual sería más adecuado para corroborar las evaluaciones visuales, tal como lo recomienda Rinn (2012), ya que el ajuste automático tiende a aumentar significativamente el porcentaje de la pérdida máxima de resistencia.

De los árboles con evaluaciones donde el tronco es la parte más probable de fallar —IDs 06, 11 y 16—, las pérdidas de resistencia encontradas en el ajuste automático fueron 35%, 22% y 37%, respectivamente; cuando se utilizó el ajuste manual, los índices bajaron a 12%, 0% y 8%, respectivamente (Figura 10). En este último ajuste, el resultado mostró que la pérdida de resistencia en la zona de medición del tronco fue baja, lo que podría indicar, en caso de no presentar otro defecto que actúe de forma sinérgica, que la probabilidad de fallar en esta zona específica también sería reducida.

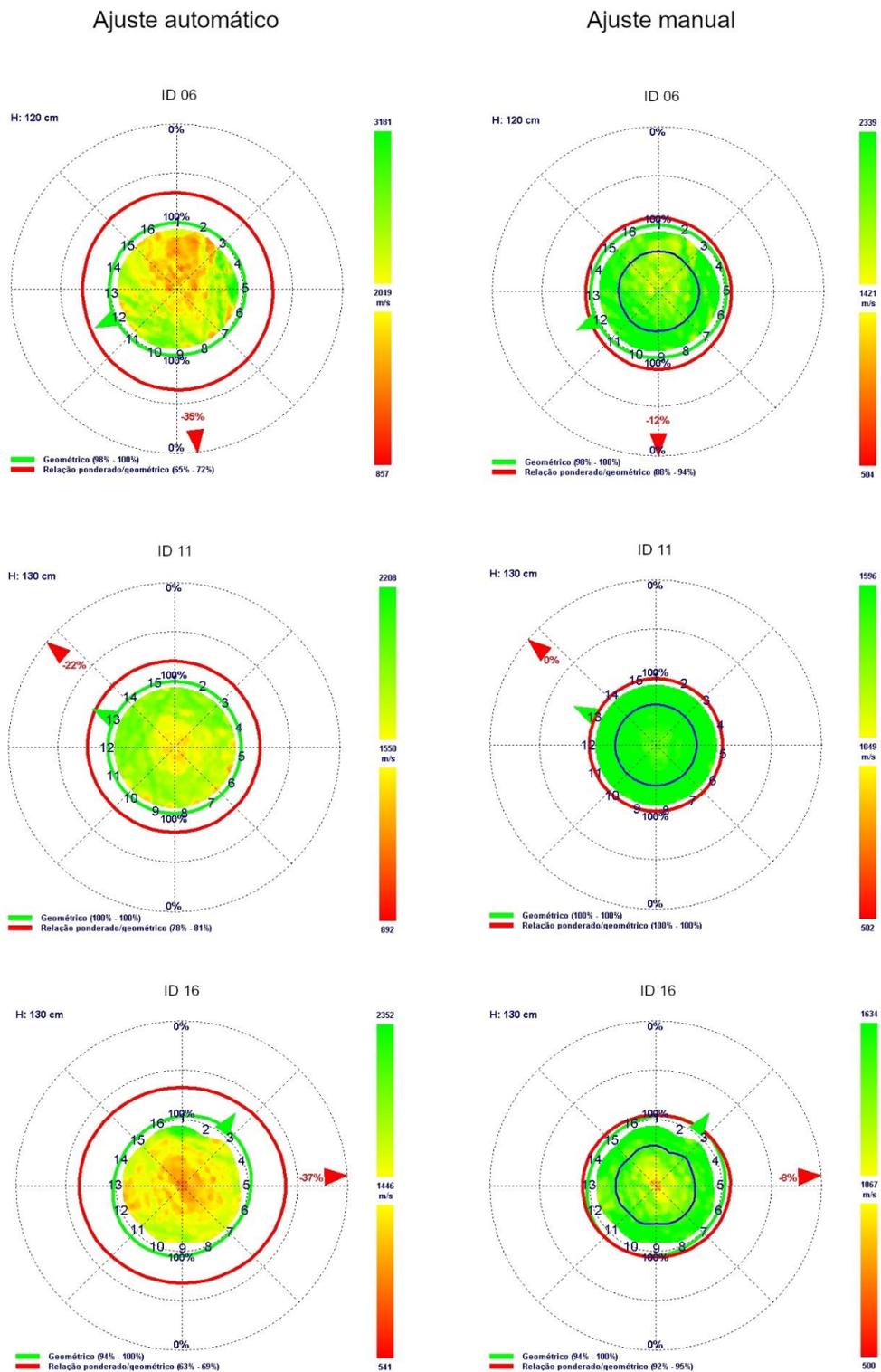


Figura 10. Tomogramas de los IDs 06, 11 y 16, con ajuste automático y manual. La línea azul en los tomogramas con ajuste manual se posiciona a 1/3 del radio, de fuera hacia dentro.

En las Figuras 11, 12 y 13 son presentados los resistogramas generados para los IDs 06, 11 y 16, cuyos diámetros fueron 129, 94 y 102 cm, respectivamente. Se observa en dichas figuras que la corteza de los eucaliptos mide alrededor de 2 cm.

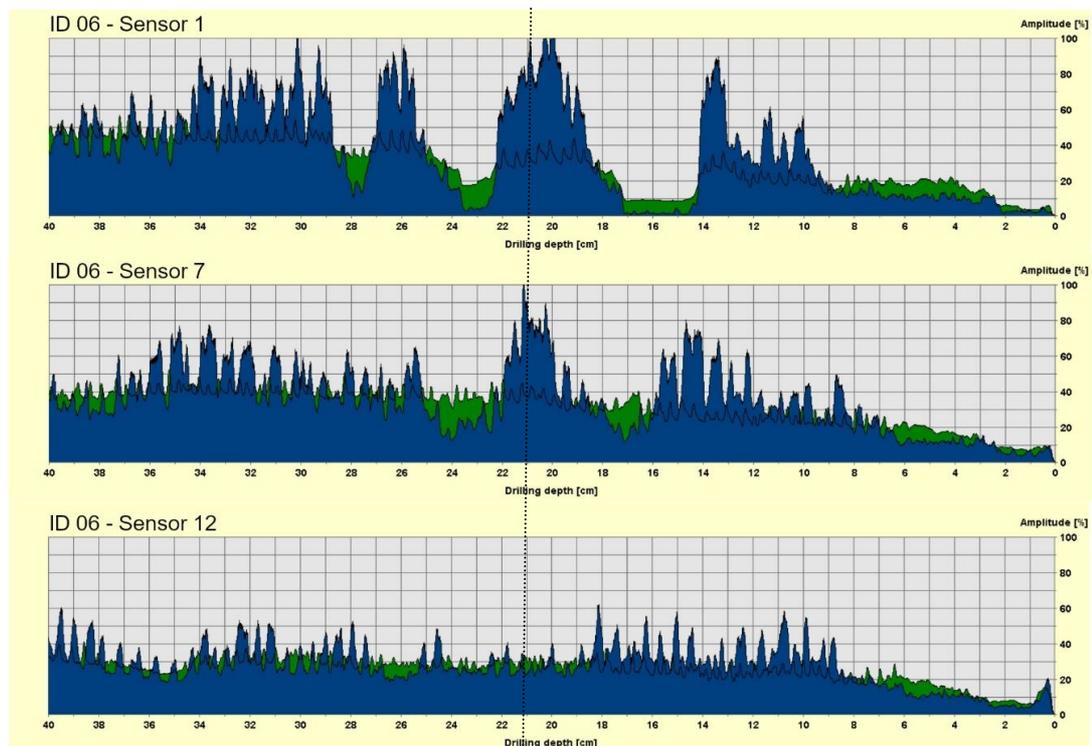


Figura 11. Resistogramas del ID 06, a 1,20 m en tres diferentes posiciones. La línea negra punteada vertical indica $1/3$ del radio del árbol, de fuera hacia dentro, calculado a partir del 0 del eje x del resistograma.

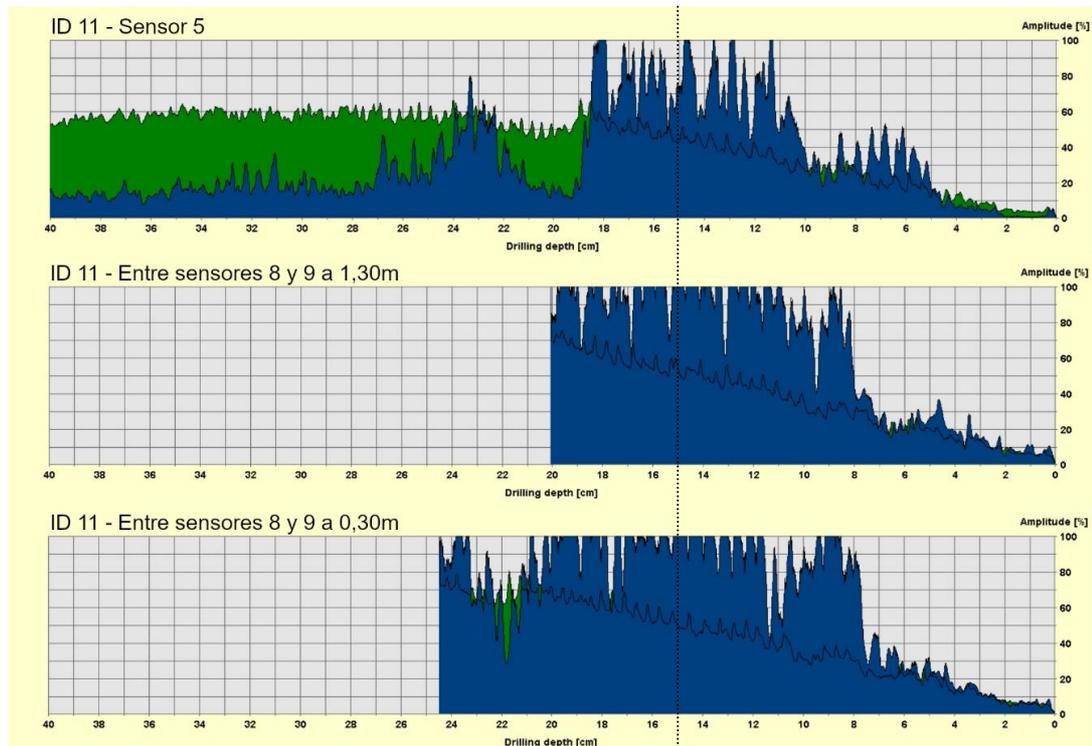


Figura 12. Resistogramas del ID 11, a 1,30 m y a 0,30 m en tres diferentes posiciones. La línea negra punteada vertical indica $1/3$ del radio del árbol, de fuera hacia dentro, calculado a partir del 0 del eje x del resistograma.

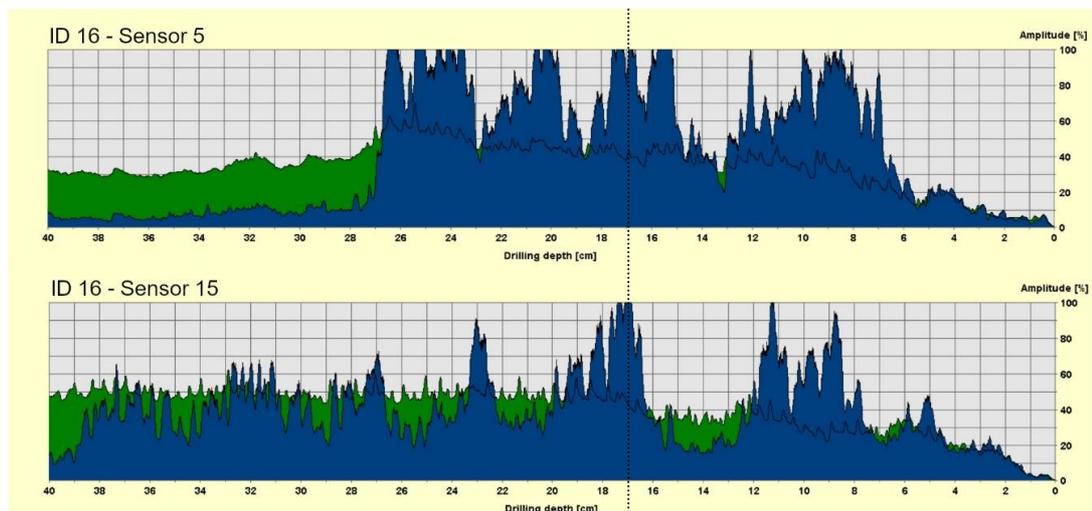


Figura 13. Resistogramas del ID 16, a 1,30 m en dos diferentes posiciones. La línea negra punteada vertical indica $1/3$ del radio del árbol, de fuera hacia dentro, calculado a partir del 0 del eje x del resistograma.

Considerando los resistogramas, se visualizó que el ID 11 (Figura 12) tuvo una alta resistencia a la penetración, principalmente en el primer tercio del radio del tronco, por lo que el equipo no logró finalizar la medición. A su vez, para el ID 06 (Figura 11) se observó una zona de posible deterioro entre los 14 a 17 cm de penetración en la dirección del sensor 1, dentro del primer tercio del radio, lo que también fue observado en el respectivo tomograma con ajuste manual (Figura 10); esta misma situación se observó en el caso del ID 16 (Figura 13), a partir de los 27 cm de penetración en la dirección del sensor 5 y de los 39 cm en la dirección del sensor 15, condición que se refrenda con el tomograma con ajuste manual (Figura 10).

Wang y Allison (2008) y Wu et al. (2018) demuestran que la combinación de la evaluación visual, la tomografía acústica y el penetrógrafo es efectiva para la detección y medición de los defectos internos en los árboles. En el presente trabajo, haciendo esta combinación, dos de los 32 árboles evaluados, presentaron algún compromiso en el tronco, que podría indicar un nivel de probabilidad de falla más elevado de esta parte. De hecho, en las evaluaciones de nivel 2 para el ID 06, los evaluadores consideraron probable a inminente la probabilidad de falla del tronco y, para el ID 16, un evaluador lo consideró probable; a su vez para el ID 11 fue considerada posible.

Al observar las imágenes de los tomogramas y resistogramas, correspondientes a la evaluación de nivel 3, en el 38% de los árboles los evaluadores marcaron la probabilidad de falla en una categoría más baja que la indicada en la evaluación de nivel 2 y, a su vez, mantuvieron la misma categoría en el 62%. Para ningún árbol la probabilidad de falla aumentó posterior a la evaluación de nivel 3. En este contexto, habría sido posible encontrar un mayor porcentaje de reducción de la probabilidad de falla, si hubiesen sido utilizadas las imágenes de los tomogramas con ajuste manual.

Es importante destacar que el porcentaje de individuos donde se sugiere la evaluación de defectos estructurales con un instrumento avanzado es generalmente bajo, como es observado por Wu et al. (2018) y los hallazgos obtenidos en la presente tesis. De esta forma, es recomendable adaptar una evaluación visual detallada que ayude a la interpretación de las adaptaciones biomecánicas del árbol,

reduciendo así la realización de evaluaciones con uso instrumental donde sea realmente necesario.

3.2. COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE EVALUACIÓN VISUAL DEL RIESGO DE ÁRBOLES URBANOS

Los resultados de las evaluaciones se presentan en el Cuadro 10 y Figura 14.

Cuadro 10. Resumen de las evaluaciones de nivel 2 por componente, fase 1.

	Efectos	Niveles	Media		Desv. Est.	Mínimo	Máximo	Mediana
Probabilidad de Falla	Género	<i>Eucalyptus</i>	2,68	A	0,86	1,00	4,00	3,00
		<i>Tipuana</i>	2,74	A	0,84	1,00	4,00	3,00
	Tipo de evaluador	Experto	2,86	A	0,75	1,00	4,00	3,00
		Sin experiencia	2,61	B	0,89	1,00	4,00	3,00
Probabilidad de Impacto	Género	<i>Eucalyptus</i>	3,16	A	1,04	1,00	4,00	4,00
		<i>Tipuana</i>	3,43	A	0,78	1,00	4,00	4,00
	Tipo de evaluador	Experto	3,35	A	0,84	1,00	4,00	4,00
		Sin experiencia	3,26	A	0,98	1,00	4,00	4,00
Consecuencia	Género	<i>Eucalyptus</i>	2,91	A	0,98	1,00	4,00	3,00
		<i>Tipuana</i>	2,98	A	0,96	1,00	4,00	3,00
	Tipo de evaluador	Experto	2,97	A	0,89	1,00	4,00	3,00
		Sin experiencia	2,92	A	1,02	1,00	4,00	3,00
Clasificación del Riesgo	Género	<i>Eucalyptus</i>	2,04	A	0,99	1,00	4,00	2,00
		<i>Tipuana</i>	2,21	A	1,06	1,00	4,00	2,00
	Tipo de evaluador	Experto	2,30	A	1,05	1,00	4,00	2,00
		Sin experiencia	2,01	B	0,99	1,00	4,00	2,00

Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,05$).

Al comparar los seis métodos de evaluación visual de nivel 2 (Cuadro 1), se encontraron diferencias significativas en los cuatro componentes (Figura 14). Estas diferencias indican que, una vez seleccionado un método para evaluar el riesgo, se recomienda mantenerlo durante toda la gestión, para no provocar cambios en los resultados y, consecuentemente, en el manejo del arbolado.

Entre los tipos de evaluadores hubo diferencias significativas en la probabilidad de falla y la clasificación final (Cuadro 10 y Figura 15); además hubo interacción entre “método x tipo de evaluador” para la consecuencia (Figura 16). No

se encontró diferencias significativas entre géneros, sin embargo, existió interacción entre “género x método” en la probabilidad de impacto (Cuadro 10 y Figura 16).

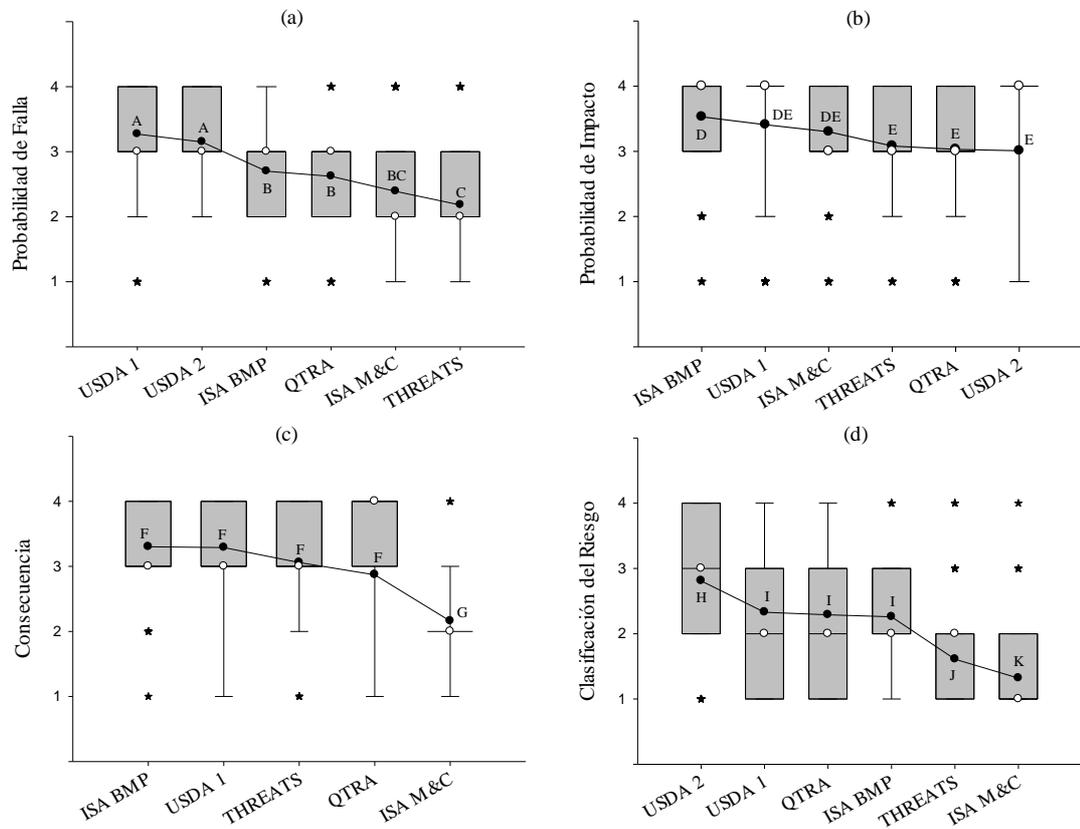


Figura 14. Diagrama de caja (barras): (a) probabilidad de falla, (b) probabilidad de impacto, (c) consecuencia, (d) clasificación del riesgo para los seis métodos de evaluación visual. Media ajustada (puntos negros), mediana (círculos blancos) y valores atípicos (estrellas negras); letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, P<0,05). No existe “consecuencia” en el método USDA2.

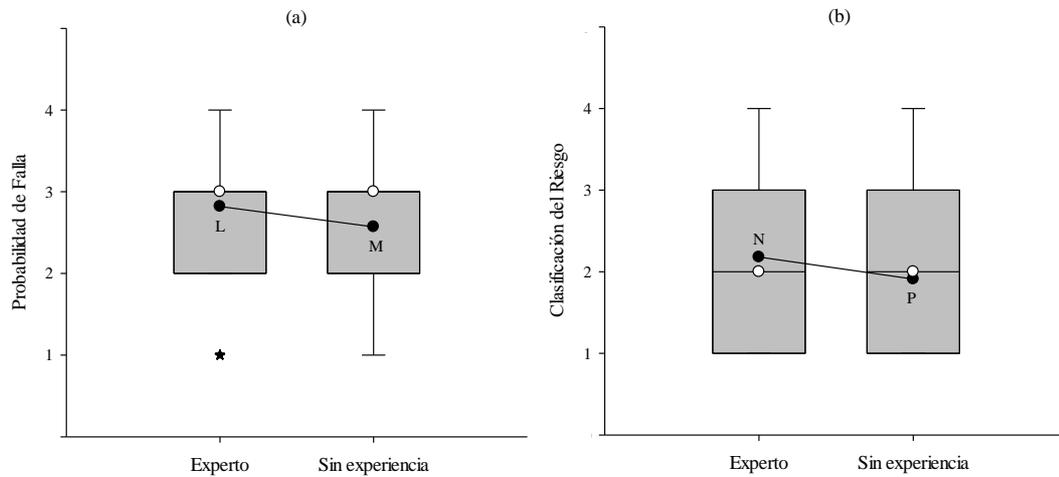


Figura 15. Diagrama de caja (barras): (a) probabilidad de falla y (b) clasificación del riesgo para los dos tipos de evaluadores. Media ajustada (puntos negros), mediana (círculos blancos) y valores atípicos (estrellas negras); letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,05$).

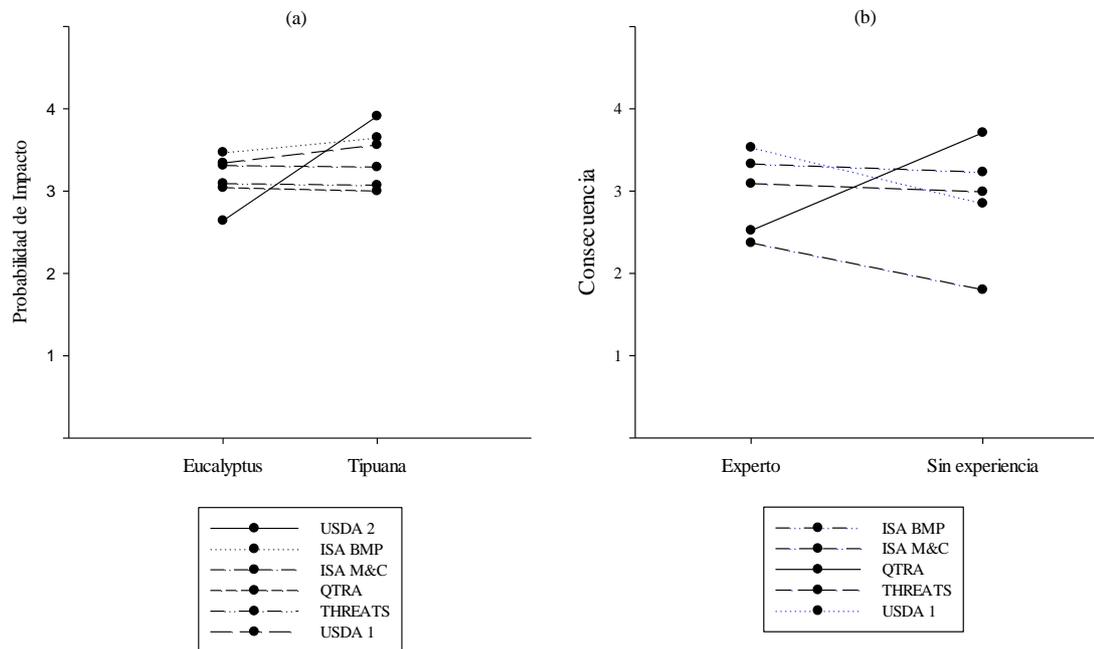


Figura 16. Gráfico de interacción: (a) “método x género” para probabilidad de impacto y (b) “método x tipo de evaluador” para consecuencia. Medias ajustadas (puntos negros) determinadas con una prueba LSD Fisher ($P < 0,05$).

3.2.1. Análisis por componente

3.2.1.1. Probabilidad de falla

El grupo Experto tendió a valorar más la probabilidad de falla que el grupo Sin experiencia (Figura 15a), lo que se explicaría por la práctica en identificar y analizar el lenguaje corporal del árbol (Mattheck et al., 2015) y los defectos visibles no tan obvios, como bultos en la base, formación de madera de reacción o fenómenos como el *Summer Branch Drop* (Matheny y Clark, 1994; Calaza, 2015; Mattheck et al., 2015). Koeser y Smiley (2017) también encuentran diferencias en la probabilidad de falla de evaluaciones realizadas por un grupo de arbolistas utilizando el método ISA BMP, pero fue el componente con menor variabilidad.

Los métodos evaluados formaron cuatro grupos (Figura 14a), donde los del Servicio Forestal del USDA obtuvieron los mayores promedios (A); ISA M&C, el grupo intermedio (BC), tuvo una dispersión similar y mediana igual al método THREATS (grupo C), aunque no fue significativamente diferente de ISA BMP y QTRA (grupo B).

Dado que el método USDA 1 recomienda que el evaluador debe seleccionar una categoría más alta en la falla potencial al encontrar más de un defecto clasificado con la misma severidad, esto explicaría la sobrevaloración de la probabilidad de falla. De las evaluaciones realizadas con USDA 2 con probabilidad de falla en rango 4, el principal defecto seleccionado fue la inclinación no corregida (54%), mientras que el 36% fue la presencia de grietas/daños. Ambos defectos no poseen rangos intermedios, lo que podría llevar a sobrevalorar la probabilidad de falla del método. Algo similar ocurre con la identificación de enfermedad en raíces y hongos.

Considerando que los métodos del Servicio Forestal fueron desarrollados para áreas recreacionales específicas de los EE. UU., resulta recomendable ajustar los defectos que puedan ser encontrados en contextos específicos. Además, es importante comprender cómo interactúan distintos defectos en un mismo árbol (Pokorny, 2003), siendo necesario ajustar el método cuando estos se valoran de manera independiente o conjunta, para evitar la sobrevaloración de la probabilidad de falla y la prescripción de actividades de manejo innecesarias.

Cuando se aplicó el método THREATS, de las evaluaciones que estuvieron en los rangos 1 y 2 de la probabilidad de falla, el 48% se relacionó con la presencia de ramas rotas/colgadas y un 46% con brotes epicórmicos con posibles uniones débiles y pudrición. Sin embargo, estos defectos corresponderían a una probabilidad de falla probable a inminente (Pokorny, 2003; Smiley et al., 2011; Guyon et al., 2017), lo que indicaría que los evaluadores habrían subestimado este componente. Dado que el método incluye la elección del “defecto más peligroso”, no se elegiría necesariamente la parte que fallará primero y sí la que tendría la consecuencia más severa.

Dado que el uso de un único indicador de peligro para evaluar el riesgo puede provocar diferencias entre evaluadores, el método ISA BMP es el único que sugiere la evaluación de más de un escenario, permitiendo valorar tanto el defecto con probabilidad de falla inminente como el defecto que causaría más daño.

3.2.1.2. Probabilidad de impacto

No hubo diferencias significativas entre los tipos de evaluador (Cuadro 10), indicando que los atributos relacionados a la probabilidad de impacto fueron analizados de forma similar, independiente de la experiencia de los evaluadores. Esto difiere con lo señalado por Klein et al. (2016) y Koeser y Smiley (2017), donde los últimos encuentran que este fue el componente de evaluación del riesgo con mayor variabilidad, siendo la certificación en el uso del método ISA BMP uno de los factores que explicarían estas diferencias.

Los métodos formaron tres grupos (Figura 14b), el mayor promedio fue para el método ISA BMP (grupo D) y los menores promedios para USDA 2, QTRA y THREATS (grupo E). Los métodos USDA 1 e ISA M&C (grupo DE) no difieren estadísticamente de los grupos D y E. En la práctica, las categorías usadas en los métodos ISA BMP, ISA M&C y USDA 1 son similares en expresión, cuya principal diferencia es que USDA 1 tiene solo tres (Cuadro 2). Por otro lado, los métodos QTRA y THREATS tienen seis niveles para clasificar este componente (Cuadro 2), cuya diferencia es que THREATS incluye ejemplos asociados a tipos de

ocupaciones, mientras QTRA presenta datos numéricos, como velocidad de autos y cantidad de ciclistas/peatones, por ejemplo.

USDA 2 tuvo un comportamiento distinto, que se explicaría por la ausencia de rangos intermedios en la tasa de ocupación (Cuadro 2). El evaluador constantemente sub o sobrevaloraba este componente, comparativamente con los demás métodos, lo que presentaría limitaciones asociadas a la clasificación de la probabilidad de impacto. Este aspecto se observa en el gráfico de interacción “género x método” (Figura 16a), siendo la ubicación de los árboles el factor diferenciador entre USDA 2 y los demás métodos.

3.2.1.3. Consecuencia

Este componente está relacionado a la parte más probable de fallar (Koeser y Smiley, 2017), determinada por su tamaño, que permite estimar indirectamente el daño que causaría al impactar algún blanco. Este componente no presentó diferencias significativas entre los géneros (Cuadro 10), aun cuando los eucaliptos eran de mayor tamaño que las tipuanas (Cuadro 11); esto se explicaría porque en un 96% de las evaluaciones, la parte identificada con más probabilidad de fallar fueron ramas con diámetro promedio de similar tamaño (Cuadro 11), una característica concordante con las observaciones realizadas por Morcillo San Juan (2017).

Cuadro 11. Valores promedios de las medidas dendrométricas y probabilidad.

	<i>Eucalyptus</i>	<i>Tipuana</i>	<i>p</i> -valor
Altura (m)	26,7 ± 6,7	19,9 ± 2,8	0,001
DAP* (cm)	103,8 ± 28,5	75,5 ± 26,5	0,003
TPR** (cm)	27,3 ± 18,4	23,4 ± 12,9	0,306

*DAP = Diámetro a la Altura del Pecho

**TPR = Tamaño de la Parte – Ramas

Valores en negrita destacan la significancia $P < 0,05$.

No hubo diferencia significativa entre los tipos de evaluadores (Cuadro 10), lo que indicaría que la consecuencia también sería independiente de la experiencia del

evaluador, resultado divergente a lo encontrado por Koeser y Smiley (2017), donde la consecuencia es el segundo componente con mayor variabilidad entre evaluadores, siendo la parte del árbol evaluada el factor de mayor impacto.

Con relación a los métodos, se conformaron dos grupos (Figura 14c), siendo el con menor promedio ISA M&C (grupo G) y único que difiere de los demás. Se destacada este hecho, ya que los rangos de tamaño de la parte son diferentes en cada método (Figura 17), por lo que se habría esperado mayor diferencia entre ellos.

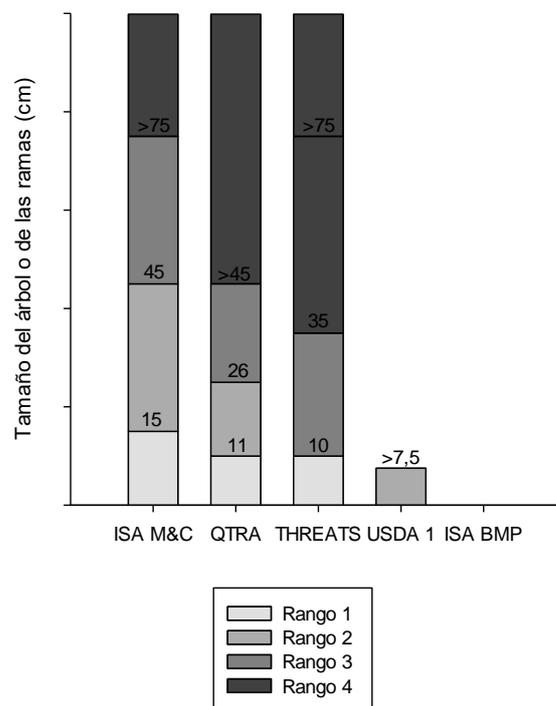


Figura 17. Rangos del atributo “tamaño del árbol o de la parte” por método. No hay “consecuencia” para USDA2.

El método QTRA tiene el menor valor del tamaño de la parte para el rango 4 (> 45 cm) y obtuvo un 60% de las clasificaciones ubicadas en este rango (Figura 18); por otro lado, los mayores valores de tamaño de la parte en los rangos 2 y 3 son del ISA M&C (15 cm y 45 cm, respectivamente), lo que implicó que el 80% de las clasificaciones se ubicaron en menores rangos (1 y 2) (Figura 18).

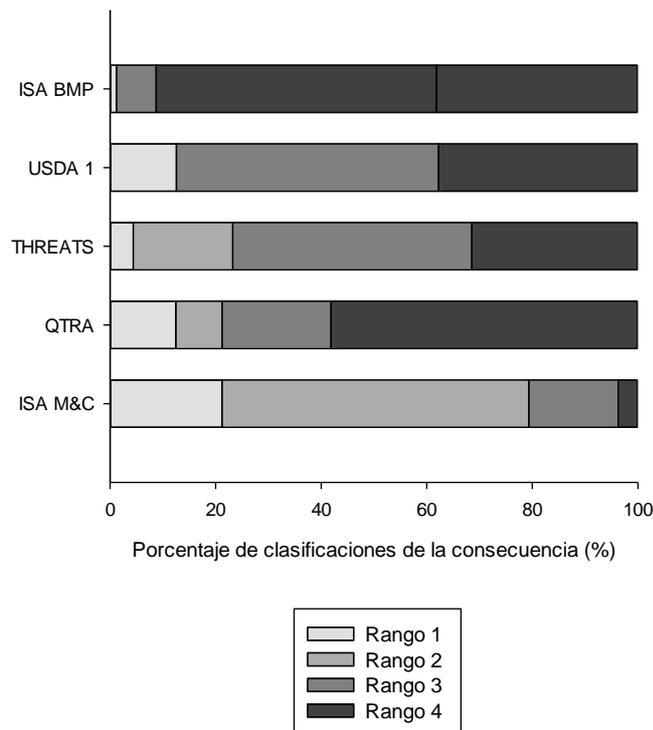


Figura 18. Porcentaje de las clasificaciones de consecuencia por rango para los métodos. Rango 1 es el menor y rango 4 es el mayor. USDA1 tiene tres rangos, para este análisis fue estandarizado en los rangos 1, 3 y 4.

Una debilidad de este componente es que los rangos se traslapan (Cuadro 2), tanto en ISA M&C (Duntemann y Stuart, 2016) como en THREATS, siendo una fuente de error para la categorización, por lo que se sugiere su ajuste antes de utilizarlos.

El ISA BMP es una metodología actualizada del ISA M&C (Koeser et al., 2016). En ambos métodos los promedios de clasificación de la consecuencia se encuentran en los extremos del gráfico (Figuras 14c y 18); la diferencia es que ISA BMP no utiliza directamente el tamaño de la parte para analizar la consecuencia, aplicando una combinación entre la parte, tipo de blancos, factor de protección del blanco y distancia de caída (Cuadro 1), lo que podría llevar a una mayor valoración de este componente. En la práctica, tener una sistematización para evaluar la consecuencia a partir de los atributos utilizados en ISA BMP, facilitaría la evaluación de grandes poblaciones.

USDA 1, único método con tres rangos (Cuadro 2), especifica solamente que las partes del árbol menores a 7,5 cm deben ser clasificadas en el rango 1, y usa los términos “pequeña”, “mediana” y “grande” para clasificarlos, complementándolo con el daño potencial a personas y/o estructuras. De la misma forma, el porcentaje de las clasificaciones de consecuencia en los rangos 3 y 4 de este método fueron similares a los de ISA BMP y THREATS (Figura 18).

En la interacción “método x tipo de evaluador” (Figura 16b), se observó que los métodos ISA BMP y THREATS no presentaron diferencias significativas entre tipos de evaluador, indicando independencia del nivel de experiencia en su aplicación. En los métodos USDA 1 e ISA M&C, los evaluadores del grupo Experto sobrevaloraron la consecuencia al compararlo con el grupo Sin experiencia, mientras que en la aplicación del QTRA se dio lo contrario. Esta diferencia se explicaría porque USDA 1 no tiene indicado los tamaños para cada rango, por lo que depende de la experiencia de los evaluadores. Otros factores como una inadecuada interpretación de las definiciones de las categorías, rangos y escalas, por ejemplo, como señalan Koeser y Smiley (2017), podrían explicar la diferencia entre grupos de evaluadores. Cabe destacar que el método QTRA considera la masa reducida por degradación de una rama como un atributo del componente (Cuadro 1), donde el evaluador puede utilizarlo con la finalidad de reducir la consecuencia.

No fue posible identificar antecedentes suficientes para respaldar el uso del tamaño de la parte como atributo para el análisis de la consecuencia en los métodos estudiados, lo que pudiera ser un desafío al momento de clasificar el riesgo potencial, pudiendo por ello llevar a interpretaciones erradas (Duntemann y Stuart, 2016; Koeser y Smiley, 2017).

3.2.1.4. Clasificación del riesgo

Hubo diferencias significativas entre los tipos de evaluadores (Cuadro 10 y Figura 15b), resultado que coincide con lo señalado por Norris (2010) y Koeser y Smiley (2017), en cuyas investigaciones los evaluadores tienen un alto nivel de experiencia. Los árboles en su conjunto fueron clasificados con mayor riesgo por los evaluadores del grupo Experto, siendo la probabilidad de falla el componente que

más influyó en este resultado, pues fue el único que presentó diferencias significativas entre los grupos de evaluadores (Figura 15a). Este resultado es concordante con Ellison (2007), Koeser et al. (2015) y Koeser y Smiley (2017), que señalan que la probabilidad de falla puede ser el componente de mayor impacto en la evaluación del riesgo.

Los métodos conformaron cuatro grupos (Figura 14d), donde el mayor promedio fue para USDA 2 (grupo H), mientras que los menores valores se concentraron entre los rangos 1 y 2 de clasificación de riesgo, ubicándose el método THREATS (J), seguido por ISA M&C (K).

El análisis del riesgo y el peso relativo de cada componente (Cuadro 1) influyen en la clasificación final del riesgo (Norris, 2010; Koeser y Smiley, 2017; Reyes de la Barra et al., 2018). Al no utilizar la consecuencia como componente de análisis, el método USDA 2 se considera que sobrevaloraría los resultados, ya que la clasificación del riesgo sería independiente del tamaño de la parte más probable de fallar y su potencial daño. Se observó que el resultado de la clasificación del riesgo de THREATS siguió la tendencia de la probabilidad de falla (Figura 14a y d), que se verifica en el propio método, cuya escala exponencial de este componente conlleva a un mayor impacto en el resultado al compararlo con los otros componentes.

ISA M&C presenta la clasificación del riesgo en un ranking de 3 a 12 (Cuadro 1), por esto fue el método más modificado al momento de aplicar la estandarización desarrollada en esta investigación, que fue finalmente agrupado en 4 rangos (Cuadro 2); se observó que la estandarización concentró los resultados en rangos de riesgo de bajo a moderado, con la mediana en el rango 1 (Figura 14d), lo que en la práctica indicaría que un 50% de los árboles evaluados no necesitarían tratamiento. El ranking original, si bien ayuda a priorizar los tratamientos, se debe poner atención al momento de gestionar el riesgo de grandes poblaciones, ya que sería necesario analizar caso a caso la necesidad de manejo.

Los valores intermedios lo obtuvieron ISA BMP, USDA 1 y QTRA (Grupo I), donde los dos últimos presentaron similar dispersión en el componente, entre los rangos 1 a 4. Considerando el diseño propuesto en esta investigación, donde se representaron todos los rangos de riesgo en la selección de los árboles, estos tres

métodos tuvieron un buen desempeño, ya que los evaluadores pudieron discriminar el riesgo que representaban los árboles, reduciendo proporcionalmente aquellos clasificados en el rango 4. Al utilizar la herramienta *As Low As Reasonable Practicable* (ALARP) (Ellison, 2020) para analizar las clasificaciones de riesgo de estos tres métodos, ISA BMP clasificó más árboles en la zona ALARP, es decir, el tratamiento se realizaría si los beneficios compensan el costo del manejo; mientras que un número reducido de árboles, considerados como *outliers* en el análisis, fueron indicados en la zona inaceptable, debiendo ser tratados independientemente del costo. Por su parte, USDA 1 y QTRA tuvieron más árboles en la región ampliamente aceptable, donde no se requiere manejo, aunque también presentaron más árboles en la zona inaceptable.

A pesar de las limitaciones que significa contar con arbolistas experimentados o certificados para la evaluación de los árboles, el diseño de este trabajo reflejó la situación de muchas ciudades de Uruguay, así como también de otros países de Latinoamérica.

3.3. PROPUESTA DE DOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN VISUAL DEL RIESGO PARA ÁRBOLES URBANOS

3.3.1. Resultados por componentes

Los resultados de las evaluaciones se presentan en el Cuadro 12.

Los métodos presentaron interacción significativa entre tipo de evaluadores x género para la probabilidad de falla, donde el grupo Sin experiencia valoró en rangos más altos los eucaliptos que las tipuanas (Figura 19a), no observándose diferencias significativas para estos factores (Cuadro 12). Respecto a los métodos, hubo diferencias significativas, donde el método VD presentó mayores promedio y mediana (Figura 19b).

Cuadro 12. Resumen de las evaluaciones VB y VD por componente, fase 2.

	Efectos	Niveles	Media	Desv. Est.	Mínimo	Máximo	Mediana	
Probabilidad de Falla	Género	<i>Eucalyptus</i>	2,98	A	0,86	1,00	4,00	3,00
		<i>Tipuana</i>	2,61	A	0,83	1,00	4,00	3,00
	Método	VB	2,48	A	0,94	1,00	4,00	2,50
		VD	3,11	B	0,63	2,00	4,00	3,00
	Tipo de evaluador	Sin experiencia	2,84	A	0,82	1,00	4,00	3,00
		Experto	2,75	A	0,89	1,00	4,00	3,00
Probabilidad de Impacto	Género	<i>Eucalyptus</i>	3,16	A	0,91	1,00	4,00	3,00
		<i>Tipuana</i>	3,35	A	0,65	2,00	4,00	3,00
	Método	VB	3,26	A	0,82	1,00	4,00	3,00
		VD	3,25	A	0,77	1,00	4,00	3,00
	Tipo de evaluador	Sin experiencia	3,11	A	0,77	1,00	4,00	3,00
		Experto	3,40	B	0,80	1,00	4,00	4,00
Consecuencia	Género	<i>Eucalyptus</i>	2,75	A	0,86	1,00	4,00	3,00
		<i>Tipuana</i>	2,78	A	0,85	1,00	4,00	3,00
	Método	VB	2,75	A	0,89	1,00	4,00	3,00
		VD	2,78	A	0,81	1,00	4,00	3,00
	Tipo de evaluador	Sin experiencia	2,76	A	0,88	1,00	4,00	3,00
		Experto	2,77	A	0,83	1,00	4,00	3,00
Clasificación del Riesgo Estandarizado	Género	<i>Eucalyptus</i>	2,09	A	1,02	1,00	4,00	2,00
		<i>Tipuana</i>	1,92	A	1,01	1,00	4,00	2,00
	Método	VB	1,86	A	1,01	1,00	4,00	1,00
		VD	2,15	A	1,01	1,00	4,00	2,00
	Tipo de evaluador	Sin experiencia	1,94	A	0,90	1,00	4,00	2,00
		Experto	2,07	A	1,12	1,00	4,00	2,00

Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$).

El método VB por separado presentó el mismo resultado que el análisis de los datos en conjunto (Figura 19c). En el caso del método VD, no hubo diferencias significativas entre géneros y tipo de evaluadores, ni interacción entre ellos.

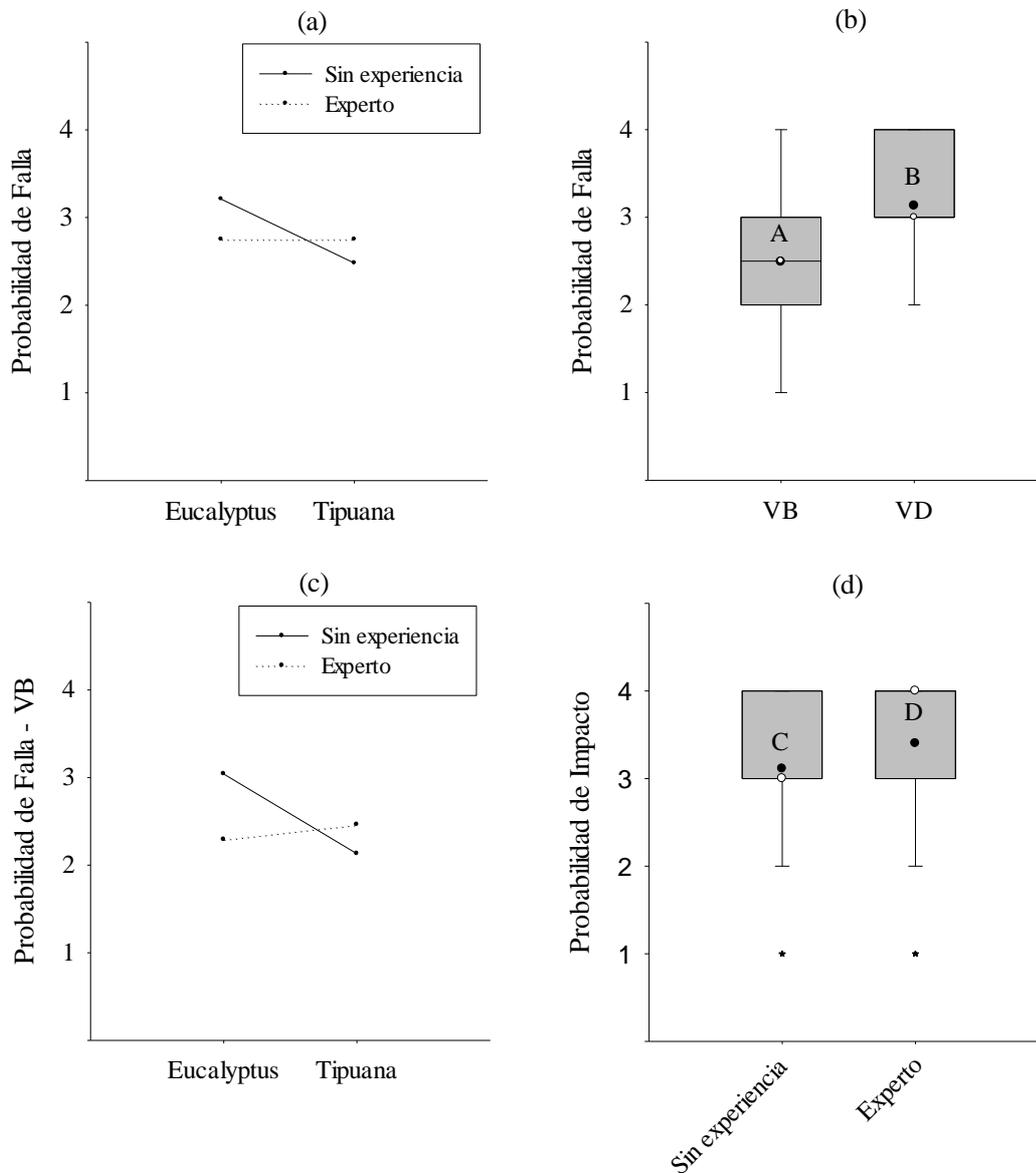


Figura 19. Resultados de los componentes ($P < 0,01$). (a) Gráfico de interacción tipo de evaluador x género para ambos métodos, (b) Diagrama de caja (barras) para la probabilidad de falla para ambos métodos, (c) Gráfico de interacción tipo de evaluador x género para el método VB y (d) Diagrama de caja (barras) para la probabilidad de impacto por tipo de evaluador. Media ajustada (puntos negros), medianas (círculos blancos) y valores atípicos (estrellas negras). Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$).

Al analizar los métodos de manera conjunta por componente, el resultado indicó que, al aumentar el nivel de detalle de la evaluación visual, tiende a aumentar más la valoración de la probabilidad de falla (Figura 19b), mientras que en los demás componentes esto no ocurrió. Considerando las diferencias metodológicas, principalmente en el número de evaluadores y árboles evaluados, este resultado fue similar al encontrado por Koeser et al. (2017), que señalan que al pasar de una evaluación visual limitada a una visual básica, es decir, al aumentar el nivel de detalle de la evaluación, se produce un cambio significativo en la probabilidad de falla; sin embargo, al utilizar técnicas avanzadas, la información adicional proporcionada por éstas tienen menor impacto en la valoración de este componente. Asimismo, el mayor nivel de detalle de la evaluación redujo el efecto de los factores tipo de evaluadores y género, aspecto que difiere de lo reportado por Koeser et al., (2017), que indican que ningún nivel de evaluación reduce consistentemente la variabilidad entre los evaluadores, lo cual podría deberse a la diferencia en el número de participantes considerados en ambos estudios —70 en Koeser et al., (2017) y cuatro en esta tesis—.

Con respecto a los componentes probabilidad de impacto y consecuencia, no se encontraron diferencias significativas entre los métodos VB y VD (Cuadro 12). Al analizarlos de manera conjunta se encontraron diferencias significativas entre tipo de evaluadores para la probabilidad de impacto (Figura 19d), mientras que por separado no hubo diferencias significativas entre los factores tipo de evaluadores y género para ninguno de los métodos. Para la consecuencia no hubo diferencias significativas entre tipo de evaluadores y géneros, cuando se analizaron los datos tanto en conjunto (Cuadro 12) como por separado, para cada método.

El resultado anterior se explicaría dado que los atributos relacionados con estos componentes se refieren más a las características del entorno, como la tasa de ocupación y el tipo de blanco, que respecto de las características del propio árbol. La probabilidad de impacto en ambos métodos utilizó los mismos atributos para su valoración; mientras que para la consecuencia los atributos fueron diferentes (Cuadro 3), y como no fueron encontradas diferencias entre los tipos de evaluadores, se puede

señalar que los rangos y descriptores de ambas metodologías son repetibles (Norris, 2010).

3.3.2. Análisis de la probabilidad de falla

Para los atributos que definen la probabilidad de falla, tanto para VB como para VD, no se encontraron diferencias significativas entre tipo de evaluadores y género, ni interacción significativa entre estos factores; mientras que sí se encontraron entre los atributos que definen este componente (Figura 20).

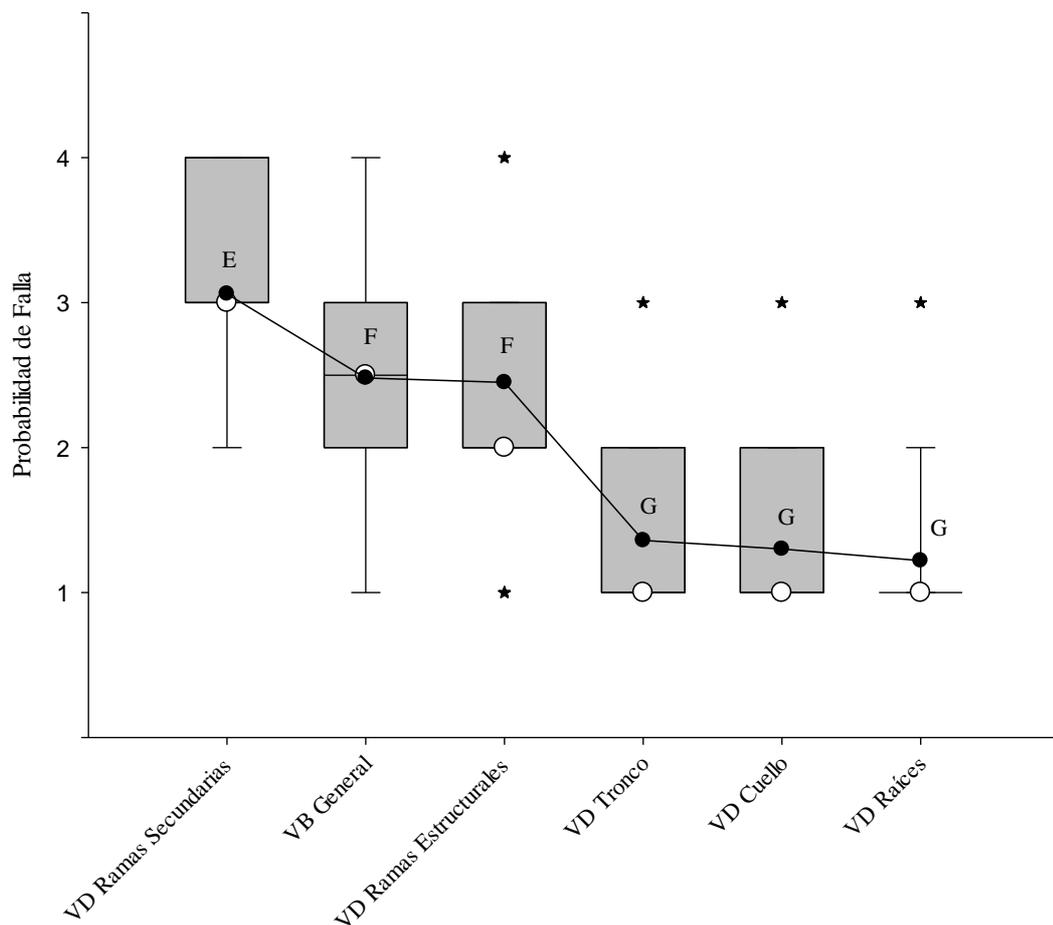


Figura 20. Diagrama de caja (barras) para la probabilidad de falla de VB y VD por atributo. Media ajustada (puntos negros), medianas (círculos blancos) y valores atípicos (estrellas negras). Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$).

Al profundizar el análisis del componente probabilidad de falla para los métodos VB y VD, se encontró que las ramas secundarias fue el atributo con mayor valoración promedio (Figura 20). Se observó que el promedio de la valoración de la probabilidad de falla general del método VB fue similar al promedio de la valoración de las ramas estructurales del método VD (Figura 20); por su parte, la probabilidad de falla general mostró una amplia distribución, incluyendo todos los rangos considerados en los atributos de cada parte del árbol usados en el método VD. Lo anterior se debería a que el método VB hace un único análisis general del árbol para determinar esta probabilidad, cuyo resultado lo hace una buena aproximación para la evaluación de este componente en un nivel básico de detalle, ya que permitió a los evaluadores identificar los cuatro rangos de probabilidad de falla, acorde con la metodología propuesta.

En el método VD, la valoración de las ramas secundarias fue el único atributo que tuvo un efecto significativo para ambos géneros ($\alpha=0,01$). No hubo nivel 1 (improbable) para este atributo ni para el componente probabilidad de falla en el método VD. Como era de esperar, cuando aumentó la evaluación de la probabilidad de falla de las ramas secundarias, también aumentó el índice del componente probabilidad de falla. Este resultado indicaría que la evaluación de esta parte del árbol tiene una gran influencia en la valoración de dicho componente para este nivel de evaluación visual (VD) y por consiguiente en la clasificación final del riesgo, a pesar que la consecuencia de la falla e impacto de una rama secundaria es generalmente reducida debido a su tamaño como a su masa, la que podría además estar disminuida debido a procesos de pudrición (Forbes-Laird, 2010; Dunster et al., 2017; Ellison, 2018).

3.3.3. Clasificación del riesgo

No hubo diferencias significativas para los factores analizados, ni interacción entre ellos en el análisis cualitativo ($\alpha=0,01$). En el análisis semicuantitativo hubo diferencias significativas entre los métodos VB y VD (Figura 21a); mientras que no hubo diferencias significativas entre tipo de evaluadores y género, ni interacción entre los factores.

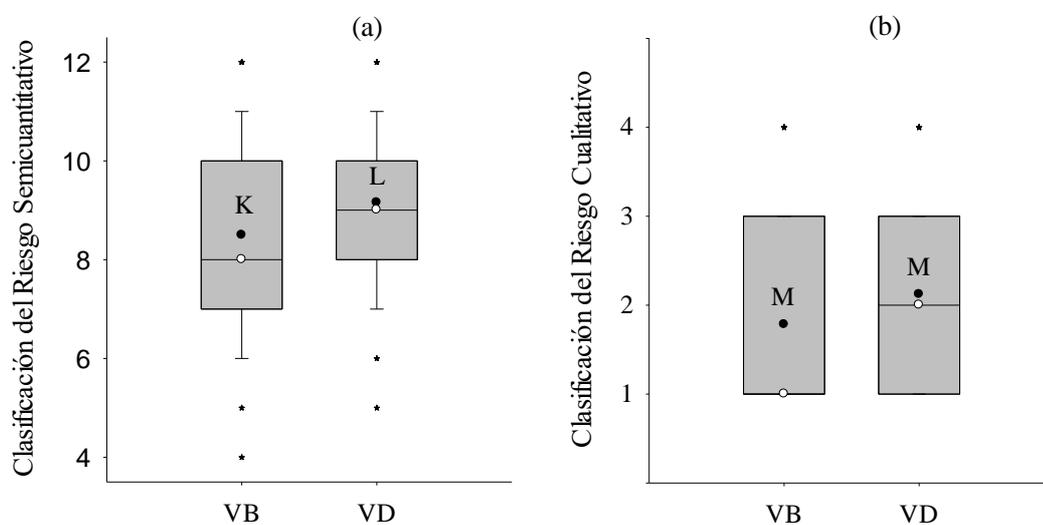


Figura 21. Diagrama de caja (barras) para: (a) clasificación del riesgo semicuantitativa, y (b) clasificación de riesgo cualitativa para ambos métodos. Media ajustada (puntos negros), medianas (círculos blancos) y valores atípicos (estrellas negras). Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$).

Las clasificaciones del riesgo de los métodos presentaron comportamientos diferentes al analizarlos cualitativa y semicuantitativamente (Figura 21a y b). En el análisis semicuantitativo, los rangos propuestos (Cuadro 4) indicarían que al aplicar la evaluación VD la mediana pasaría de un riesgo bajo a uno moderado, respecto del método VB, aunque sus valores hayan sido de 8 y 9, respectivamente (Figura 21a). Al analizar el riesgo cualitativamente sucede la misma situación con las medianas, sin embargo, en este caso no hubo diferencias significativas entre las medias (Figura 21b).

Cuando se compararon las clasificaciones del riesgo con las dos formas de análisis para la misma evaluación (Figura 22), la clasificación de riesgo 9 se obtuvo en los niveles “bajo” y “moderado”; lo mismo ocurrió con la clasificación de riesgo 10, que se obtuvo en los niveles “moderado” y “alto”. Estos resultados indicarían que el análisis cualitativo subestimó un 6% el número de evaluaciones comparadas con el análisis semicuantitativo (Figura 22).

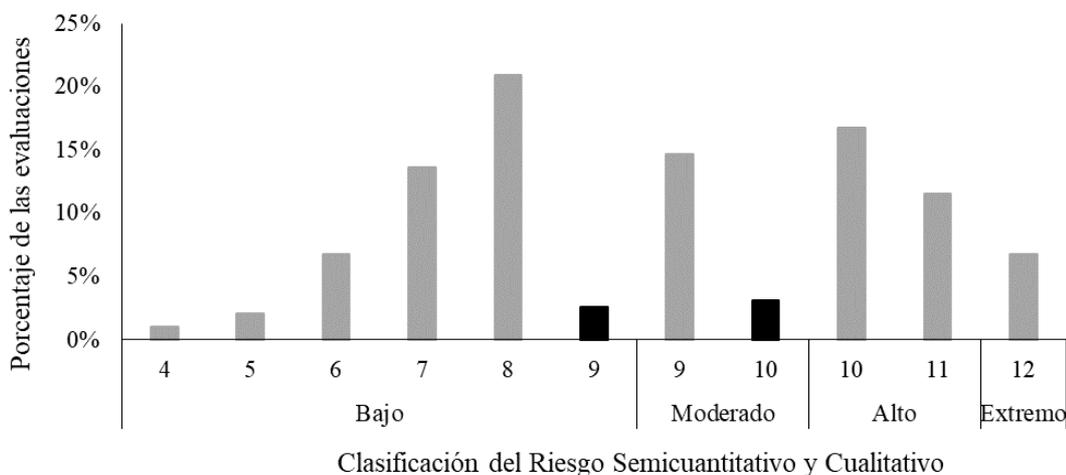


Figura 22. Distribución de la clasificación del riesgo para los análisis cualitativo y semicuantitativo. Las barras negras representan evaluaciones en el análisis cualitativo (9 en “bajo” y 10 en “moderado”).

Para calcular la clasificación del riesgo del método VB, el análisis semicuantitativo mostró ser el más adecuado, ya que permitió visualizar la amplia distribución de las evaluaciones de riesgo de los árboles (Figura 21a), y evitaría la subvaloración. Al ser un método que permite un primer relevamiento para la gestión del riesgo, que además puede ser usado complementariamente con un inventario, su rápida aplicación en el contexto del arbolado de Montevideo (Terrani, 2014) proporcionaría un eficaz ranking y zonificación de riesgo, aspecto deseable en este tipo de métodos (Norris, 2010; Koeser et al., 2016). A su vez, el análisis cualitativo se adecuó para el VD (Figura 21b), ya que es recomendable para árboles identificados con riesgo alto y extremo principalmente, siendo sugerida la utilización previa del método VB. Debido a que un valor numérico usado como clasificación del riesgo final, en este caso, podría llevar a interpretaciones erróneas, se sugiere la utilización de los descriptores “bajo”, “moderado”, “alto” y “extremo” (Koeser et al., 2016). Como el método VD es propuesto sobre todo para confirmar los riesgos más altos, proporcionando un mayor nivel de información para la toma de decisión respecto de los tratamientos necesarios para su mitigación, resulta más eficiente,

considerando la reducida cantidad de árboles en los cuáles sería necesaria su aplicación, especialmente bajo una gestión del riesgo en régimen.

Un aspecto relevante del método VD es la capacidad de confirmar la mayoría de las evaluaciones obtenidas con el método VB. Así, el 56% de las evaluaciones realizadas con el método VB clasificadas en el rango estandarizado 3, fueron confirmadas como “alto” con el método VD, mientras que el 41% fueron reclasificadas como “extremo” y un 3% como “moderado”; a su vez, de las evaluaciones con VB resultantes en el rango 4 estandarizado, el 71% se confirmaron como “extremo” con VD y las demás fueron reclasificadas como “alto”. Lo anterior confirma la opción de usar ambos métodos complementariamente con base en un protocolo.

En ambos métodos, todos los componentes tuvieron efecto significativo en la clasificación final del riesgo, siendo la probabilidad de falla el de mayor impacto (Figura 23), ya que cualquier aumento en la valoración de dicho componente modificó significativamente la clasificación del riesgo. A su vez, un cambio en la valoración de la consecuencia de “insignificante” a “menor” y en la probabilidad de impacto de “muy bajo” a “medio”, no se observó un efecto significativo en la clasificación del riesgo (Figura 23). En la práctica, significa que ambos métodos, y sus respectivos sistemas de rango estandarizado propuestos, fueron capaces de discriminar las situaciones donde se requiere la mayor atención, es decir, donde hay mayor exposición de los blancos y mayores daños potenciales (Ellison, 2018), por lo que resultarían ser herramientas adecuadas para incorporarlas en la gestión del riesgo.

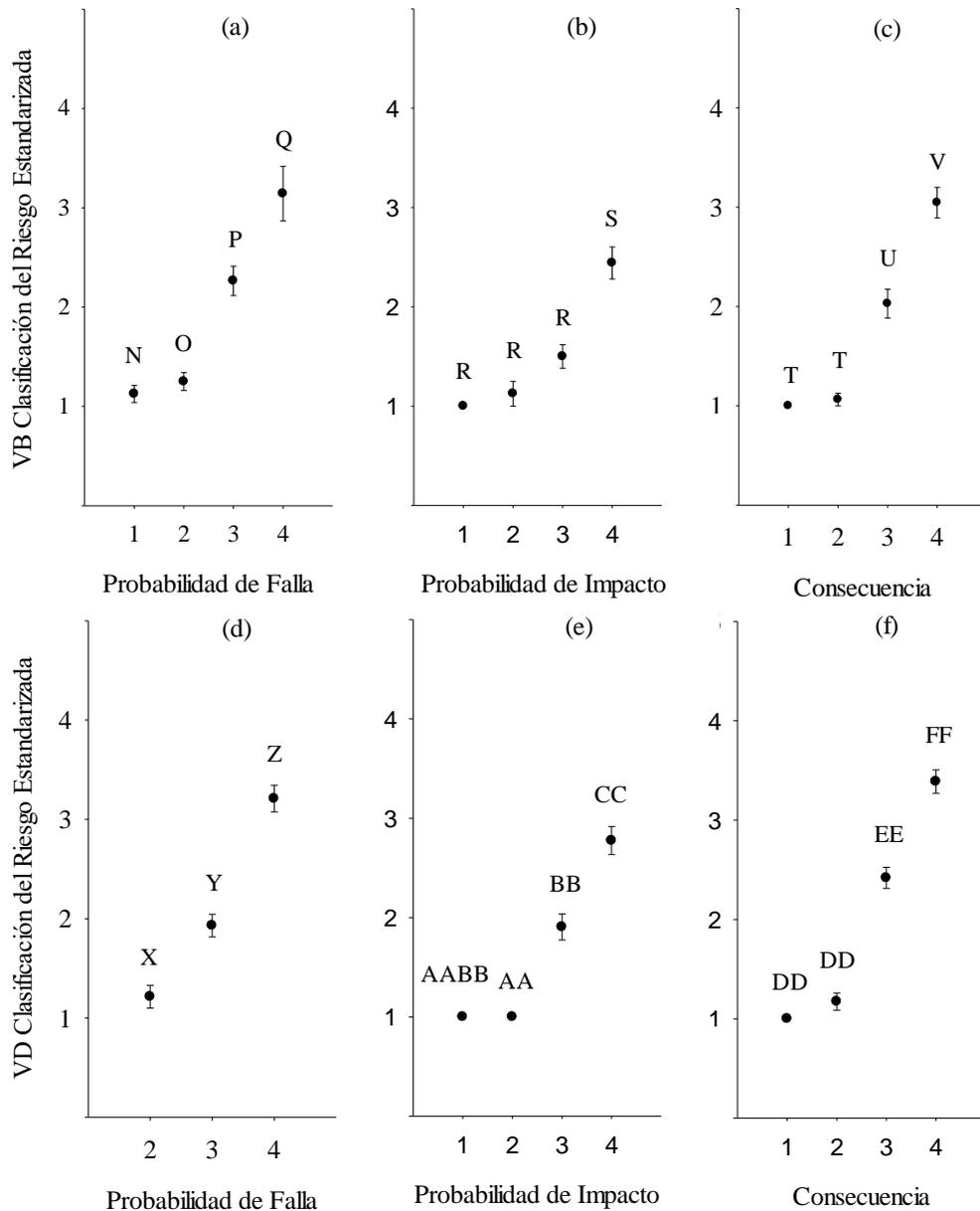


Figura 23. Diagramas de dispersión (media y error estándar): (a) probabilidad de falla x clasificación del riesgo estandarizado para el método VB, (b) probabilidad de impacto x clasificación del riesgo estandarizado para el método VB, (c) consecuencia x clasificación del riesgo estandarizado para el método VB, (d) probabilidad de falla x clasificación del riesgo estandarizado para el método VD, (e) probabilidad de impacto x clasificación del riesgo estandarizado para el método VD, y (f) consecuencia x clasificación del riesgo estandarizado para el método VD. Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$).

Finalmente, el mayor impacto de la probabilidad de falla refuerza las recomendaciones de Koeser et al. (2015), respecto a la necesidad de desarrollar guías y realizar entrenamientos adecuados al contexto para la evaluación de los atributos referentes a la probabilidad de falla.

3.4. PROPUESTA DE UN MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL RIESGO DE ÁRBOLES EN PARQUES URBANOS ADAPTADO A PROGRAMAS DE VOLUNTARIADO EN LA CIUDAD DE MONTEVIDEO

La literatura disponible sobre análisis de la calidad de la recolección de datos por voluntarios en tareas referentes a bosques urbanos es escasa (Bancks et al., 2018), la mayoría de éstos comparan datos de inventarios de árboles de calles tomados por voluntarios y expertos (Bloniarz y Ryan, 1996; Cozad et al., 2005; Roman et al., 2017; Bancks et al., 2018), contemplando la evaluación de la condición estructural de los árboles. En consideración a lo señalado, este sería el primer trabajo con voluntarios en el tema de evaluación del riesgo para identificación de situaciones peligrosas.

3.4.1. Fase 1

Los resultados de las evaluaciones se presentan en el Cuadro 13.

No se detectaron diferencias significativas entre género e interacción género x tipo de evaluador para los componentes analizados —probabilidad de falla y de impacto, consecuencia y clasificación del riesgo—, mientras que entre los tipos de evaluadores hubo diferencias significativas para todas las categorías analizadas (Cuadro 13 y Figura 24).

Cuadro 13. Resumen de las evaluaciones de nivel 1 en la fase 1, por componente.

	Efectos	Niveles	Media		Desv. Est.	Mínimo	Máximo	Mediana
Probabilidad de Falla	Género	<i>Eucalyptus</i>	2,45	A	0,79	1,00	4,00	2,50
		<i>Tipuana</i>	2,41	A	0,85	1,00	4,00	2,00
	Tipo de evaluador	Experto	2,73	A	0,67	1,00	4,00	3,00
		Sin experiencia	2,43	AB	0,69	1,00	4,00	2,00
		Voluntario	2,24	B	0,96	1,00	4,00	2,00
	Probabilidad de Impacto	Género	<i>Eucalyptus</i>	3,16	A	1,05	1,00	4,00
<i>Tipuana</i>			3,31	A	0,83	1,00	4,00	3,00
Tipo de evaluador		Experto	3,67	A	0,59	1,00	4,00	4,00
		Sin experiencia	3,41	A	0,79	1,00	4,00	4,00
		Voluntario	2,77	B	1,08	1,00	4,00	3,00
Consecuencia		Género	<i>Eucalyptus</i>	2,91	A	0,90	1,00	4,00
	<i>Tipuana</i>		2,98	A	0,83	1,00	4,00	3,00
	Tipo de evaluador	Experto	3,19	A	0,64	1,00	4,00	3,00
		Sin experiencia	3,19	A	0,67	1,00	4,00	3,00
		Voluntario	2,55	B	1,02	1,00	4,00	3,00
	Clasificación del Riesgo	Género	<i>Eucalyptus</i>	2,19	A	0,88	1,00	4,00
<i>Tipuana</i>			2,46	A	0,89	1,00	4,00	2,00
Tipo de evaluador		Experto	2,83	A	0,72	1,00	4,00	3,00
		Sin experiencia	2,23	B	0,79	1,00	4,00	2,00
		Voluntario	2,08	B	0,96	1,00	4,00	2,00

Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$).

En esta primera fase de la investigación los participantes contaban con un formulario *ad-hoc* para conducir las evaluaciones (Anexo 6.1). Los resultados muestran que el grupo Voluntario tendió a subvalorar todos los componentes de la evaluación del riesgo, comparado con los del grupo Experto (Figura 24); a su vez, las personas del grupo Sin Experiencia evaluaron los componentes de forma similar a los del grupo Experto (Figura 24a, b y c), con excepción para la clasificación del riesgo. Los expertos tendieron a valorar más este último componente (Figura 24d), lo que podría ser explicado por la capacidad de identificar y combinar de forma más precisa las variables relacionadas con la evaluación, como por ejemplo, la presencia de defectos, tamaño de la parte y uso del espacio (Coelho-Duarte et al., 2021).

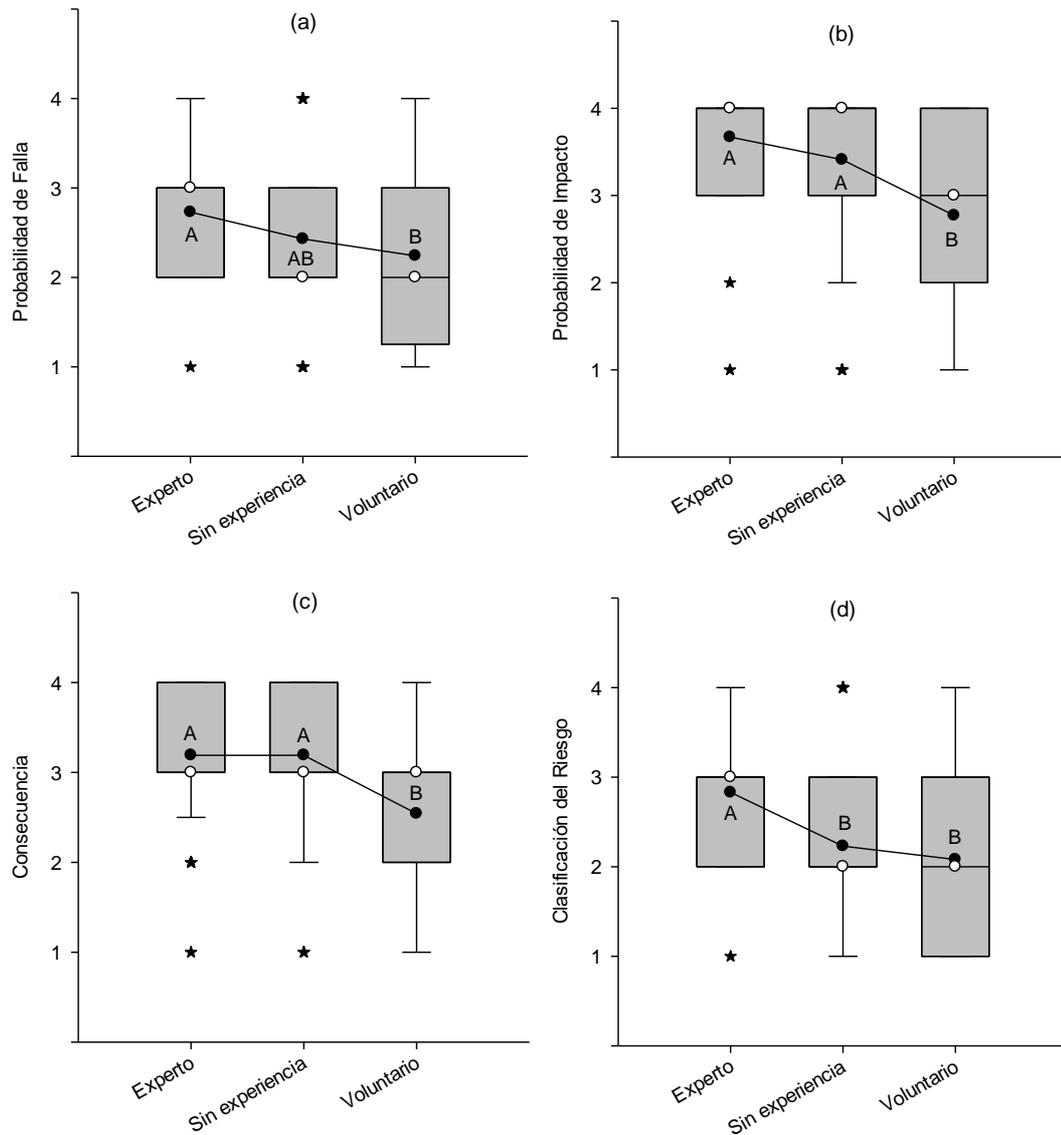


Figura 24. Diagrama de caja (barras) para los componentes por tipo de evaluador ($P < 0,01$): (a) probabilidad de falla, (b) probabilidad de impacto, (c) consecuencia, (d) clasificación del riesgo. Media ajustada (puntos negros), medianas (círculos blancos) y valores atípicos (estrellas negras). Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$).

Con relación a los resultados de los evaluadores dentro del grupo Experto para cada componente, hubo interacción género x evaluador para la clasificación del riesgo (Figura 25a), sin diferencias significativas entre los factores principales; a su

vez, para la probabilidad de impacto no hubo interacción, pero sí hubo diferencias significativas entre los participantes (Figura 25b).

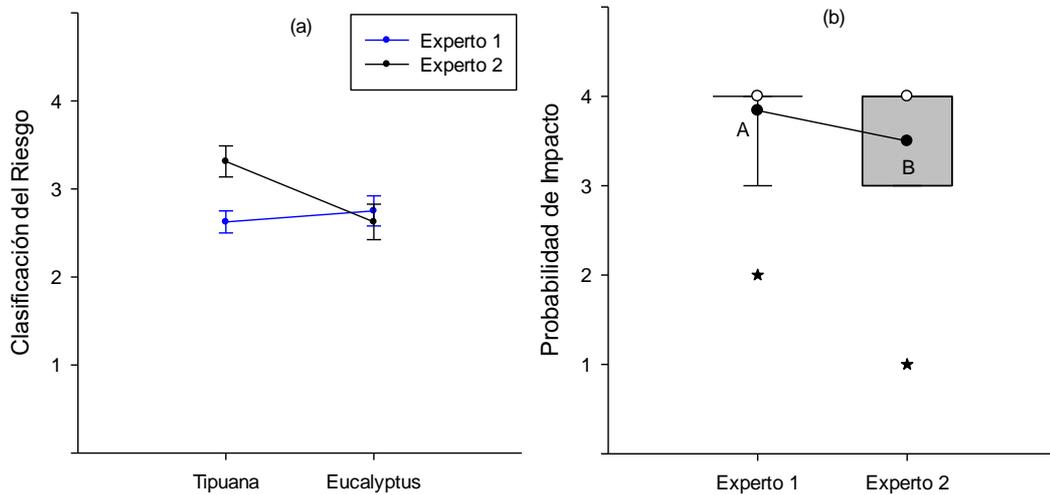


Figura 25. Diagrama de caja (barras) de: (a) gráfico de interacción género x evaluador para la clasificación del riesgo, (b) probabilidad de impacto para evaluadores expertos. Media (puntos negros), medianas (círculos blancos) y valores atípicos (estrellas negras). Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$).

En este contexto, Koeser y Smiley (2017) señalan que el enfoque de la industria de la arboricultura urbana en los EE. UU., respecto de la identificación de defectos, ocurre en detrimento de la evaluación de los blancos, lo que podría explicar la mayor consistencia entre evaluadores respecto de la probabilidad de falla, similar a lo observado en este trabajo. Sumado a esto, la falta de una indicación específica de cuáles son los atributos que deberían ser evaluados para valorar la probabilidad de impacto como un todo, podría relacionarse con la diferencia existente al interior del grupo de evaluadores expertos para este componente (Figura 25b).

A partir de estos resultados, se desarrolló un formulario para evaluación de nivel 1 (Anexo 6.4), enfocado en la detección de atributos relacionados con la probabilidad de falla.

3.4.2. Fase 2

Los resultados de las evaluaciones se presentan en los Cuadros 14, 15 y 16.

Cuadro 14. Resumen de las evaluaciones de estado fitosanitario en nivel 1, fase 2.

	Efectos	Niveles	Media		Desv. Est.	Mínimo	Máximo	Mediana
Estado Fitosanitario	Género	<i>Eucalyptus</i>	2,18	A	0,74	1,00	3,00	2,00
		<i>Tipuana</i>	2,04	A	0,76	1,00	3,00	2,00
	Tipo de evaluador	Experto	1,85	A	0,74	1,00	3,00	2,00
		Sin experiencia	1,94	A	0,78	1,00	3,00	2,00
		Voluntario	2,55	B	0,50	2,00	3,00	3,00
	Heridas o canchros	Género	<i>Eucalyptus</i>	2,04	A	0,78	1,00	3,00
<i>Tipuana</i>			2,03	A	0,71	1,00	3,00	2,00
Tipo de evaluador		Experto	1,92	A	0,68	1,00	3,00	2,00
		Sin experiencia	1,83	A	0,75	1,00	3,00	2,00
		Voluntario	2,36	B	0,70	1,00	3,00	2,00
Orificios de emergencia		Género	<i>Eucalyptus</i>	1,55	A	0,73	1,00	3,00
	<i>Tipuana</i>		1,50	A	0,73	1,00	3,00	1,00
	Tipo de evaluador	Experto	1,50	B	0,65	1,00	3,00	1,00
		Sin experiencia	1,04	A	0,20	1,00	2,00	1,00
		Voluntario	2,04	C	0,81	1,00	3,00	2,00
	Plagas	Género	<i>Eucalyptus</i>	1,51	A	0,71	1,00	3,00
<i>Tipuana</i>			1,56	A	0,73	1,00	3,00	1,00
Tipo de evaluador		Experto	1,04	A	0,20	1,00	2,00	1,00
		Sin experiencia	1,54	B	0,58	1,00	3,00	1,50
		Voluntario	2,04	C	0,83	1,00	3,00	2,00

Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$).

Cuadro 15. Resumen de las evaluaciones de los defectos de parte aérea en nivel 1, fase 2.

	Efectos	Niveles	Media		Desv. Est.	Mínimo	Máximo	Mediana
Fisura	Género	<i>Eucalyptus</i>	0,44	A	0,50	0,00	1,00	0,00
		<i>Tipuana</i>	0,49	A	0,50	0,00	1,00	0,00
	Tipo de evaluador	Experto	0,21	A	0,41	0,00	1,00	0,00
		Sin experiencia	0,27	A	0,45	0,00	1,00	0,00
		Voluntario	0,92	B	0,28	0,00	1,00	1,00
Putrición	Género	<i>Eucalyptus</i>	0,42	A	0,50	0,00	1,00	0,00
		<i>Tipuana</i>	0,42	A	0,50	0,00	1,00	0,00
	Tipo de evaluador	Experto	0,35	A	0,48	0,00	1,00	0,00
		Sin experiencia	0,17	A	0,38	0,00	1,00	0,00
		Voluntario	0,73	B	0,45	0,00	1,00	1,00
Cavidad	Género	<i>Eucalyptus</i>	0,29	A	0,46	0,00	1,00	0,00
		<i>Tipuana</i>	0,43	A	0,50	0,00	1,00	0,00
	Tipo de evaluador	Experto	0,38	A	0,49	0,00	1,00	0,00
		Sin experiencia	0,27	A	0,45	0,00	1,00	0,00
		Voluntario	0,44	A	0,50	0,00	1,00	0,00
Ramas secas	Género	<i>Eucalyptus</i>	0,94	A	0,23	0,00	1,00	1,00
		<i>Tipuana</i>	0,69	A	0,46	0,00	1,00	1,00
	Tipo de evaluador	Experto	0,73	A	0,45	0,00	1,00	1,00
		Sin experiencia	0,83	A	0,38	0,00	1,00	1,00
		Voluntario	0,90	A	0,31	0,00	1,00	1,00
Bifurcación	Género	<i>Eucalyptus</i>	0,21	A	0,41	0,00	1,00	0,00
		<i>Tipuana</i>	0,33	A	0,47	0,00	1,00	0,00
	Tipo de evaluador	Experto	0,42	A	0,50	0,00	1,00	0,00
		Sin experiencia	0,19	A	0,39	0,00	1,00	0,00
		Voluntario	0,21	A	0,41	0,00	1,00	0,00
Deformaciones	Género	<i>Eucalyptus</i>	0,25	A	0,44	0,00	1,00	0,00
		<i>Tipuana</i>	0,13	A	0,33	0,00	1,00	0,00
	Tipo de evaluador	Experto	0,23	A	0,42	0,00	1,00	0,00
		Sin experiencia	0,10	A	0,31	0,00	1,00	0,00
		Voluntario	0,23	A	0,42	0,00	1,00	0,00
Ramas colgadas	Género	<i>Eucalyptus</i>	0,31	A	0,46	0,00	1,00	0,00
		<i>Tipuana</i>	0,14	A	0,35	0,00	1,00	0,00
	Tipo de evaluador	Experto	0,21	A	0,41	0,00	1,00	0,00
		Sin experiencia	0,31	A	0,47	0,00	1,00	0,00
		Voluntario	0,15	A	0,36	0,00	1,00	0,00

Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$).

Cuadro 16. Resumen de las evaluaciones de los defectos de raíces y de conteo de defectos por árbol en nivel 1, fase 2.

	Efectos	Niveles	Media		Desv. Est.	Mínimo	Máximo	Mediana
Plato levantado	Género	<i>Eucalyptus</i>	0,25	-	0,44	0,00	1,00	0,00
		<i>Tipuana</i>	0,14	-	0,35	0,00	1,00	0,00
	Tipo de evaluador	Experto	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00
		Sin experiencia	0,23	-	0,42	0,00	1,00	0,00
		Voluntario	0,35	-	0,48	0,00	1,00	0,00
	Raíces cortadas	Género	<i>Eucalyptus</i>	0,06	A	0,23	0,00	1,00
<i>Tipuana</i>			0,11	A	0,32	0,00	1,00	0,00
Tipo de evaluador		Experto	0,10	A	0,31	0,00	1,00	0,00
		Sin experiencia	0,02	A	0,14	0,00	1,00	0,00
		Voluntario	0,13	A	0,33	0,00	1,00	0,00
Raíces estrangulantes		Género	<i>Eucalyptus</i>	0,17	A	0,38	0,00	1,00
	<i>Tipuana</i>		0,25	A	0,44	0,00	1,00	0,00
	Tipo de evaluador	Experto	0,13	A	0,33	0,00	1,00	0,00
		Sin experiencia	0,13	A	0,33	0,00	1,00	0,00
		Voluntario	0,38	B	0,49	0,00	1,00	0,00
	Conteo defectos - cuello, tronco, copa y ramas	Género	<i>Eucalyptus</i>	2,86	A	1,52	0,00	6,00
<i>Tipuana</i>			2,63	A	1,36	0,00	5,00	3,00
Tipo de evaluador		Experto	2,52	A	1,20	1,00	6,00	2,00
		Sin experiencia	2,15	A	1,60	0,00	6,00	2,00
		Voluntario	3,56	B	1,11	0,00	5,00	4,00
Conteo defectos - raíces		Género	<i>Eucalyptus</i>	0,47	A	0,67	0,00	2,00
	<i>Tipuana</i>		0,50	A	0,61	0,00	2,00	0,00
	Tipo de evaluador	Experto	0,23	A	0,52	0,00	2,00	0,00
		Sin experiencia	0,38	A	0,57	0,00	2,00	0,00
		Voluntario	0,85	B	0,65	0,00	2,00	1,00

Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$).

En la segunda fase, donde fue usado el método propuesto que incluye un formulario de evaluación, no hubo diferencias significativas entre los géneros ni interacción género x tipo de evaluador, tanto para los atributos relacionados a la fitosanidad (Cuadro 14) como a los defectos (Cuadros 15 y 16). Por su parte, para tipo de evaluadores hubo diferencias significativas en las evaluaciones de severidad de todas las características relacionadas a la fitosanidad (Cuadro 14 y Figura 26). Los participantes del grupo Voluntario tendieron a sobrevalorar todas las evaluaciones

asociadas a fitosanidad; mientras que los evaluadores del grupo Sin experiencia evaluaron de forma similar al grupo Experto, en casi todos los atributos (Figura 26a y b). Para las evaluaciones de presencia de orificios y plagas, fueron observadas diferencias entre todos los evaluadores (Figura 26c y d).

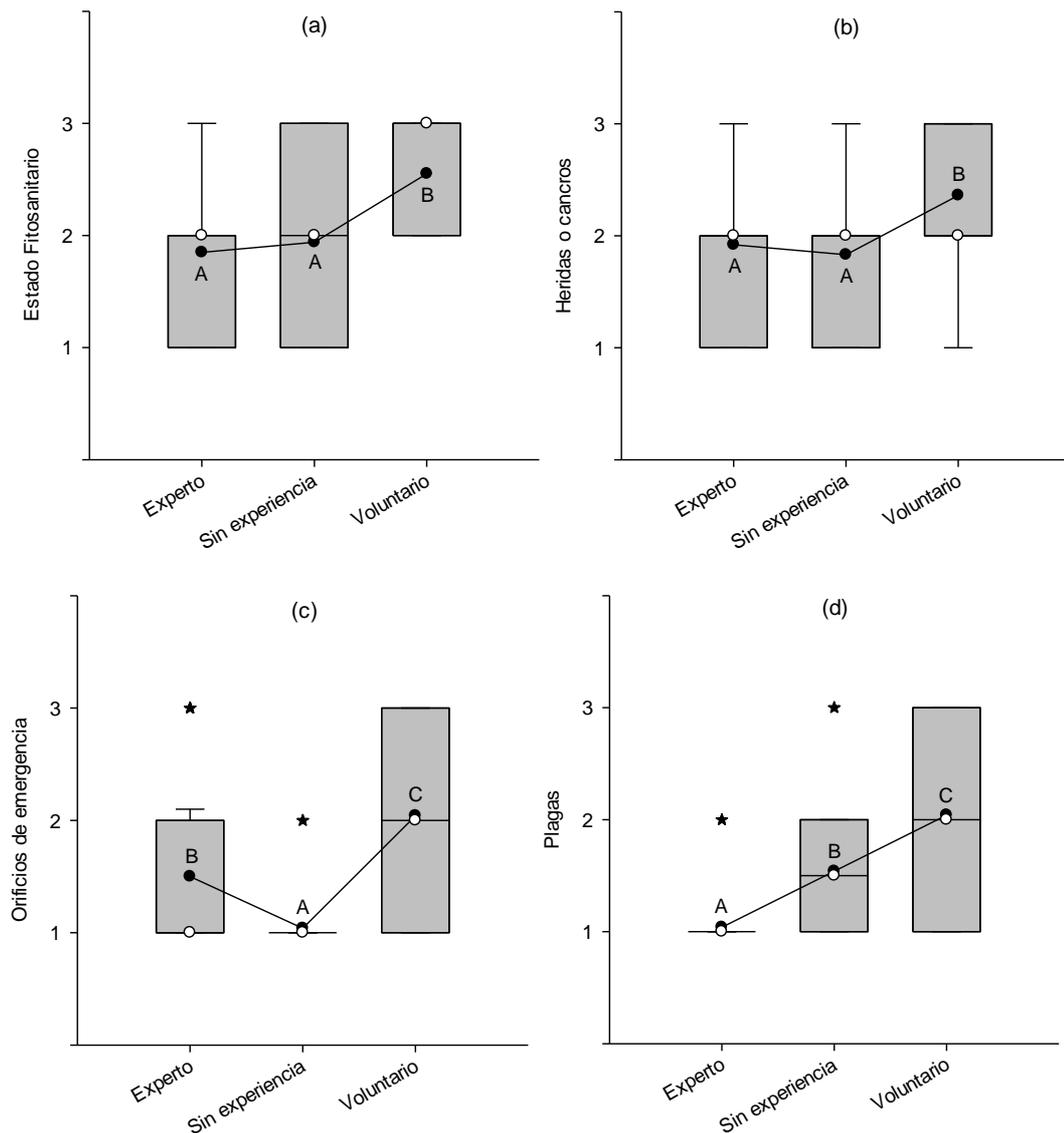


Figura 26. Diagrama de caja (barras) para las características evaluadas relacionadas a la fitosanidad por tipo de evaluador ($P < 0,01$): (a) estado fitosanitario, (b) heridas o canchros, (c) orificios de emergencia, (d) plagas. Media ajustada (puntos negros), medianas (círculos blancos) y valores atípicos (estrellas negras). Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$).

Bloniarz y Ryan (1996) encuentran un 83% de similitud entre las evaluaciones de 97 voluntarios, comparado a dos arbolistas certificados con respecto a la condición general del árbol. Al analizar el 17% de las inconsistencias, el resultado es similar al presente trabajo, ya que los voluntarios tendieron a ser más conservadores en la evaluación y consideraron más árboles en peores condiciones.

En el estudio realizado por Roman et al. (2017) no se encuentran diferencias entre el desempeño de los participantes intermedios y novatos en el inventario de árboles de calles de tres ciudades de Estados Unidos y una de Suecia, pero sí encuentran diferencias para algunas de las variables evaluadas entre estos dos grupos y los expertos. Este resultado es diferente del encontrado en la presente investigación, donde el grupo Sin experiencia, que sería homologable al intermedio, se asemejó más al Experto que al Voluntario. Esto puede ser explicado debido a que el grupo de los novatos en Roman et al. (2017) tienen un máximo de 1 año de experiencia en trabajos de campo, además de conocimientos relacionados a la temática; por el contrario, los voluntarios que participaron en la presente investigación nunca habían trabajado o realizado estudios en arboricultura o bosques urbanos.

En Galloway et al. (2006) se reportan que hay más similitudes entre evaluadores expertos y voluntarios en la evaluación de características cuantitativas del árbol, como por ejemplo la medición del diámetro a la altura del pecho, mientras que las evaluaciones difieren para características subjetivas, como la condición de la copa. Bancks et al. (2018) consideran la evaluación de la condición de los árboles la parte más compleja del inventario, lo que se explica por la concordancia de entre el 41 a 68% entre las evaluaciones de los voluntarios e investigadores, menor que el límite de 80% propuesto por Bloniarz y Ryan (1996), baremo que utiliza dicho estudio.

En cuanto al conteo general de defectos, tanto en la parte aérea —cuello, tronco, copa y ramas— como en raíces, no hubo diferencias significativas entre los géneros ni interacción género x tipo de evaluador, mientras que sí hubo entre los tipos de evaluadores (Cuadro 16 y Figura 27a y b). El grupo Voluntario tendió a

identificar más defectos por árbol, comparado a los grupos Sin experiencia y Experto (Figura 27).

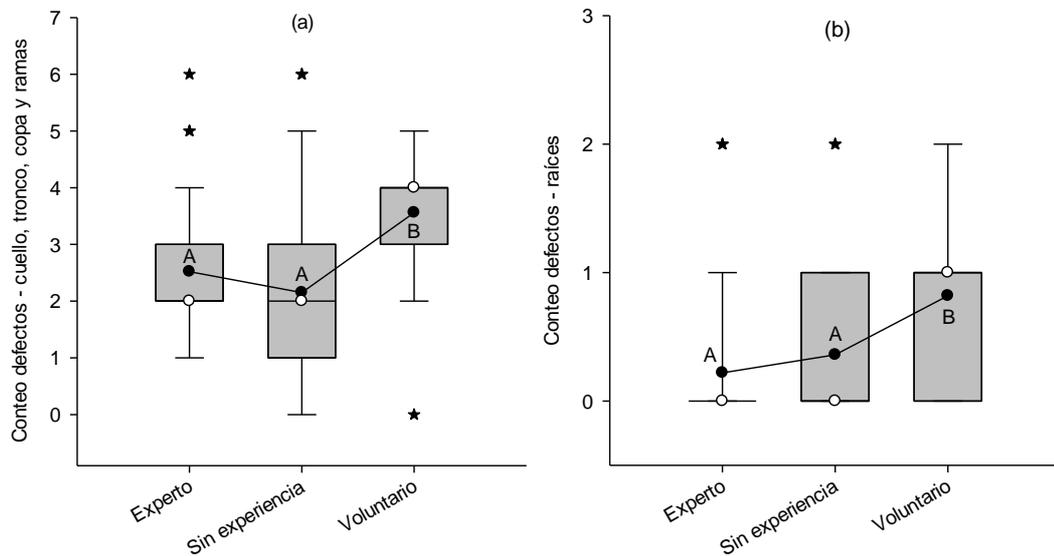


Figura 27. Diagrama de caja (barras) para el conteo de los defectos por tipo de evaluador ($P < 0,01$): (a) cuello, tronco, copa y ramas; (b) raíces. Media ajustada (puntos negros), medianas (círculos blancos) y valores atípicos (estrellas negras). Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$).

Al analizar la incidencia para cada defecto separadamente, fueron encontradas diferencias significativas entre los evaluadores para tres de los diez defectos evaluados: “fisura”, “pudrición” y “raíces estranguladoras” (Cuadros 15 y 16 y Figura 28). Para “plato levantado” no fue posible estimarlo, debido al reducido número de árboles con este defecto.

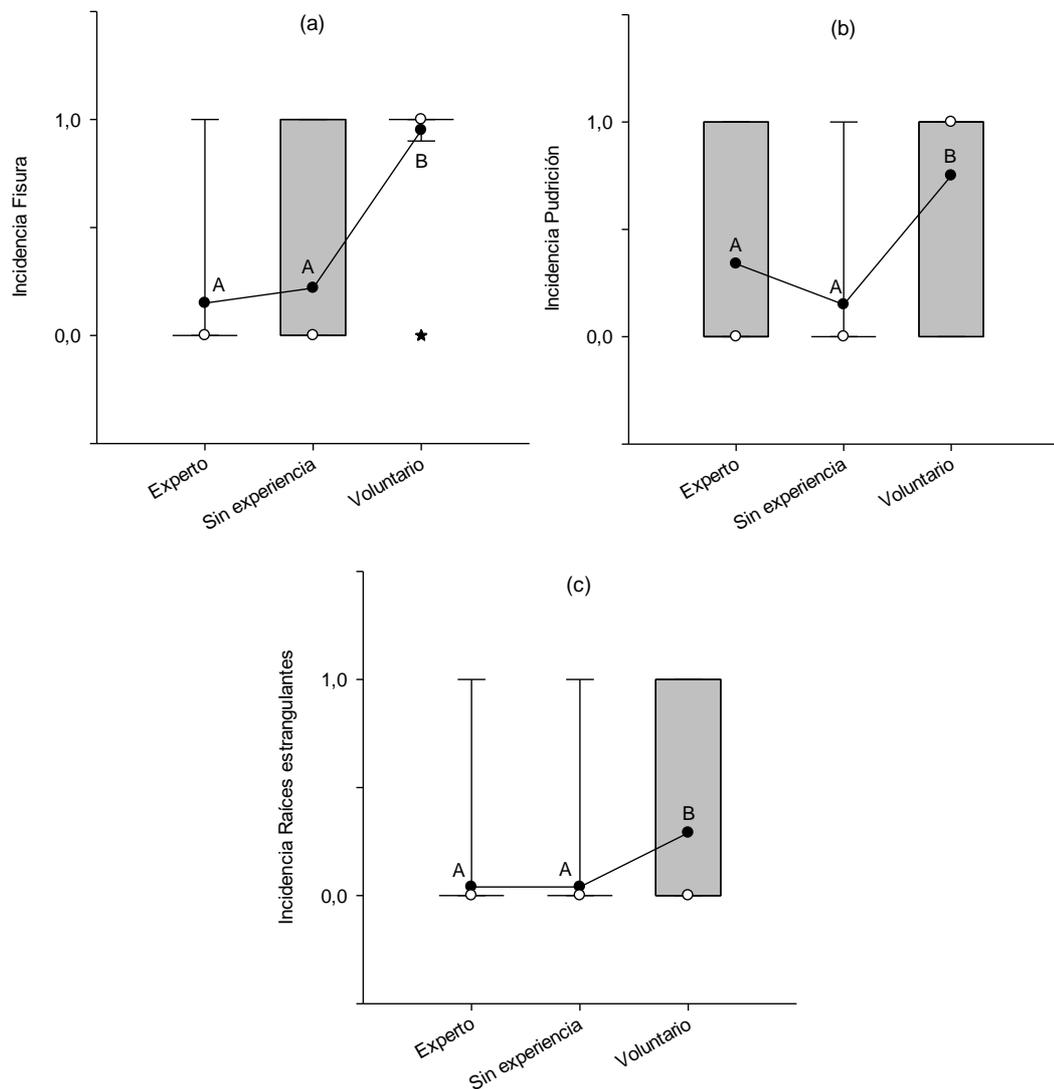


Figura 28. Diagrama de caja (barras) para la incidencia de los defectos por tipo de evaluador ($P < 0,01$): (a) fisura, (b) pudrición, (c) raíces estranguladoras. Media ajustada (puntos negros), medianas (círculos blancos) y valores atípicos (estrellas negras). Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$).

El grupo Voluntario tendió a identificar más árboles con fisura, pudrición y raíces estranguladoras, comparado a los otros tipos de evaluadores. Similares resultados fueron obtenidos por Roman et al. (2017), considerando las debidas diferencias metodológicas de los formularios utilizados por los participantes. Dichos autores encuentran un mayor porcentaje de concordancia de los grupos intermedio y

novato con los expertos en la evaluación de la muerte regresiva de la copa, que, si bien este concepto es diferente al de identificar ramas grandes muertas en la copa, es posible observar que evaluar estas variables relacionadas con la presencia de madera seca (o muerta) en la copa, resulta en una buena recolección de datos. A su vez, los mismos autores hallan una menor consistencia para la determinación de la condición de la estabilidad estructural del árbol, que podría ser comparado a los defectos de pudrición y fisura considerados en el presente estudio.

En el contexto descrito, Roman et al. (2017) sugieren eliminar la evaluación estructural del árbol del inventario debido a la menor consistencia, ya que podría conllevar problemas de responsabilidad, al ser una información relacionada con riesgo. Sin embargo, es importante diferenciar que el inventario de estos autores tiene como objetivo clasificar la condición del árbol en cuatro categorías, a fin de identificar aquellos árboles dónde es necesaria una atención especial por los técnicos; mientras que esta tesis apuntó a identificar en el nivel 1 defectos obvios, sin categorizarlos, transmitiendo información de una forma eficaz a los técnicos, como por ejemplo la presencia de una rama seca colgada en la copa, o una fisura mecánica en el tronco o en una rama estructural, que podrían indicar que el árbol o la parte señalada ya está fallando.

Con respecto a los evaluadores del grupo Experto, no fueron encontradas diferencias significativas entre los géneros, ni interacción género x evaluador, para ninguna de las variables. Sin embargo, de los cuatro atributos relacionados a la fitosanidad, solamente en la evaluación de la severidad del ataque de plagas no hubo diferencia significativa entre ellos (Figura 29).

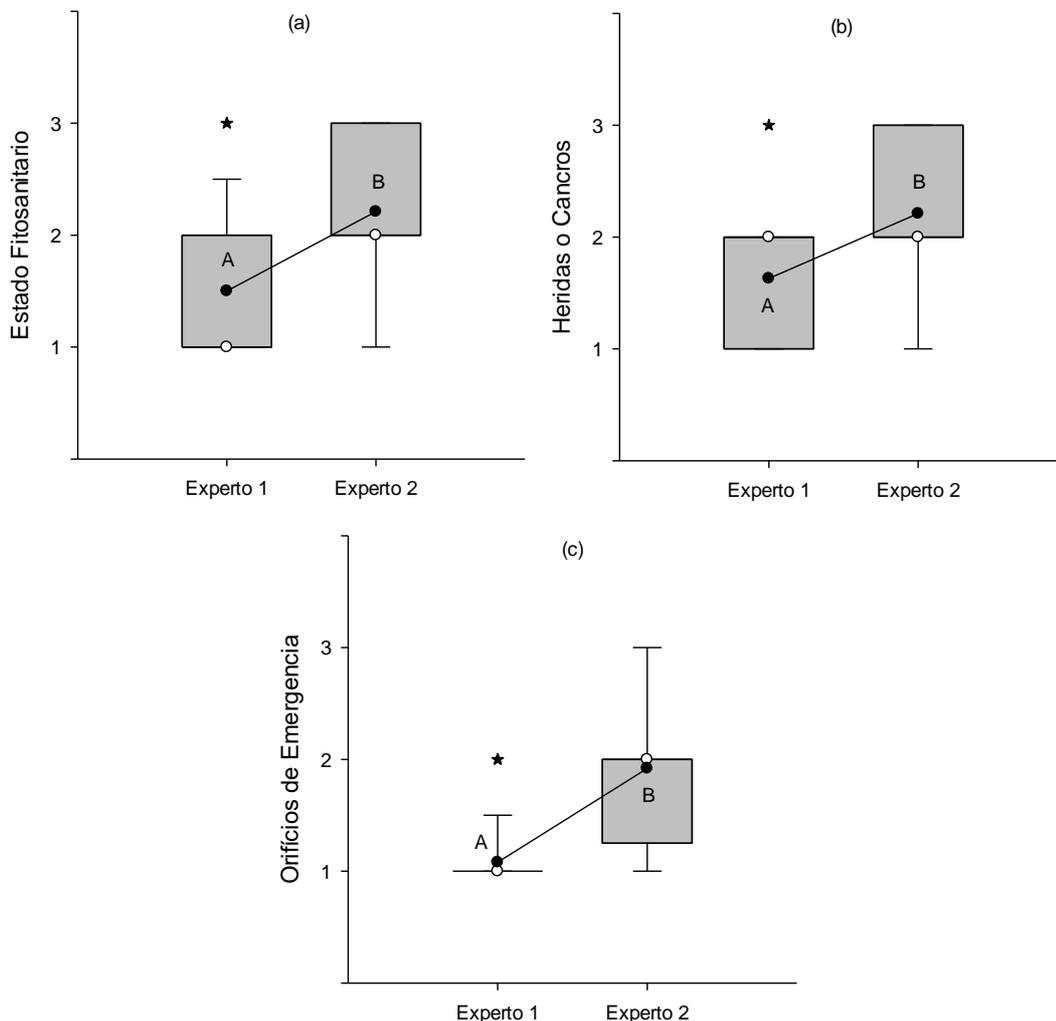


Figura 29. Diagrama de caja (barras) para las características evaluadas relacionadas a la fitosanidad por evaluador experto ($P < 0,01$): (a) estado fitosanitario, (b) heridas o cancos, (c) orificios de emergencia. Media ajustada (puntos negros), medianas (círculos blancos) y valores atípicos (estrellas negras). Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$).

A partir de este resultado, el cálculo de concordancia entre los evaluadores Sin experiencia y los Voluntarios se hizo comparando con cada experto y, después, con el promedio de los dos (Cuadros 17 y 18). Con relación a los atributos de fitosanidad, solamente hubo un nivel mayor a 80% para orificios de emergencia; entre los evaluadores expertos, sólo hubo concordancia mayor a 80% para plagas (Cuadro 17).

Cuadro 17. Porcentaje de concordancia de los evaluadores Sin experiencia (Sin exp.) y Voluntario (Volunt.) comparado con evaluadores expertos para fitosanidad.

Fitosanidad	Concordancia con Experto 1		Concordancia con Experto 2		Concordancia Promedio		Concordancia entre expertos
	Sin exp.	Volunt.	Sin exp.	Volunt.	Sin exp.	Volunt.	
	Estado general	42%	17%	46%	48%	44%	
Heridas o canchros	48%	29%	40%	40%	44%	34%	46%
Orificios de emergencia	92%	33%	29%	33%	60%	33%	29%
Plagas	50%	31%	46%	35%	48%	33%	92%

En negritas se destacan los porcentajes mayores o iguales a 80%.

Para la evaluación de la incidencia de defectos, solamente hubo un nivel mayor a 80% para ramas colgadas, deformaciones, raíces cortadas y raíces estrangulantes; entre los evaluadores expertos, solo hubo concordancia mayor a 80% para raíces estrangulantes y plato levantado (Cuadro 18).

Cuadro 18. Porcentaje de concordancia de los evaluadores Sin experiencia (Sin exp.) y Voluntario (Volunt.) comparado con evaluadores expertos para defectos en raíces y parte aérea.

Defectos	Concordancia con Experto 1		Concordancia con Experto 2		Concordancia Promedio		Concordancia entre expertos
	Sin exp.	Volunt.	Sin exp.	Volunt.	Sin exp.	Volunt.	
	Fisura	73%	25%	69%	33%	71%	
Pudrición	58%	52%	63%	35%	60%	44%	71%
Cavidad	65%	60%	65%	69%	65%	65%	50%
Ramas secas	71%	69%	71%	77%	71%	73%	71%
Ramas colgadas	77%	81%	65%	77%	71%	79%	67%
Bifurcación	73%	58%	44%	46%	58%	52%	58%
Deformaciones	65%	52%	85%	73%	75%	63%	54%
Raíces cortadas	98%	88%	77%	71%	88%	79%	79%
Raíces estrangulantes	88%	67%	79%	75%	83%	71%	83%
Plato levantado	77%	65%	77%	65%	77%	65%	100%

En negritas se destacan los porcentajes mayores o iguales a 80%.

Bloniarz y Ryan (1996) encuentran un 90% y 92% de consistencias entre las evaluaciones de los voluntarios y evaluadores certificados para la evaluación de uniones débiles y cavidades, respectivamente. Por su parte, Cozad et al. (2005) señalan una baja consistencia (69%) en la determinación de la condición estructural de los individuos.

Con respecto a la concordancia entre los evaluadores expertos, Bloniarz y Ryan (1996) encuentran porcentajes entre 80 y 93% para características relacionadas a la condición estructural de los árboles, mayores que los encontrados en la presente tesis, tanto para evaluación de la fitosanidad como para incidencia de defectos. Las bajas concordancias encontradas entre los participantes del grupo con mayor nivel de experiencia y conocimiento pueden indicar que los descriptores de las categorías de severidad y las definiciones de los defectos requieren de una mejor enunciación (Galloway et al., 2006). La calidad de la recolección de los datos, independientemente del grado de experiencia de los evaluadores, puede ser mejorada con ajustes en el formulario y/o con el desarrollo de una guía de campo donde se incluyan ejemplos prácticos y se realicen entrenamientos (Gollan et al., 2012).

En general, se detectó que los evaluadores del grupo Voluntario —sin conocimiento y sin experiencia— aun utilizando el formulario guía tendieron a sobrevalorar los indicadores; sin embargo, los evaluadores Sin Experiencia, pero con conocimiento, utilizando el mismo formulario, tendieron a tener resultados similares a los evaluadores del grupo Experto —con conocimiento y con experiencia—. Lo anterior puede indicar que la realización de una capacitación previa en evaluación de árboles, identificación de defectos y de situaciones peligrosas permitiría la inclusión efectiva y eficiente de evaluadores con menos experiencia (Bloniarz y Ryan, 1996). De hecho, Bancks et al. (2018) observan un aumento en la consistencia de las evaluaciones de aquellos voluntarios que tienen un entrenamiento mejorado, reducido en texto y con más uso de fotografías, en comparación con los voluntarios que tienen un entrenamiento inicial sin estas mejoras. El desarrollo de recursos adicionales, como un manual (Cozad et al., 2005) y una aplicación para teléfonos, que incluya fotografías y ejemplos de defectos, así como del estado fitosanitario,

también aportarían a la mejora en la recolección de datos por parte de los voluntarios (Roman et al., 2017).

En consideración a lo señalado, se ajustó la propuesta, incluyendo un formulario electrónico de evaluación con fotografías (Anexo 6.4) y se realizó un entrenamiento más acabado —teórico y práctico—, para garantizar la calidad de los datos recolectados por los voluntarios. Asimismo, Cozad et al. (2005) señalan la necesidad de acompañar el trabajo de los voluntarios y favorecer su satisfacción en el desempeño de la tarea. Además, se debería realizar un monitoreo periódico de la consistencia de las evaluaciones a través de procesos de validación de la información (Gollan et al., 2012; Roman et al., 2017).

El método propuesto de nivel 1 (VR) podría favorecer el desarrollo de programas de voluntariado, donde la comunidad desarrollaría un rol relevante en el monitoreo del arbolado urbano (Bloniarz y Ryan, 1996), complementariamente a lo realizado por técnicos y profesionales de la municipalidad (Hauer et al., 2018), contribuyendo así en el proceso de gestión del riesgo, promoviendo de esta forma ciudades más verdes y seguras.

3.5. PROPUESTA DE UN PROTOCOLO DE EVALUACIÓN DEL RIESGO DE ÁRBOLES EN PARQUES URBANOS DE MONTEVIDEO

3.5.1 Identificación de defectos en nivel 1 y valoración de defectos en nivel 2

Los resultados de las evaluaciones se presentan en el Cuadro 19.

Para el nivel 1, no hubo diferencias significativas entre los tipos de evaluadores en la identificación de las siete categorías de defectos y en el conteo total de defectos por árbol (Cuadro 19). La concordancia promedio al interior de los grupos de evaluadores Junior y Senior fue de 77% y 78%, respectivamente (Cuadro 20).

Cuadro 19. Resumen de las evaluaciones de defectos en nivel 1 y nivel 2, fase 3.

	Efectos	Niveles	Media		Desv. Est.	Mínimo	Máximo	Mediana
Identificación de defectos en nivel 1	Arquitectura pobre	Junior	0,25	A	0,44	0,00	1,00	0,00
		Senior	0,15	A	0,37	0,00	1,00	0,00
	Cancro	Junior	0,35	A	0,49	0,00	1,00	0,00
		Senior	0,45	A	0,51	0,00	1,00	0,00
	Grietas	Junior	0,70	A	0,47	0,00	1,00	1,00
		Senior	0,45	A	0,51	0,00	1,00	0,00
	Madera muerta	Junior	0,50	A	0,51	0,00	1,00	0,50
		Senior	0,60	A	0,50	0,00	1,00	1,00
	Problemas radiculares	Junior	0,60	A	0,50	0,00	1,00	1,00
		Senior	0,65	A	0,49	0,00	1,00	1,00
Pudrición	Junior	0,90	A	0,31	0,00	1,00	1,00	
	Senior	0,75	A	0,44	0,00	1,00	1,00	
Unión débil de la rama	Junior	0,30	A	0,47	0,00	1,00	0,00	
	Senior	0,35	A	0,49	0,00	1,00	0,00	
Conteo de defectos	Junior	3,60	A	1,79	0,00	6,00	4,00	
	Senior	3,40	A	1,27	2,00	7,00	3,00	
Valoración de defectos en nivel 2	Arquitectura pobre	Junior	1,63	A	0,68	1,00	3,00	2,00
		Senior	1,75	A	0,72	1,00	3,00	2,00
	Cancro	Junior	1,74	A	0,73	1,00	3,00	2,00
		Senior	1,67	A	0,77	1,00	4,00	2,00
	Grietas	Junior	2,20	A	0,95	1,00	3,00	3,00
		Senior	1,70	A	0,92	1,00	3,00	1,00
	Madera muerta	Junior	2,35	A	0,81	1,00	4,00	2,00
		Senior	2,35	A	0,99	1,00	4,00	2,00
	Problemas radiculares	Junior	1,80	A	0,70	1,00	3,00	2,00
		Senior	1,70	A	0,73	1,00	3,00	2,00
Pudrición	Junior	2,60	A	0,60	2,00	4,00	3,00	
	Senior	2,45	A	0,51	2,00	3,00	2,00	
Unión débil de la rama	Junior	2,00	A	0,86	1,00	4,00	2,00	
	Senior	2,11	A	0,81	1,00	3,00	2,00	

Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$).

Cuadro 20. Concordancia entre evaluadores (%) en la identificación de cada categoría de defecto, por tipo de evaluador y por árbol.

Árbol	1		2		3		4	
Defecto	Junior	Senior	Junior	Senior	Junior	Senior	Junior	Senior
Pudrición	100	60	100	80	100	100	60	80
Grietas	80	80	80	60	80	80	60	80
Problemas radicales	60	60	60	60	80	80	60	60
Unión débil	60	60	100	80	80	60	60	100
Cancro	60	80	60	60	80	80	100	80
Arquitectura pobre	100	100	60	80	60	60	100	100
Madera muerta	80	100	100	100	80	60	60	100

Números en **negrita** destacan las concordancias mayores a 80%.

El resultado asociado a la concordancia podría significar que la capacitación fue capaz de nivelar el conocimiento entre los distintos tipos de evaluadores para la evaluación VR, ya que en ambos grupos se alcanzaron promedios de concordancia cercanos a la referencia de 80% señalada por Bloniarz y Ryan (1996).

En el nivel 2 tampoco hubo diferencias significativas entre los tipos de evaluadores, para la valoración de cada una de las siete categorías de defectos (Cuadro 19). La concordancia promedio al interior de los grupos de evaluadores Junior y Senior fue de 58% y 59%, respectivamente (Cuadro 21). Las concordancias promedio para cada defecto fue de 63% para pudrición, 63% para grietas, 60% para problemas radicales, 57% para unión débil, 76% para cancro, 61% para arquitectura pobre y 58% para madera muerta.

Cuadro 21. Concordancia entre evaluadores (clase y porcentaje) para las siete categorías de defectos, por tipo de evaluador y por árbol.

Árbol	Defecto	Junior		Senior	
		Clase	Porcentaje	Clase	Porcentaje
1	Pudrición	Moderado	60%	Moderado	80%
	Grietas	Bajo	60%	Bajo	80%
	Problemas radiculares	Moderado/Alto	40%/40%	Bajo/Moderado	40%/40%
	Unión débil	Moderado	80%	Moderado	75%
	Cancro	Moderado	100%	Moderado	100%
	Arquitectura pobre	Bajo	80%	Moderado	60%
	Madera muerta	Bajo	40%	Bajo	60%
2	Pudrición	Moderado	60%	Moderado	80%
	Grietas	Alto	80%	Bajo	60%
	Problemas radiculares	Moderado	80%	Moderado	60%
	Unión débil	Moderado/Alto	40%/40%	Alto	80%
	Cancro	Bajo/Alto	40%/40%	Bajo	60%
	Arquitectura pobre	Moderado	80%	Moderado	60%
	Madera muerta	Alto	80%	Alto/Extremo	40%/40%
3	Pudrición	Moderado/Alto	40%/40%	Moderado	60%
	Grietas	Alto	60%	Moderado/Alto	40%/40%
	Problemas radiculares	Moderado	60%	Bajo	60%
	Unión débil	Alto	40%	Moderado/Alto	40%/40%
	Cancro	Moderado	50%	Moderado	60%
	Arquitectura pobre	Moderado	50%	Bajo/Alto	40%/40%
	Madera muerta	Moderado	60%	Moderado	80%
4	Pudrición	Alto	60%	Alto	60%
	Grietas	Bajo/Alto	40%/40%	Bajo	80%
	Problemas radiculares	Bajo	80%	Bajo	60%
	Unión débil	Bajo	60%	Bajo/Moderado	40%/40%
	Cancro	Bajo	100%	Bajo	100%
	Arquitectura pobre	Bajo	60%	Bajo	60%
	Madera muerta	Moderado/Alto	40%/40%	Alto	60%

Números en **negrita** destacan las concordancias mayores a 80%. En azul son las concordancias de 100% en la misma clasificación del defecto. En rojo indican cuando la mayoría de los evaluadores junior y senior discordaron en la clasificación del defecto.

La menor concordancia encontrada al interior del nivel 2, comparativamente al nivel 1, puede ser explicada por la clasificación de los defectos que utiliza cuatro categorías. Si bien fue utilizado un cuadro con la descripción para cada una de estas categorías, podría ser necesario actualizar sus definiciones y mejorar su

entrenamiento, a fin de proporcionar una mejor comprensión y, por consiguiente, obtener un mayor nivel de concordancia de las evaluaciones.

Con respecto a la correlación entre las evaluaciones de nivel 1 y 2, los resultados indican que solo hubo correlación significativa para los defectos grietas, cancro, arquitectura pobre y madera muerta (Cuadro 22 y Figura 30). En todos estos casos, cuando el defecto fue identificado en nivel 1, tuvo una clasificación promedio mayor a 2 en el nivel 2 de evaluación.

Cuadro 22. Correlación de Spearman entre la identificación de defectos en nivel 1 y la valoración de defectos en nivel 2.

Categoría de defecto	n	Spearman	p-valor
Pudrición	40	-0,18	0,270
Grietas	40	0,70	<0,0001
Problemas radiculares	40	0,06	0,698
Unión débil de la rama	39	-0,03	0,849
Cancro	37	0,47	0,003
Arquitectura pobre	39	0,49	0,002
Madera muerta	40	0,78	<0,0001

Para la unión débil de ramas y problemas radiculares, los promedios fueron igual o menor a 2. A su vez, para pudrición el promedio fue mayor a 2, pero si bien no fue significativa la diferencia, proporcionalmente fue mayor cuando el defecto no fue identificado en nivel 1 (2,7) que cuando lo fue identificado (2,5). En este último caso se puede decir que los evaluadores dejaron de identificar pudriciones en la evaluación de nivel 1, por lo que sería requerido focalizar esta diferencia durante el entrenamiento y ejemplificar diferentes estados de pudrición en las diversas partes del árbol.

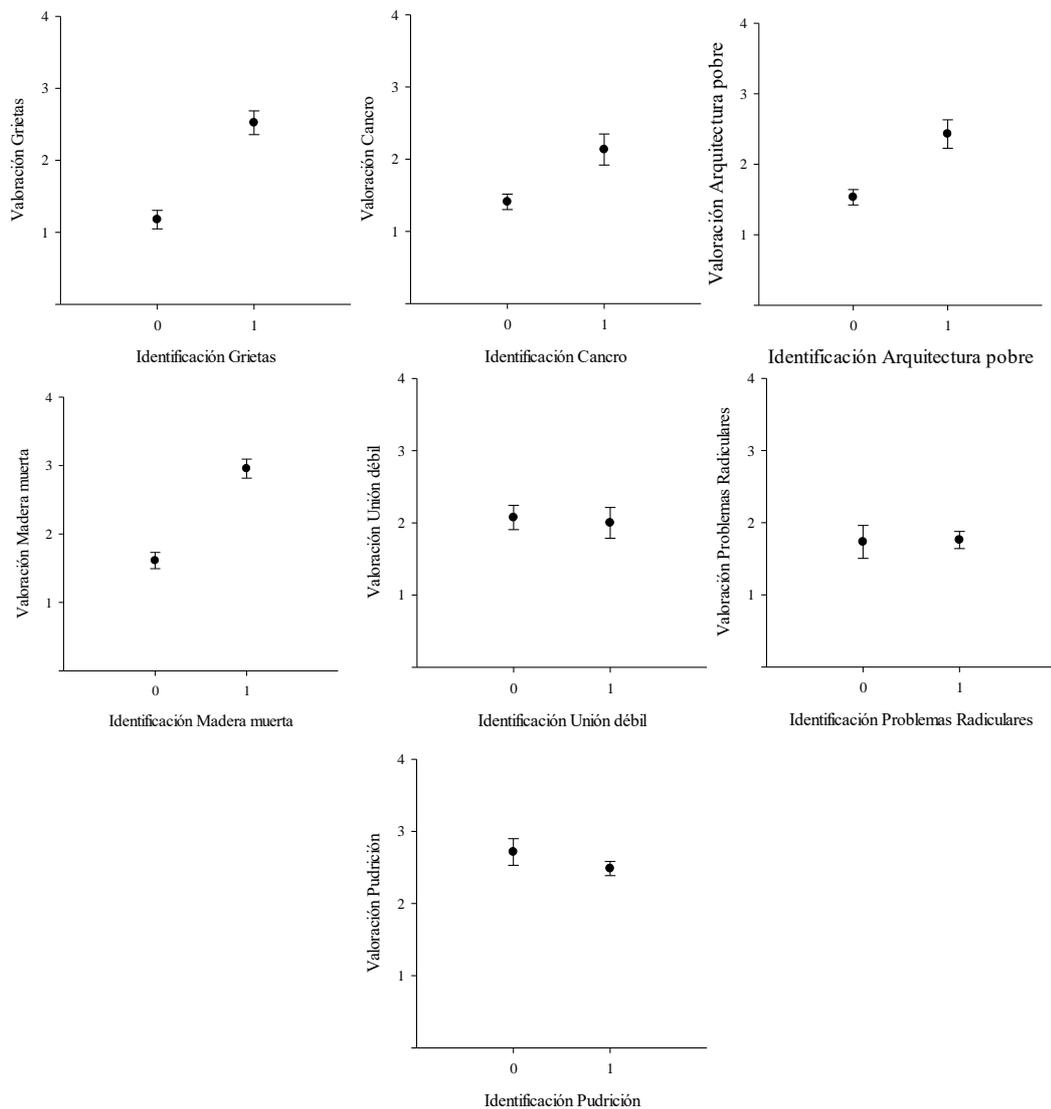


Figura 30. Diagramas de dispersión (media y error estándar) para las siete categorías de defectos. En el eje x, cero (0) indica cuando el defecto no fue identificado y uno (1) cuando lo fue en la evaluación de nivel 1. En el eje y están las cuatro clasificaciones de los defectos en la evaluación del nivel 2.

3.5.2. Identificación de blancos en nivel 1 y nivel 2

Los resultados de las evaluaciones se presentan en el Cuadro 23.

Cuadro 23. Resumen de las evaluaciones de los blancos en nivel 1 y probabilidad de impacto en nivel 2, fase 3.

	Efectos	Niveles	Media	Desv. Est.	Mínimo	Máximo	Mediana
Nivel 1	Personas/ ciclistas	Junior	1,00	A	0,00	1,00	1,00
		Senior	1,00	A	0,00	1,00	1,00
	Autos	Junior	0,55	A	0,51	0,00	1,00
		Senior	0,55	A	0,51	0,00	1,00
	Estructuras/ servicios	Junior	0,75	A	0,44	0,00	1,00
		Senior	0,70	A	0,47	0,00	1,00
Nivel 2	Probabilidad de Impacto	Junior	2,65	A	0,59	1,00	3,00
		Senior	2,75	A	0,72	2,00	4,00

Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$).

Para el nivel 1 no hubo diferencias significativas entre los tipos de evaluadores para la identificación de los blancos (Cuadro 23). El promedio de concordancia en la identificación de blancos para el grupo Junior fue de 89%, mientras que para el grupo Senior fue de 94% (Cuadro 24). En peatones y residencia, hubo concordancia del 100% entre los evaluadores para todos los árboles.

Cuadro 24. Concordancia entre evaluadores (%) en la identificación de los blancos, por tipo de evaluador y por árbol.

Árbol	1		2		3		4	
	Junior	Senior	Junior	Senior	Junior	Senior	Junior	Senior
Peatones / ciclistas	100							
Autos en movimiento	100	80	60	60	100	100	100	100
Estacionamiento diurno	60	100	60	80	100	100	80	100
Estacionamiento 24h	100	100	100	100	100	100	80	100
Residencia	100							
Servicios	80	100	80	80	60	60	80	60
Otros	80	100	100	100	80	100	100	100

Números en **negrita** destacan las concordancias mayores a 80%. En **azul** se destacan las variables con concordancia de 100% para todos los evaluadores y todos los árboles.

Se observó que la identificación de los blancos es la parte de la evaluación donde se obtiene mayor repetibilidad y reproducibilidad, independiente de la experiencia del evaluador, un aspecto destacable y deseable en la evaluación.

No hubo diferencias significativas entre tipos de evaluadores para la valoración de la probabilidad de impacto en el nivel 2 (Cuadro 23). Los promedios resultaron entre los rangos bajo y medio, esto es, clasificaciones 2 y 3, respectivamente. La concordancia promedio entre los evaluadores Junior y Senior, para todas las variables relacionadas a la probabilidad de impacto fue de 85% y 82%, respectivamente (Cuadro 25).

Cuadro 25. Concordancia entre evaluadores para las variables relacionadas con la probabilidad de impacto, por tipo de evaluador y por árbol.

Árbol	Variable	Junior		Senior	
1	Personas/ciclistas	100%		100%	
	Autos	80%		80%	
	Estructuras/servicios	100%		80%	
	Tasa de ocupación	Uso frecuente	80%	Uso frecuente	100%
	Protección	Totalmente expuesto	100%	Totalmente expuesto	80%
	Prob. Impacto	Medio - 3	80%	Medio - 3	80%
	2	Personas/ciclistas	100%		100%
Autos		60%		60%	
Estructuras/servicios		60%		60%	
Tasa de ocupación		Uso frecuente	80%	Uso ocasional	60%
Protección		Parcialmente protegido	60%	Totalmente expuesto	100%
Prob. Impacto		Medio - 3	80%	Bajo - 2	60%
3		Personas/ciclistas	100%		100%
	Autos	100%		100%	
	Estructuras/servicios	60%		80%	
	Tasa de ocupación	Uso ocasional	80%	Uso ocasional	60%
	Protección	Parcialmente protegido	80%	Totalmente expuesto	80%
	Prob. Impacto	Bajo - 2	60%	Bajo - 2	80%
	4	Personas/ciclistas	100%		100%
Autos		100%		100%	
Estructuras/servicios		100%		80%	
Tasa de ocupación		Uso frecuente	100%	Uso constante/estructura	60%
Protección		Totalmente expuesto	80%	Totalmente expuesto	100%
Prob. Impacto		Medio - 3	100%	Alto - 4	60%

Números en **negrita** destacan las concordancias mayores a 80%. En **azul** son las concordancias de 100% en la misma clasificación de la variable. En **rojo** indican cuando la mayoría de los evaluadores Junior y Senior discordaron en la clasificación de la variable.

Aunque la concordancia promedio fue mayor al valor de referencia de 80% señalado por Bloniarz y Ryan (1996), hubo inconsistencias entre los evaluadores Junior y Senior en los árboles 2 y 4, respecto a las clasificaciones de la tasa de ocupación y de la probabilidad de impacto (Cuadro 25). Este resultado indicaría que la experiencia del evaluador afecta la valoración de este componente, por lo que sería necesario dar mayor énfasis en el entrenamiento para reducirlas.

La tasa de ocupación y el tipo de blanco tienen un efecto significativo en la probabilidad de impacto, dado que este componente tiende a aumentar cuando los autos son incluidos como blancos y cuando aumenta la tasa de ocupación (Figura 31).

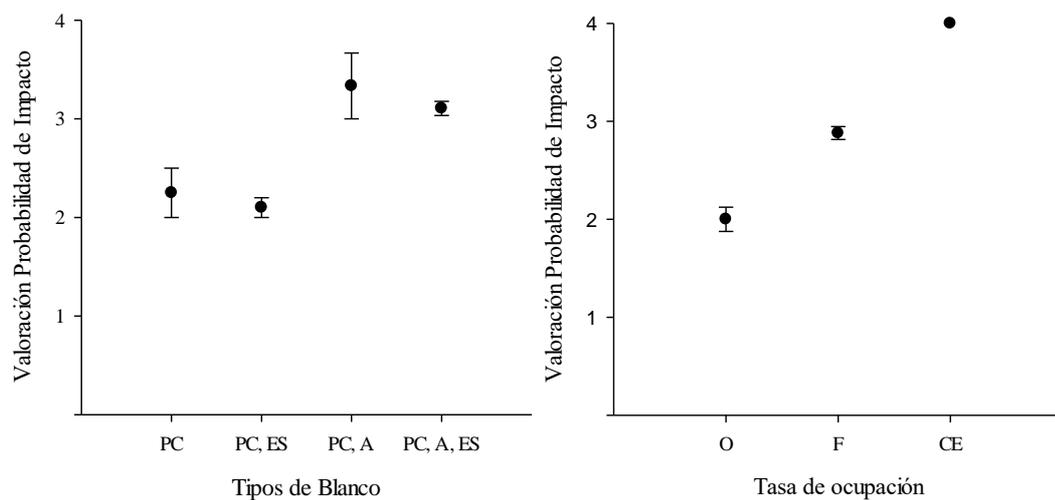


Figura 31. Diagramas de dispersión (media y error estándar) para las variables relacionadas a la probabilidad de impacto. PC: peatones/ciclistas; ES: estructuras/servicios; A: autos; O: ocasional; F: frecuente; CE: constante/estructura.

3.5.3. Recomendación de evaluación visual básica

No hubo diferencias significativas entre los tipos de evaluadores respecto a la recomendación de aplicar la evaluación VB (nivel 2), al momento de finalizar la evaluación VR. Entre los evaluadores Junior, hubo entre 80 a 100% de concordancia de realizarla, mientras que entre los evaluadores senior fue de 100% para todos los árboles.

3.5.4. Evaluación del riesgo en nivel 2

Los resultados de las evaluaciones se presentan en el Cuadro 26.

Cuadro 26. Resumen de las clasificaciones de riesgo en nivel 2, fase 3.

	Efectos	Niveles	Media		Desv. Est.	Mínimo	Máximo	Mediana
Suma del riesgo	Tipo de evaluador	Junior	8,25	A	1,89	3,00	11,00	9,00
		Senior	7,95	A	1,10	6,00	10,00	8,00
Índice de riesgo	Tipo de evaluador	Junior	1,80	A	0,77	1,00	3,00	2,00
		Senior	1,35	A	0,59	1,00	3,00	1,00

Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$).

No hubo diferencia significativa entre los tipos de evaluadores tanto para la suma del riesgo como para el respectivo índice de riesgo (Cuadro 26). Ambos obtuvieron un promedio de índice de riesgo bajo y la suma del riesgo varió en promedio entre 7 y 9.

Con relación a la concordancia para la suma del riesgo, se obtuvo porcentajes menores a 60% entre los evaluadores Junior y entre los evaluadores Senior (Cuadro 27). Se observó que para los árboles 3 y 4 hubo mayor porcentaje de concordancia, mientras que para los árboles 1 y 2 los evaluadores Junior valoraron el riesgo en una categoría superior comparado con los evaluadores Senior, tanto para la suma del riesgo como para el respectivo índice. Por otro lado, para este índice hubo concordancias mayores al valor de referencia de 80% en dos árboles en el grupo Senior (Cuadro 27). Solamente para el árbol 3 hubo un alto porcentaje de concordancia para los dos tipos de evaluadores y para la misma clasificación del riesgo.

Cuadro 27. Concordancia entre los evaluadores para la valoración de la suma del riesgo y su respectivo índice cualitativo, por tipo de evaluador y por árbol.

Árbol	Suma del riesgo				Índice cualitativo			
	Junior		Senior		Junior		Senior	
1	6	20%	6	20%	1	20%	1	80%
	9	20%	7	20%	2	20%	2	20%
	10	40%	8	40%	3	60%		
	11	20%	9	20%				
2	8	20%	8	60%	1	20%	1	60%
	9	60%	9	40%	2	60%	2	40%
	10	20%			3	20%		
3	3	20%	6	40%	1	80%	1	100%
	7	20%	7	20%	2	20%		
	8	40%	8	40%				
	9	20%						
4	5	20%	8	40%	1	40%	1	40%
	7	20%	9	40%	2	60%	2	40%
	9	60%	10	20%			3	20%

Números en **negrita** destacan las concordancias mayores a 80%. En **azul** indican cuando la mayoría de los evaluadores Junior y Senior concordaron en la clasificación del riesgo. En **rojo** indican cuando la mayoría de los evaluadores Junior y Senior discordaron en la clasificación de la variable.

De acuerdo con el protocolo propuesto, árboles evaluados con riesgo 10 a 12 en la evaluación VB (nivel 2) debería ser recomendada la evaluación adicional VD (nivel 3) o con equipamiento, pero ninguno de los árboles fue identificado de forma consistente entre los evaluadores Junior y Senior con estos niveles de riesgo. En este sentido, se observó que el 60% de los evaluadores Junior podrían haber recomendado una evaluación adicional para el árbol 1 y el 20% para el árbol 2, mientras que solamente para el árbol 4, el 20% de los evaluadores Senior podrían haber indicado un mayor nivel de evaluación (Cuadro 27). En la práctica, esta diferencia, aunque no significativa en términos estadísticos, en la utilización del protocolo podría generar mayores costos, principalmente en los casos que se recomendaría una evaluación adicional sin que exista la necesidad real de hacerlo.

Adicionalmente, la mayor amplitud en las clasificaciones de riesgo realizadas por los evaluadores Junior (del 3 al 11), comparado a los evaluadores senior (del 6 al 10), indicarían que la experiencia tuvo una influencia en esta valoración, mostrando la necesidad de enfatizarlo en el entrenamiento, así como la realización de un monitoreo de las evaluaciones.

3.5.5. Recomendación de evaluación de nivel 3

No hubo diferencias significativas entre los tipos de evaluadores respecto a la recomendación de evaluación visual detallada con o sin uso de equipamiento; para todos los árboles la mediana fue igual a cero, lo que significa que no sería necesaria una evaluación de nivel 3. El promedio de las concordancias al interior del grupo de evaluadores Junior y Senior fue de 88 y 83%, respectivamente, es decir, la mayoría de los evaluadores, independiente del nivel de experiencia, indicaron que no sería necesaria una evaluación VD o con equipamiento.

Cuadro 28. Concordancia entre los evaluadores (%) en la recomendación de evaluación de nivel 3, por tipo de evaluador y por árbol.

Árbol	Tipo de evaluación (nivel 3)	Junior	Senior
1	Visual detallada	100	100
	Adicional	60	60
2	Visual detallada	100	100
	Adicional	80	80
3	Visual detallada	100	100
	Adicional	100	80
4	Visual detallada	80	60
	Adicional	80	80

Números en **negrita** destacan las concordancias mayores a 80%. En azul se destacan las variables con concordancia de 100% entre los evaluadores Junior y Senior.

Aunque los evaluadores Junior registraron niveles de riesgo de 10 a 11 para los árboles 1 y 2 (Cuadro 27), la evaluación visual detallada sólo fue recomendada para el árbol 4, por ambos tipos de evaluadores, y la investigación adicional con equipamiento fue más veces recomendada para el árbol 1 (Cuadro 28). Esto indicaría

que en algunas evaluaciones el protocolo no fue seguido por los evaluadores Junior, por lo que se requiere hacer hincapié de ello durante el entrenamiento.

3.5.6. Riesgo de cada parte del árbol y riesgo general en nivel 3

Los resultados de las evaluaciones se presentan en el Cuadro 29.

Cuadro 29. Resumen de las clasificaciones de riesgo en nivel 3, fase 3.

	Efectos	Niveles	Media		Desv. Est.	Mínimo	Máximo	Mediana
Ramas secundarias	Tipo de evaluador	Junior	1,92	a	0,90	1,00	3,00	2,00
		Senior	1,75	a	0,87	1,00	3,00	1,50
Ramas estructurales	Tipo de evaluador	Junior	1,17	a*	0,39	1,00	2,00	1,00
		Senior	1,83	a*	0,94	1,00	3,00	1,50
Tronco	Tipo de evaluador	Junior	1,17	a	0,39	1,00	2,00	1,00
		Senior	1,08	a	0,29	1,00	2,00	1,00
Cuello	Tipo de evaluador	Junior	1,25	a	0,62	1,00	3,00	1,00
		Senior	1,42	a	0,79	1,00	3,00	1,00
Raíz	Tipo de evaluador	Junior	1,08	a*	0,29	1,00	2,00	1,00
		Senior	1,58	a*	0,79	1,00	3,00	1,00
Riesgo general	Tipo de evaluador	Junior	1,92	a	0,67	1,00	3,00	2,00
		Senior	2,08	a	0,79	1,00	3,00	2,00

Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (LSD, $P < 0,01$) y el * representa diferencia significativa con una prueba de LSD Fisher ($P < 0,05$).

El grupo Senior tendió a identificar mayor riesgo en ramas estructurales y raíces que el grupo Junior, a un nivel de significancia $\alpha = 0,05$; para $\alpha = 0,01$, no hubo diferencias significativas entre los tipos de evaluadores, tanto para la evaluación del riesgo de cada parte como general (Cuadro 29). Los promedios de las concordancias entre los evaluadores Junior y entre los evaluadores Senior fue de 82% y 81%, respectivamente (Cuadro 30).

Cuadro 30. Concordancia entre los evaluadores para la valoración del riesgo por partes y general, por tipo de evaluador y por árbol.

Árbol	Parte	Junior	Senior
1	Ramas secundarias	Bajo	100%
	Ramas estructurales	Bajo	67%
	Tronco	Bajo	67%
	Cuello	Bajo	67%
	Raíz	Bajo	100%
	General	Moderado	67%
2	Ramas secundarias	Alto	100%
	Ramas estructurales	Bajo	67%
	Tronco	Bajo	100%
	Cuello	Bajo	100%
	Raíz	Bajo	100%
	General	Moderado	67%
3	Ramas secundarias	Bajo	67%
	Ramas estructurales	Bajo	100%
	Tronco	Bajo	67%
	Cuello	Bajo	100%
	Raíz	Bajo	100%
	General	Bajo	67%
4	Ramas secundarias	Moderado	67%
	Ramas estructurales	Bajo	100%
	Tronco	Bajo	100%
	Cuello	Bajo	67%
	Raíz	Bajo	67%
	General	Moderado	67%

Números en **negrita** destacan las concordancias mayores a 80%. En azul indican cuando la mayoría de los evaluadores junior y senior concordaron 100% en la clasificación del riesgo. En rojo indican cuando la mayoría de los evaluadores Junior y Senior discordaron en la clasificación del riesgo.

En la evaluación del árbol 1, la mayoría del grupo Junior valoraron como “bajo” cada una de las partes del árbol, lo que debería resultar en un riesgo general igualmente “bajo”; sin embargo, la evaluación general fue “moderado”. Lo mismo ocurrió para el árbol 3, pero con los evaluadores Senior. El riesgo “alto” valorado por los evaluadores Junior para las ramas secundarias del árbol 2 debería ser interpretado con atención, ya que la consecuencia de la falla e impacto de una rama secundaria,

por su tamaño y generalmente con masa reducida por degradación, suele ser “insignificante” o “menor” (Coelho-Duarte et al., 2021). Además, se observó para este árbol, que los mismos evaluadores valoraron el riesgo general como “moderado” y no como “alto”, que sería lo esperable si hubieran sido consistentes considerando el riesgo más alto entre todas las partes evaluadas.

Con respecto al árbol 4, se observó que los evaluadores Junior y Senior discordaron en casi todas las valoraciones, exceptuando la del tronco, aunque separadamente las concordancias fueron mayores a 67% para los dos tipos de evaluadores. Analizando el riesgo general, el 100% de los evaluadores Senior registraron un riesgo alto para este árbol, lo que podría, por ejemplo, resultar en su extracción. Los defectos encontrados por evaluadores con mayor experiencia no habrían sido percibidos de la misma forma por los evaluadores Junior. Lo anterior refuerza la recomendación de aplicación de este nivel de evaluación por evaluadores con experiencia o ser desempeñado por Junior con asistencia de un Senior, hasta alcanzar un nivel aceptable de experiencia.

Los resultados promedios para el flujograma de cada árbol, obtenidos a partir de las concordancias para cada punto clave del protocolo, por grupo de evaluador, se observan en el Cuadro 31.

Cuadro 31. Consistencia en la aplicación del protocolo por grupo de evaluador — Junior (J) y Senior (S)— y por árbol.

Indicadores del Protocolo	Árbol 1		Árbol 2		Árbol 3		Árbol 4	
	J	S	J	S	J	S	J	S
¿Fueron detectados defectos en VR?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Fue recomendada evaluación VB?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Índice cualitativo del riesgo VB	3	1	2	1	1	1	2	2
¿Fue recomendada evaluación VD?	No	No	No	No	No	No	No	No
Índice cualitativo del riesgo general VD	2	1	2	2	1	2	2	3

Elaborado en base a los cuadros 20, 27, 28 y 30. Las expresiones “Sí”, “No”, “1”, “2” y “3” corresponde a lo señalado por la mayoría de los evaluadores.

Para los árboles 2 y 3, el flujo del protocolo se siguió correctamente, ya que la evaluación VR identificó defectos que, al llevarse a cabo las evaluaciones VB y VD, resultaron en un riesgo bajo a moderado. Respecto al árbol 1, el seguimiento correcto del flujo solo fue realizado por los evaluadores Senior, ya que algunos Junior que lo valoraron con índice 3 en la evaluación VB, no recomendaron la evaluación VD, debiendo haberla recomendado; así, la evaluación VD realizada por el grupo Junior mostró que, en vez de ratificar el nivel del riesgo, lo redujo al índice 2 (moderado). Por su parte, para el árbol 4 el flujo fue seguido correctamente por los dos grupos de evaluadores, pero el Senior llegó a un resultado diferente que los evaluadores Junior en VD, señalando mayor nivel de riesgo para este árbol.

En consecuencia, cuando los evaluadores siguen el flujo correctamente de un protocolo de evaluación del riesgo, significa que la metodología es capaz de discriminar los árboles por su nivel de riesgo, posibilitando el direccionamiento de los recursos humanos, técnicos y financieros para el manejo de los árboles prioritarios (VALID, 2021).

El protocolo es una herramienta que es parte de un sistema de gestión del riesgo (ISO, 2018) que debe seguir recomendaciones expresas (Hopkin, 2018): ser registrado en una guía e informado a todas las partes involucradas, como son los gestores municipales y de empresas contratistas; ser revisado periódicamente, para mantenerlo actualizado ante cualquier cambio de normativa o de aportes provenientes de nuevas investigaciones; y los registros de su utilización deben ser guardados y monitoreados.

4. CONCLUSIONES

Respecto de la fase 1:

No se encontraron diferencias significativas entre los evaluadores Expertos al analizar las valoraciones de la probabilidad de falla en los tres niveles de evaluación del riesgo; a su vez, en la evaluación de nivel 3 se encontró un promedio menor en esta valoración, con una tendencia a reducir las diferencias entre ellos.

Se encontró una correlación entre las evaluaciones visuales básicas y el análisis de los tomogramas y resistogramas, especialmente en los árboles que tenían alguna evidencia de problemas estructurales en el tronco.

Dado el bajo porcentaje de árboles donde fue necesario una evaluación con equipamientos no destructivos, se recomienda que la evaluación visual detallada debe ser incluida en el protocolo, a fin de detectar aquellos casos en que realmente sea necesaria esta evaluación.

En las evaluaciones de nivel 1, los Voluntarios tendieron a subvalorar la probabilidad de impacto, la consecuencia y la clasificación del riesgo en comparación a los Expertos y Sin experiencia; para la probabilidad de falla tuvieron un promedio similar a los Sin experiencia.

Hubo diferencias significativas entre los seis métodos de evaluación visual de nivel 2, para todos los componentes. Los atributos asociados con la probabilidad de impacto y la consecuencia fueron evaluados de manera similar por los grupos Experto y Sin experiencia; mientras que la probabilidad de falla y la clasificación de riesgo fueron sobrevaloradas por el Experto. No se encontraron diferencias significativas entre los géneros estudiados.

Hubo interacción entre tipo de evaluador y método para el componente consecuencia en los métodos USDA1, ISA M&C y QTRA, producto de los rangos del atributo tamaño de parte. Los métodos ISA BMP, QTRA y USDA1 obtuvieron similar comportamiento en la distribución de la clasificación del riesgo.

Respecto de la fase 2:

Los métodos de evaluación VB y VD propuestos resultaron efectivos y eficaces en las situaciones aplicadas. La probabilidad de falla fue el único componente que presentó diferencias significativas entre los dos métodos, siendo la

valoración de las ramas secundarias el atributo con mayor efecto en el método VD. Al evaluar cada parte del árbol, no hubo interacción entre el tipo de evaluador y género para el componente probabilidad de falla del método VD.

Los tipos de análisis utilizados para la clasificación del riesgo final se comportaron de manera diferente en la distribución de sus índices, donde el análisis semicuantitativo mostró ser más adecuado para el método VB, mientras que el análisis cualitativo fue más adecuado para el VD.

En las evaluaciones de severidad de fitosanidad e incidencia de defectos en el método VR, los Voluntarios tendieron a sobrevalorarlas en comparación con los grupos Experto y Sin experiencia, no habiendo diferencias significativas entre estos. La concordancia de los evaluadores Sin experiencia y de los Voluntarios con los Expertos fue mayor en la identificación de defectos que en la evaluación fitosanitaria. Se recomienda que esta evaluación de nivel 1 sea aplicada en programas de voluntariado y forme parte del protocolo de evaluación del riesgo.

Respecto de la fase 3:

Los resultados indicaron una buena repetibilidad de la utilización del protocolo, ya que presentaron concordancias promedio del 80% en las metodologías VR y VD, del 60% en VB y sobre el 85% en la recomendación del uso de evaluaciones avanzadas.

Se recomienda investigar otros géneros de mayor incidencia en calles y avenidas, respecto a las fallas e interferencia con el mobiliario urbano, incluyendo características físico-mecánicas y uso de instrumentos de evaluación avanzada, que permitan correlacionar estas metodologías con las evaluaciones visuales.

La metodología propuesta fue capaz de discriminar los árboles por su nivel de riesgo y es viable para ser utilizada en parques urbanos de Montevideo. Se recomienda separar los evaluadores por su experiencia y que el trabajo de los evaluadores voluntarios o con menor nivel de experiencia sea monitoreado por evaluadores experimentados. Por lo anterior, se sugiere entrenamientos continuos y uso de guías actualizadas.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Albers J, Hayes E. 1993. How to detect, assess and correct hazard trees in recreational areas. USDA Forest Service, Northeast area [En línea]. 31 marzo 2020. <https://www.leg.state.mn.us/docs/pre2003/other/930366.pdf>.
- American National Standards Institute. 2011. ANSI A300 (Part 9)—Tree Risk Assessment a. Tree Failure. Manchester: Tree Care Industry Association. 16 p.
- Arcos A. 2017. Informe sobre arbolado central, 21 de marzo de 2017. Servicio de Áreas Verdes, Intendencia de Montevideo. 4 p. [Datos sin publicar].
- Ball, J. 1986. Urban forestry and volunteer management. *Journal of Arboriculture*, 12(7): 182-184.
- Bancks N, North E, Johnson G. 2018. An analysis of agreement between volunteer- and researcher-collected urban tree inventory data. *Arboriculture & Urban Forestry*, 44(2): 73-86.
- Bettoni A, Cruz A. 2001. Voluntariado en Uruguay: Perfiles, impacto y desafíos. En: III Encuentro de la Red Latinoamericana y del Caribe de la Sociedad Internacional de Investigación del Tercer Sector (3º, 2001, Buenos Aires) [En línea]. 15 febrero 2021. <http://www.lasociedadcivil.org/wp-content/uploads/2014/11/bettonicruz.pdf>.
- Blodgett JT, Burns KS, Worrall, JJ. 2017. Guide to hazard tree management. Technical Report R2-69. Lakewood: USDA Forest Service, Rocky Mountain Region. 32 p.
- Bloniarz DV, Ryan HD. 1996. The use of volunteer initiatives in conducting urban forest resource inventories. *Journal of Arboriculture*, 22(2): 75-82.

- Bobrowski R, Marques E, Biondi D. 2013. Changes in the typical architecture of *Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze on street trees of Curitiba, Paraná. *Ciência Florestal*, 23(3): 281-289.
- Boland D, Brooker M, Chippendale G, Hall N, Hyland B, Johnston R, Kleinig D, McDonald M, Turner J. 2006. *Forest Trees of Australia*. Collingwood: CSIRO Publishing. 736p. <https://doi.org/10.1071/9780643069701>.
- Brazolin S, Tomazello M, Yojo T, Albino M, Chagas M, Moutinho VH. 2011. Wood evaluation of deteriorated wood of tipuana trees (*Tipuana tipu*) in urban areas: Macroscopic analysis and specific gravity. *Scientia Forestalis*, 39(91): 291-299.
- Brazolin S, Tomazello M, Amaral R, Oliveira MA. 2010. Associação entre fungos apodrecedores e cupins subterrâneos no processo de biodeterioração do lenho de árvores de *Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze da cidade de São Paulo, SP. *Scientia Forestalis*, 38(86): 215-224.
- Brazolin S. 2009. Doutorado em Recursos Florestais. Biodeterioração, anatomia do lenho e análise de risco de queda de árvores de tipuana, *Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze, nos passeios públicos da cidade de São Paulo, SP. São Paulo, Brasil. Universidade de São Paulo. 265 p. <https://doi.org/10.11606/T.11.2009.tde-20042010-092326>.
- Brussa C. 1994. *Eucalyptus: Especies de cultivo más frecuente en Uruguay y regiones de clima templado*. Montevideo: Hemisferio Sur. 328 p.
- Calaza P, Iglesias I. 2016. *El riesgo del arbolado urbano. Contexto, concepto y evolución*. Madrid: Mundi-Prensa. 526 p.

- Calaza P. 2015. Summer branch drop (SBD). Concepto y características. PARJAP: Boletín de la Asociación Española de Parques y Jardines, 79: 44-45.
- Carrier G, Peniza N. 2010. Guía arquitectónica y urbanística de Montevideo. Montevideo: Intendencia de Montevideo. 467 p.
- Coelho-Duarte AP, Daniluk-Mosquera G, Gravina V, Vallejos-Barra O, Ponce-Donoso M. 2021. Tree Risk Assessment: Component analysis of six visual methods applied in an urban park, Montevideo, Uruguay. *Urban Forestry & Urban Greening*, 59(2021): 127005. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127005>.
- Conceição I, Samolão R, Santana A. 2018. Proposal for a system of trees fall potential risk assessment in urban parks. *Revista Árvore*, 41(4): e410408. <https://doi.org/10.1590/1806-90882017000400008>.
- Cox LA. 2009. *Risk Analysis of Complex and Uncertain Systems*. Boston: Springer US. 456 p. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-89014-2>.
- Cozad S, Mcpherson EG, Harding JA. 2005. STRATUM Case study evaluation in Minneapolis, Minnesota. University of California [En línea]. 10 febrero 2021. http://unri.org/ECO%20697U%20S14/minneapolis_case_study.pdf.
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, CW Robledo. 2020. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina [En línea]. 23 marzo 2020. <http://www.infostat.com.ar>.
- Duarte AP, Baietto A, Daniluk G, Moras G, Hirigoyen A, Rodríguez M. 2018. Participatory inventory of urban forest: Case study on community involvement

- by the volunteer Program “Voluntárboles”. En: World Forum on Urban Forests (1º, 2018, Mantova). Book of Abstracts. Mantova. FAO. 19-19.
<https://www.wfuf2018.com/en-ww/book-of-abstracts.aspx>.
- Dunster JA, Smiley ET, Matheny N, Lilly S. 2017. Tree Risk Assessment Manual. Champaign: International Society of Arboriculture. 194 p.
- Dunster JA. 1996. Hazard tree assessments: developing a species profile for western hemlock. *Journal of Arboriculture*. 22(1): 51-57.
- Duntemann M, Stuart N. 2016. An Assessment of Ordinal Tree Risk Rating Systems. Natural Path Urban Forestry Consultants [En línea]. 17 febrero 2021.
http://naturalpathforestry.com/wp-content/uploads/2016/11/OrdinalTreeRiskRatingSystems_English.pdf.
- Duryea ML, Kampf E, Littell RC, Rodríguez-Pedraza CD. 2007. Hurricanes and the Urban Forest: II. Effects on Tropical and Subtropical Tree Species. *Arboriculture & Urban Forestry*, 33(2): 98-112.
- Duryea ML, Blakeslee GM, Hubbard WG, Vasquez RA. 1996. Wind and trees: A survey of homeowners after hurricane Andrew. *Journal of Arboriculture*, 22(1): 44-50.
- Economist Intelligence Unit. 2010. Índice de ciudades verdes de América Latina: Una evaluación comparativa del impacto ecológico de las principales ciudades de América Latina [En línea]. 22 enero 2021.
http://plataforma.responsable.net/sites/default/files/indice_de_ciudades_verdes_de_america_latina.pdf.

- El Observador. 2017. Tormenta dejó árboles caídos y calles cortadas en Montevideo [En línea]. 15 febrero 2021. <https://www.elobservador.com.uy/nota/tormenta-dejo-arboles-caidos-y-calles-cortadas-en-montevideo-2017399320>.
- Ellison M. 2020. Nota de procedimiento Quantified Tree Risk Assessment (V5.2.5(ES)2020-01). Quantified Tree Risk Assessment Limited [En línea]. 7 abril 2020. <https://www.qtra.co.uk/cms/index.php?action=download&id=312&module=downloadmodule&src=%40random52a559f0954e2>.
- Ellison M. 2018. Quantified Tree Risk Assessment: Nota de procedimiento V5.2.3(ES)2018-01. Quantified Tree Risk Assessment Limited. 9 p.
- Ellison M. 2007. Moving the focus from tree defects to rational risk management—A paradigm shift for tree managers. *Arboricultural Journal*, 30: 137-142.
- Ellison M. 2005. Quantified tree risk assessment used in the management of amenity trees. *Journal of Arboriculture*, 31(2): 57-65.
- Facultad de Arquitectura. 2008. Parques públicos urbanos, planificación y gestión. Montevideo: Universidad de la República, Facultad de Arquitectura. 135 p.
- Forbes-Laird J. 2010. THREATS: Tree hazard: Risk evaluation and treatment system. Bedford: Forbes-Laird Arboricultural Consultancy. 16 p. <http://www.flac.uk.com/wp-content/uploads/2010/07/THREATS-GN-June-2010.pdf>.
- Francis JK. 2000. Comparison of hurricane damage to several species of urban trees in San Juan, Puerto Rico. *Journal of Arboriculture*, 26(4): 189-197.

- Galloway A, Tudor M, Haegen W. 2006. The Reliability of Citizen Science: A Case Study of Oregon White Oak Stand Surveys. *Wildlife Society Bulletin*, 34(5): 1425-1429. [https://doi.org/10.2193/0091-7648\(2006\)34\[1425:TROCSA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0091-7648(2006)34[1425:TROCSA]2.0.CO;2).
- Gollan J, de Bruyn LL, Reid N, Wilkie L. 2012. Can Volunteers Collect Data that are Comparable to Professional Scientists? A Study of Variables Used in Monitoring the Outcomes of Ecosystem Rehabilitation. *Environmental Management*, 50: 969-978. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9924-4>.
- Gonnet M. 2013. Monografía final para licenciatura en Trabajo Social. Voluntariado en el Uruguay. Aportes para la problematización de las políticas sociales actuales. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. 82 p. https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/7204/1/TTS_GonnetM%C3%B3nico.pdf.
- Greening, landscape and tree management section. 2020. Guidelines for tree risk assessment and management arrangement 9th edition (Rev. 2). Development Bureau, Hong Kong [En línea]. 15 febrero 2021. [https://www.greening.gov.hk/filemanager/content/pdf/tree_care/9th_Edition_of_TRAM_Guideline_rev_2\(1.11.2020\).pdf](https://www.greening.gov.hk/filemanager/content/pdf/tree_care/9th_Edition_of_TRAM_Guideline_rev_2(1.11.2020).pdf).
- Guo L, Chen J, Cui X, Fan B, Lin H. 2013. Application of ground penetrating radar for coarse root detection and quantification: A review. *Plant Soil*, 362: 1-23. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1455-5>.
- Guyon J, Cleaver C, Jackson M, Saavedra A, Zambino P. 2017. A Guide to Identifying, Assessing, and Managing Hazard Trees in Developed Recreational

Sites of the Northern Rocky Mountains and the Intermountain West. USDA Forest Service, Northern and Intermountain Regions [En línea]. 09 febrero 2021.

https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/fseprd571021.pdf.

Haase D, Larondelle N, Andersson E, Artmann M, Borgström S, Breuste J, Gomez-Baggethun E, Gren Å, Hamstead Z, Hansen R, Kabisch N, Kremer P, Langemeyer J, Rall EL, McPhearson T, Pauleit S, Qureshi S, Schwarz N, Voigt A, Wurster D, Elmqvist T. 2014. A quantitative review of urban ecosystem service assessments: Concepts, models, and implementation. *AMBIO*, 43: 413-433. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0504-0>.

Hamstead ZA, Kremer P, Larondelle N, McPhearson T, Haase D. 2016. Classification of the heterogeneous structure of urban landscapes (STURLA) as an indicator of landscape function applied to surface temperature in New York City. *Ecological Indicators*, 70: 574-585. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.014>.

Harris R. 1983. Summer branch drop. *Journal of Arboriculture*, 9(4): 111-113.

Hauer RJ, Timilsina N, Vogt J, Fischer BC, Wirtz Z, Peterson W. 2018. A Volunteer and Partnership Baseline for Municipal Forestry Activity in the United States. *Arboriculture & Urban Forestry*, 44(2): 87-100.

Hernández HJ. 2008. La situación del arbolado urbano en Santiago. *Revista de Urbanismo*, 18: 1-8. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2010.272>.

Hopkin P. 2018. *Fundamentals of risk management: Understanding, evaluating and implementing effective risk management*. New York: Kogan Page. 480 p.

- Instituto Nacional de Estadística. 2011. Censos 2011 [En línea]. 25 enero 2021.
<http://www.ine.gub.uy/censos-2011>.
- Instituto Uruguayo de Meteorología. 2020. Estadísticas climatológicas [En línea]. 31 agosto 2020. <https://www.inumet.gub.uy/index.php/clima/estadisticas-climatologicas>.
- Intendencia de Montevideo. 2013. Instructivo para el relevamiento de información censal en alineaciones de árboles y arbustos en aceras de la ciudad de Montevideo. Servicio de Áreas Verdes. 6 p. [Datos sin publicar].
- Intendencia de Montevideo. 2010. Resolución N° 5849/10. Digesto Departamental. Volumen I Normas que refieren a los Gobiernos Departamentales. Título IV Normas de Aplicación a los Gobiernos Departamentales. Capítulo XXXVII Descentralización Política y Participación Ciudadana. Sección XVIII Descentralización del mantenimiento de las Áreas Verdes del Servicio de Áreas Verdes a los Gobiernos Municipales. [En línea]. Consultado 22 enero 2021. Disponible en: <https://normativa.montevideo.gub.uy/armado/86399>.
- Intendencia de Montevideo. 2005. Instructivo para el relevamiento de información censal en alineaciones de árboles y arbustos en aceras de la ciudad de Montevideo. Servicio de Áreas Verdes. 17 p. [Datos sin publicar].
- ISO. 2018. ISO 31000:2018 Gestión del Riesgo—Directrices. Suiza: ISO. 26 p.
- Ivasko S, Biondi D, Ximenes E, Nunho A, Heck B. 2019. Risk assessment of trees protected by law in Curitiba squares, Paraná, Brazil. *Bosque*, 40(3): 347-354.
<https://doi.org/10.4067/S0717-92002019000300347>.

- Jim CY, Liu HHT. 1997. Storm damage on urban trees in Guangzhou, China. *Landscape and Urban Planning*, 38: 45-59.
- Johnson DW. 1981. Tree Hazards Recognition and Reduction in Recreation Sites. Tech. Rep. R2-1. Denver: United States Department of Agriculture, Forest Service. 24 p.
- Klein RW, Koeser AK, Hauer RJ, Hansen G, Escobedo FJ. 2016. Relationship between perceived and actual occupancy rates in urban settings. *Urban Forestry & Urban Greening*, 19: 194-201. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.06.030>.
- Koeser AK, Hauer RJ, Klein RW, Miesbauer JW. 2017. Assessment of likelihood of failure using limited visual, basic, and advanced assessment techniques. *Urban Forestry & Urban Greening*, 24: 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.03.024>.
- Koeser AK, Smiley ET. 2017. Impact of assessor on tree risk assessment ratings and prescribed mitigation measures. *Urban Forestry & Urban Greening*, 24: 109-115. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.03.027>.
- Koeser AK, Hasing G, McLean D, Northrop R. 2016. Tree Risk Assessment Methods: A Comparison of Three Common Evaluation Forms [En línea]. 8 febrero 2021. <https://edis.ifas.ufl.edu/ep487>.
- Koeser AK, Klein RW, Hasing G, Northrop RJ. 2015. Factors driving professional and public urban tree risk perception. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(4): 968-974. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.09.004>.

- Koop AL, Fowler L, Newton LP, Caton BP. 2012. Development and validation of a weed screening tool for the United States. *Biological Invasions*, 14: 273-294. <https://doi.org/10.1007/s10530-011-0061-4>.
- Lombardo A. 1979. Los árboles cultivados en los paseos públicos. Montevideo: Intendencia de Montevideo. 282 p.
- Lorenzi H. 2003. *Árvores Brasileiras Vol. 2*. Nova Odessa: Plantarum. 367 p.
- Matheny NP, Clark JR. 1994. A photographic guide to the evaluation of hazard trees in urban areas. Champaign: International Society of Arboriculture. 85 p.
- Mattheck C, Bethge K, Weber K. 2015. The body language of trees: Encyclopedia of visual tree assessment. Kronau: KS Druck GmbH. 548 p.
- Mattheck C. 2007. Updated Field Guide for Visual Tree Assessment. Karlsruhe: Karlsruhe Research Center. 170 p.
- Montevideo Portal. 2014. La IM condenada por muerte de mujer a la que le cayó un árbol. Montevideo Portal [En línea]. 15 febrero 2021. <https://www.montevideo.com.uy/Noticias/La-IM-condenada-por-muerte-de-mujer-a-la-que-le-cayo-un-arbol-uc253498>.
- Morcillo San Juan, A. 2017. Pliego de prescripciones técnicas particulares del contrato del servicio de actuaciones no programadas de ejecución inmediata y de control del riesgo en materia de arbolado. Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad, Madrid [En línea]. 23 marzo 2020. [https://sede.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/PerfilContratante/PC_Areas/PC_MAmbienteMov/2017/D.G.%20Gesti%C3%B3n%20de%20Agua%20y%](https://sede.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/PerfilContratante/PC_Areas/PC_MAmbienteMov/2017/D.G.%20Gesti%C3%B3n%20de%20Agua%20y%20)

20Zonas%20Verdes/ficheros/PPT%20SER+VERDE%202017_12_05_con%20fichas.pdf.

National Tree Safety Group. 2011. Common sense risk management of trees: Guidance on trees and public safety in the UK for owners, managers and advisers. Forestry Commission. Edinburgh: Forestry Commission. 104 p.

Nicolotti G, Socco LV, Martinis R, Godio A, Sambuelli L. 2003. Application and comparison of three tomographic techniques for detection of decay in trees. *Journal of Arboriculture*, 29(2): 66-78.

Norris M. 2010. Master of Horticulture. A review of methods used to undertake risk assessments of urban trees. Melbourne, Australia. University of Melbourne. 400 p.

Nowak DJ, Crane DE, Stevens JC. 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4: 115-123. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007>.

Paine LA. 1971. Accident hazard evaluation and control decisions on forested recreation sites. California: United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest. 18 p.

Papastavrou V, Leaper R, Prytherh R. 2010. Determining pedestrian usage and parked vehicle monetary values for input into quantified tree risk assessments—Two case studies from urban parks in great britain. *Arboricultural Journal*, 33: 43-60. <https://doi.org/10.1080/03071375.2010.9747591>.

- Pokorny JD. 2003. Urban Tree Risk Management: A Community Guide to Program Design and Implementation. USDA Forest Service, Northeastern Area, State and Private Forestry [En línea]. 30 marzo 2020. <https://www.fs.usda.gov/naspf/publications/urban-tree-risk-management-community-guide-program-design-and-implementation>.
- Ponce-Donoso M, Vallejos-Barra O, Ingram B, Daniluk-Mosquera G. 2020. Urban Trees and Environmental Variables: Relationships in a City of Central Chile. *Arboriculture & Urban Forestry*, 46(2): 84-95.
- Ponce-Donoso M, Vallejos-Barra O, Daniluk-Mosquera G. 2012. Comparación de fórmulas chilenas e internacionales para valorar el arbolado urbano. *Bosque*, 33(1): 69-81. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002012000100008>.
- Reyes de la Barra J, Ponce-Donoso M, Vallejos-Barra O, Daniluk-Mosquera G, Coelho-Duarte AP. 2018. Comparación de cuatro métodos de evaluación visual del riesgo de árboles urbanos. *Colombia forestal*, 21(2): 161-173. <https://doi.org/10.14483/2256201X.12604>.
- Rinn F. 2012. ARBOTOM® User Manual. Heidelberg: Frank Rinn. 57 p.
- Rollo F. 2010. Mestrado em Recursos Florestais. Identificação de padrões de resposta à tomografia de impulso em tipuanas (*Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze. Piracicaba, Brasil. Universidade de São Paulo. 126 p. <https://doi.org/10.11606/D.11.2010.tde-16032010-142305>.
- Roman LA, Scharenbroch BC, Östberg JPA, Mueller LS, Henning JG, Koeser AK, Sanders JR, Betz DR, Jordan RC. 2017. Data quality in citizen science urban

- tree inventories. *Urban Forestry & Urban Greening*, 22: 124-135.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.02.001>.
- Rooney CJ, Ryan HD, Bloniarz DV, Kane BC. 2005. The reliability of a windshield survey to locate hazards in roadside trees. *Journal of Arboriculture*, 31(2): 89-94.
- Sampaio ACF, Duarte FG, Silva EGC, De Angelis BLD, Blum CT. 2010. Avaliação de árvores de risco na arborização de vias públicas de Nova Olímpia, Paraná. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 5(2): 82-104.
<https://doi.org/10.5380/revsbau.v5i2.66278>.
- Smiley ET, Matheny N, Lilly S. 2011. *Best Management Practices: Tree Risk Assessment*. Champaign: International Society of Arboriculture. 194 p.
- Sohrabi S, Downey PO, Gherekhloo J, Hassanpour-bourkheili S. 2020. Testing the Australian Post-Border Weed Risk Management (WRM) system for invasive plants in Iran. *Journal for Nature Conservation*, 53(2020): 125780.
<https://doi.org/10.1016/j.jnc.2019.125780>.
- Still DT, Gerhold HD. 1997. Motivations and task preferences of urban forestry volunteers. *Journal of Arboriculture*, 23(3): 116-130.
- Subrayado. 2021. Un árbol cayó encima del capó de un auto en el que viajaba una familia [En línea]. 15 febrero 2021. <https://www.subrayado.com.uy/un-arbol-cayo-encima-del-capo-un-auto-el-que-viajaba-una-familia-n706252>.
- Telenoche. 2020. Un ombú cayó sobre dos viviendas en Nuevo París [En línea]. 15 febrero 2021. <https://telenoche.com.uy/nacionales/un-ombu-cayo-sobre-dos-viviendas-en-nuevo-paris>.

- Terrani E. 2014. Ingeniero Agrónomo. Evaluación de la estructura y comportamiento del arbolado urbano en Montevideo. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. 135 p.
- Tomao A, Secondi L, Corona P, Giuliarelli D, Quatrini V, Agrimi M. 2015. Can composite indices explain multidimensionality of tree risk assessment? A case study in an historical monumental complex. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(3): 456-465. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.04.009>.
- Tortorelli LA. 2009. Maderas y bosques argentinos Vol. 1. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora. 576 p.
- Tso J, Costello LR, Jones KS. 2014. Structural failure profile: Blue gum (*Eucalyptus globulus*). *Western Arborist*, Winter, 52-55.
- Urban Forest Ecosystems Institute. 2021. SelecTree: Tree Detail *Tipuana tipu* [En línea]. 22 enero 2021. <https://selectree.calpoly.edu/tree-detail/tipuana-tipu>.
- VALID. 2021. VALID Tree Risk-Benefit Assessment & Management [En línea] 15 febrero 2021. <https://www.validtreerisk.com/>.
- Vallejos O. 2018. Protocolo de gestión del arbolado urbano: Uso de análisis multisensorial para predecir la calidad sanitaria a nivel individual—Informe Final Proyecto Fondecyt n° 1150815. Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica - CONICYT [En línea]. 16 febrero 2021. <http://repositorio.conicyt.cl/bitstream/handle/10533/227299/1150815.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- van Wassenaeer P, Richardson M. 2009. A review of tree risk assessment using minimally invasive technologies and two case studies. *Arboricultural Journal*, 32(4): 275-292. <https://doi.org/10.1080/03071375.2009.9747583>.
- Vogt J, Hauer RJ, Fischer BC. 2015. The Costs of Maintaining and Not Maintaining the Urban Forest: A Review of the Urban Forestry and Arboriculture Literature. 41(6): 293-323.
- Wagener WW. 1963. Judging hazard from native trees in California recreational areas: A guide for professional foresters. Berkeley: United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range. 32 p.
- Wang X, Allison RB. 2008. Decay Detection in Red Oak Trees Using a Combination of Visual Inspection, Acoustic Testing, and Resistance Microdrilling. *Arboriculture & Urban Forestry*, 34(1): 1-4.
- Webster BL. 1978. Guide to judging the condition of a shade tree. *Journal of Arboriculture*, 4(11): 247-249.
- Wessolly L, Erb M. 2016. *Manual of Tree Statics and Tree Inspection*. Berlin: Patzer Verlag. 288 p.
- Wu X, Li G, Jiao Z, Wang X. 2018. Reliability of acoustic tomography and ground-penetrating radar for tree decay detection. *Applications in Plant Sciences*, 6(10): 1-8. <https://doi.org/10.1002/aps3.1187>.

6. ANEXOS

6.1. CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DE LOS ÁRBOLES

Fase 1				Fase 2			
ID	Género	DAP (cm)	Altura (m)	ID	Género	DAP (cm)	Altura (m)
1	Eucalyptus	118	27,0	1	Eucalyptus	97	14,5
2	Eucalyptus	117	24,4	2	Eucalyptus	80	14,5
3	Eucalyptus	85	28,2	3	Eucalyptus	61	17,5
4	Eucalyptus	61	24,6	4	Eucalyptus	105	20,0
5	Eucalyptus	164	41,1	5	Eucalyptus	49	19,0
6	Eucalyptus	129	23,7	6	Eucalyptus	72	20,0
7	Eucalyptus	56	19,2	7	Eucalyptus	60	16,5
8	Eucalyptus	146	29,1	8	Eucalyptus	83	20,5
9	Eucalyptus	93	24,6	9	Eucalyptus	81	31,5
10	Eucalyptus	109	27,0	10	Eucalyptus	88	16,5
11	Eucalyptus	94	26,7	11	Eucalyptus	123	31,0
12	Eucalyptus	100	25,5	12	Eucalyptus	148	35,0
13	Eucalyptus	78	17,4	13	Tipuana	56	10,5
14	Eucalyptus	120	35,7	14	Tipuana	56	13,5
15	Eucalyptus	92	21,3	15	Tipuana	36	10,0
16	Eucalyptus	102	34,8	16	Tipuana	71	16,0
17	Tipuana	53	13,8	17	Tipuana	58	24,5
18	Tipuana	61	17,4	18	Tipuana	57	23,5
19	Tipuana	80	24,0	19	Tipuana	61	16,0
20	Tipuana	68	23,6	20	Tipuana	89	22,0
21	Tipuana	81	24,0	21	Tipuana	54	16,5
22	Tipuana	96	21,0	22	Tipuana	68	23,5
23	Tipuana	68	18,5	23	Tipuana	60	21,0
24	Tipuana	66	19,8	24	Tipuana	62	22,0
25	Tipuana	48	15,6	Fase 3			
26	Tipuana	162	24,0	ID	Género	DAP (cm)	Altura (m)
27	Tipuana	76	15,0	1	Tipuana	103	21,0
28	Tipuana	67	15,8	2	Eucalyptus	154	32,0
29	Tipuana	70	23,0	3	Tipuana	100	22,0
30	Tipuana	94	24,6	4	Eucalyptus	65	15,0
31	Tipuana	58	18,9				
32	Tipuana	66	20,7				

6.2. EVALUACIÓN DEL RIESGO NIVEL 1 – FASE 1

*Obligatorio

1. **Evaluador:**

2. **N° Árbol *:**

3. **Especie**

Eucalyptus sp.

Tipuana tipu

4. **Probabilidad de Falla ***

Improbable

Posible

Probable

Inminente

5. **Probabilidad de Impacto ***

Muy bajo

Bajo

Medio

Alto

6. **Consecuencia ***

Insignificante

Menor

Significativa

Severa

7. **Clasificación del Riesgo ***

Bajo

Moderado

Alto

Extremo

6.3. EVALUACIÓN DEL RIESGO NIVEL 3

*Obligatorio

1. **Evaluador**

2. **N° Árbol *:**

3. **Especie**

Eucalyptus sp.

Tipuana tipu

4. **Probabilidad de Falla ***

Improbable

Posible

Probable

Inminente

6.4. MÉTODO DE EVALUACIÓN VISUAL RÁPIDO (VR)

Parte I - Registro de la Inspección

*Obligatorio

1. **ID:**

2. **Responsable por la evaluación:**

3. **Especie**

Eucalyptus sp.

Tipuana tipu

Evaluación del Árbol

1. Estado fitosanitario (adaptado de Vallejos, 2018)*

<p>Árbol sin presencia (signos o síntomas) de plagas o enfermedades, sin evidencia de debilidad, coloraciones anómalas, defoliación, exudaciones o heridas contaminadas. El árbol presenta un vigor normal, color normal y desarrollo de hojas, flores y frutos de manera completa.</p>	<p>Árbol con alguna evidencia de problema de sanidad, ya sea por coloración anómala (clorosis o amarillamiento), puntuaciones en las hojas, exudaciones, presencia de plagas como conchuelas, pulgones u otras.</p>
---	---

Bueno

Regular

Árbol con problemas serios de plagas o enfermedades, que ponen en riesgo su estabilidad o sobrevivencia. Puede haber pérdida de parte del follaje, muerte apical o defoliación severa.

Malo

4. Equilibrio general - Tronco *

Tronco recto

Tronco inclinado

5. Equilibrio general - Copa *

Copa uniforme

Copa disforme

6. Defectos

Selecciona todas las opciones que correspondan.



Fisura/Grietas



Bifurcación con unión débil



Pudrición



Cavidad



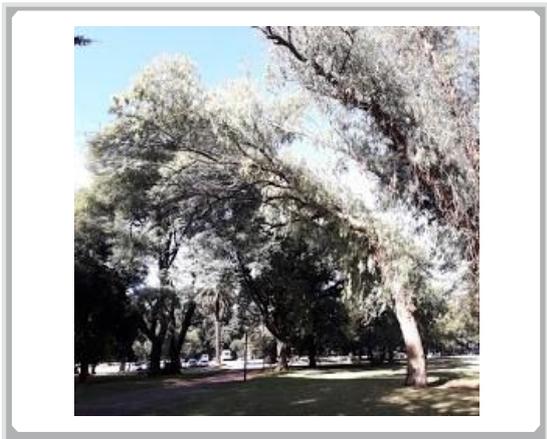
Partes muertas



Ramas colgadas



Deformaciones/abultamientos



Inclinación

Otros:

7. Defectos en raíces

Selecciona todas las opciones que correspondan.



Plato levantado



Raíces cortadas



Raíces estrangulantes

Otros:

8. Hongos (cuerpos fructíferos)

Presente

No visualizado

9. Ecología

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Insectos | <input type="checkbox"/> Trepaderas |
| <input type="checkbox"/> Nidos | <input type="checkbox"/> Parásitas |
| <input type="checkbox"/> Líquenes | <input type="checkbox"/> Otros: |
| <input type="checkbox"/> Epífitas | |

10. Interferencias

- | | |
|-------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Cableado | <input type="checkbox"/> Red subterránea |
| <input type="checkbox"/> Poste | <input type="checkbox"/> Construcción |
| <input type="checkbox"/> Otro árbol | <input type="checkbox"/> Otros: |
| <input type="checkbox"/> Acera | |

11. Blancos

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Peatones/ciclistas | <input type="checkbox"/> Residencia |
| <input type="checkbox"/> Autos en movimiento | <input type="checkbox"/> Servicios (rede eléctrica, iluminación, agua, gas) |
| <input type="checkbox"/> Estacionamiento diurno | <input type="checkbox"/> Otros: |
| <input type="checkbox"/> Estacionamiento 24h | |

12. Recomendación de evaluación adicional

- No
- Sí

6.5. MÉTODO DE EVALUACIÓN VISUAL BÁSICO (VB)

Parte I - Registro de la Inspección

- 1. ID:**
- 2. Responsable por la evaluación:**
- 3. Georreferencia:**

Parte II - Características dendrométricas

- 4. Especie**
 Eucalyptus sp.
 Tipuana tipu
- 5. N° de troncos**
- 6. Rebrote de tocón**
 Sí
 No
- 7. CAP (cm)**
- 8. Altura total (m)**
- 9. Proyección de la copa (m)**
(Promedio de las mediciones Norte-Sur y Este-Oeste)

Parte III - Características del sitio

10. Posibles factores del sitio

- Suelo poco profundo
- Compactado o pobre
- Drenaje pobre
- Capa freática alta
- Inundaciones recientes
- Cambios recientes cerca de las raíces
- Corte de árboles recientes en el área
- Patrón de vientos y exposición críticos
- Agentes de biodeterioro
- Otros:

Parte IV - Defectos y Parte del Árbol

11. Defectos (Adaptado de Pokorny, 2003)

Elija en el cuadro las descripciones que mejor caracterizan el individuo, para cada tipo de defecto identificado. Defectos no identificados deben quedar sin marcar

Defectos del árbol	Bajo Algunos defectos menores presentes	Moderado Varios defectos moderados presente	Alto Defectos múltiples o significantes presentes	Extremamente alto Defectos múltiples y significantes presentes
Putridión Madera que tiene putridión o se está perdiendo. Indicadores de putridión avanzado son madera podrida, cuerpos fructíferos, cavidades, oquedades, grietas abiertas o abultamiento en la madera. Grietas	•Heridas menores en tronco o ramas	•Indicadores de putridión avanzada son encontrados en 25% a 40% de la circunferencia del tronco, rama o cuello del árbol. •El espesor de la pared residual está entre el 33,3% y 66,6% del radio del árbol y el tronco tiene cavidades menores del 30% de la circunferencia.	•Putridiones/cavidades avanzadas que afectan más del 40% de la circunferencia del tronco, de la rama o del cuello del árbol. •Cualquier rama grande con putridión. •Tronco con putridión avanzada y la espesura de pared residual sigue el siguiente criterio: •Espesura de pared residual es menor del 33% del radio •Tronco con cavidad \geq 30% de su circunferencia y espesura de pared residual es $<$ 66% de su radio	•Tronco con putridión o cavidad excediendo los límites de pared residual descritos en la categoría alto y varias grietas
Una grieta es una separación de la madera; una hendidura a través de la corteza hasta la madera.	•Grietas no observadas	•El tronco tiene una única grieta y putridión.	•El tronco es dividido en dos por la grieta. •Partes del tronco con múltiples grietas y putridiones. •Ramas grandes con grietas.	•Cuando un tronco o rama están partidos al medio
Problemas de raíces Inadecuado anclaje del sistema radicular, raíces dañadas o raíces estrangulando el tronco.	•Heridas menores en raíces	•Menos del 40% de las raíces dentro del Radio Crítico (RCR) están dañadas, con putridión o muertas. •Raíces estranguladoras oprimen menos del 40% de la circunferencia del cuello.	•Árbol inclinado con reciente evidencia de levantamiento de raíces, movimiento de suelo o abultamiento de suelo. •Más del 40% de las raíces dentro del Radio Crítico (RCR) están dañadas, con putridión, cortadas o muertas. •Raíces estranguladoras oprimen a más del 40% de la circunferencia del cuello.	•Defectos afectando a más del 40% de la circunferencia del árbol o de Radio Crítico de Raíces (RCR) y con putridión extensiva o grietas
Unión débil Un brote epicórmico o una unión de ramas o troncos codominantes con corteza incluida.	•Ramas o troncos codominantes sin corteza incluida.	•Ramas o troncos codominantes con corteza incluida.	•Unión débil con grietas, putridiones o cancro. •Ramas grandes de origen epicórmico o adventicio en tronco con putridión.	•Unión débil con grieta y putridión
Cancro Un área donde la corteza y el cambium están muertos.	•Cancro afecta menos del 25% de la circunferencia del árbol.	•Cancro o cancro más putridión afectan entre el 25% y el 40% de la circunferencia del árbol.	•Cancro afecta a más del 40% de la circunferencia del árbol. •Cancro y putridión afectan a más del 40% de la circunferencia del árbol.	•Cancro y putridión con grieta
Arquitectura pobre Patrón de crecimiento indica algún desequilibrio estructural o debilidad en la rama, en el tronco o árbol entero.	•Inclinación menor a 10°. •Copa desequilibrada.	•Inclinación entre 10 y 40° sin levantamiento de suelo •La rama posee una forma curva o torcida. •Ramas con arpa en flexión o torsión. •Grande rama horizontal con varias ramas verticales en ella.	•Árbol con excesiva inclinación ($>$ 40°) •Árbol inclinado con una grieta en el tronco. •Árbol inclinado con putridión o cancro en su parte basal. •Árbol inclinado con una grieta horizontal en la cara superior de la inclinación y/o abultamientos de corteza y madera en la cara inferior (pandeo).	•Árbol inclinado con reciente rotura de raíces o abultamiento en el suelo y una grieta o putridión extensiva
Madera muerta Árbol muerto o ramas muertas.	•Muerte regresiva de ramas secundarias sin importancia.	•Muerte regresiva de ramas hasta 50% de la copa en latifoliadas y hasta 30% en coníferas.	•Muerte regresiva de ramas en más del 50% de la copa en latifoliadas y más del 30% en coníferas. •Cualquier rama colgada en el árbol. •Cualquier rama, cima o árbol muerto.	•Ramas muertas rotas y colgadas o con una grieta •Árbol muerto con otros defectos como grietas, ramas colgadas, putridión extensiva, o daños importantes en raíces.

	Bajo	Moderado	Alto	Extremo
Putridión	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Grietas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Problemas radiculares	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Unión débil de la rama	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cancro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Arquitectura pobre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Madera muerta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

12. Observaciones de los defectos:

13. Parte del Árbol (mayor probabilidad de falla)

- Ramas secundarias
- Ramas estructurales
- Tronco
- Cuello
- Raíces (vuelco)
- Otros:

14. Probabilidad de falla

- Baja - 1
- Moderada - 2
- Alta - 3
- Extrema - 4

15. Parte del Árbol (mayor consecuencia)

- Ramas secundarias
- Ramas estructurales
- Tronco
- Cuello
- Raíces (vuelco)
- Otros:

16. Probabilidad de falla

- Baja - 1
- Moderada - 2
- Alta - 3
- Extrema - 4

Parte V - Descripción de los blancos

17. Tipo de blanco

- Personas/ciclistas
- Autos
- Estructuras/servicios
- Otros:

18. Tasa de ocupación (adaptado de Matheny y Clark, 1994)

Uso raro (árboles de parque sin senderos cercanos)

Uso ocasional (sendero de caminata/ciclismo, acceso usado con poca frecuencia, áreas de picnic de uso intermitente, sin presencia de vehículos y/o estructuras/servicios)

Uso frecuente (senderos concurridos, tráfico con horarios de pico/uso peatonal constante, construcción comercial/estacionamiento diurno, servicios secundarios)

Uso constante/estructura (áreas de uso de larga ocupación, residencias, tráfico vehicular constante, patio de recreo concurrido, estacionamiento de uso 24 horas, estructuras permanentes, servicios primarios)

- Uso raro
- Uso ocasional
- Uso frecuente
- Uso constante/estructura

19. Zona del blanco

- Blanco dentro de la proyección de la copa
- Blanco dentro de 1x la altura
-

Blanco dentro de 1,5x la altura

20. Protección del blanco

- Totalmente expuesto
- Parcialmente protegido
- Totalmente protegido

21. Observaciones de los blancos:

22. Probabilidad de Impacto (adaptado de Dunster et al. 2017)

Muy bajo: área raramente usada totalmente expuesta o área de uso ocasional parcialmente protegida por otros árboles o estructura;

Bajo: área de uso ocasional totalmente expuesta o área de uso frecuente parcialmente expuesta o área de uso constante bien protegida;

Medio: área de uso frecuente totalmente expuesta o un área de uso constante parcialmente protegida;

Alto: área de ocupación constante totalmente expuesta.

- Muy bajo - 1
- Bajo - 2
- Medio - 3
- Alto - 4

23. ¿El blanco puede ser reubicado?

- Sí
 No

24. ¿El uso de la zona puede ser restringido?

- Sí
 No

Parte VI - Consecuencia

25. Parte más probable de fallar

- Ramas secundarias
 Rama estructural
 Árbol entero
 Otros:

26. Distancia de caída (m)

Para rama se debe usar la altura de caída y para árbol entero se debe usar la distancia del blanco al árbol

27. Masa reducida por degradación

- Sí
 No

28. Observaciones del daño potencial:

29. Consecuencia (adaptado de Forbes-Laird, 2010)

Consecuencia	Ejemplos de grado de peligro y consecuencias	Agente: árboles, mm, o ramas, kg
Insignificante	Objetos frágiles destruidos/lesión superficial/recuperable a peatones.	Pequeño, $d < 100$ mm, < 10 kg
Menor	Daño estructural menor/probable incapacitación/lesión de hospitalización a peatones.	Medio, $100 \leq d < 350$ mm, 10-50 kg
Significativa	Daño estructural moderado/daño vehicular severo, lesión fatal/incapacitante probables.	Grande, $350 \leq d < 750$ mm, 51-500 kg
Severa	Daño estructural severo, vehículos aplastados – fatalidad de pasajeros muy probable.	Muy grande, ≥ 750 mm, > 500 kg

- Insignificante - 1
 Menor - 2
 Significativa - 3
 Severa - 4

Parte VII - Valoración del Riesgo (registrar mayor riesgo)

30. Suma Probabilidad de Falla + Probabilidad de Impacto + Consecuencia

Si hay más de una parte probable de fallar, debe seleccionar la que presenta mayor riesgo. Cabe destacar que la probabilidad de impacto y la consecuencia tiene que ser referente a cada parte evaluada.

- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| <input type="radio"/> 3 | <input type="radio"/> 8 |
| <input type="radio"/> 4 | <input type="radio"/> 9 |
| <input type="radio"/> 5 | <input type="radio"/> 10 |
| <input type="radio"/> 6 | <input type="radio"/> 11 |
| <input type="radio"/> 7 | <input type="radio"/> 12 |

Parte VIII - Manejo y gestión

31. Medidas de control (Adaptado de Forbes-Laird, 2010)



Reducir la copa a cantidad especificada

Dejar el tronco como una carcasa en pie (considerar apilar la leña, preferencialmente bajo semi sombra)

Poda general

Remoción de copa

Talar el árbol (considerar apilar la leña y triturar el tocón como medida de reducción de enfermedades)

Remoción del árbol

Otros:

32. Observación sobre las recomendaciones y notas generales:

Gestión del Riesgo

33. Fecha de los tratamientos

34. Riesgo residual (Debe ser rellenado luego de realizados los tratamientos)

- | | | | |
|-----------------------|---|-----------------------|----|
| <input type="radio"/> | 3 | <input type="radio"/> | 8 |
| <input type="radio"/> | 4 | <input type="radio"/> | 9 |
| <input type="radio"/> | 5 | <input type="radio"/> | 10 |
| <input type="radio"/> | 6 | <input type="radio"/> | 11 |
| <input type="radio"/> | 7 | <input type="radio"/> | 12 |

35. Reinspección

- 5 años
- 3 años
- Anualmente
- Post tormenta
- Otros:

6.6. MÉTODO DE EVALUACIÓN VISUAL DETALLADO (VD)

Parte I - Registro de la Inspección

1. ID:

2. Responsable por la evaluación:

3. Georreferencia

4. Herramientas o equipos utilizados

Taladro de pressler

Penetrógrafo

Fakopp

Tomógrafo sónico

Tomógrafo por impedancia

eléctrica

Dron

Otros:

5. Restricciones visuales

6. Fecha de la inspección anterior (sí conocido)

7. Periodo de validez de la inspección (en meses):

Parte II - Características dendrométricas

8. Especie

Eucalyptus sp.

Tipuana tipu

9. Valor especial

- | | | | |
|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> | Árbol de parque | <input type="checkbox"/> | Barrera de protección |
| <input type="checkbox"/> | Árbol de calle | <input type="checkbox"/> | Borde de sendero/carretera |
| <input type="checkbox"/> | Patrimonio vegetal | <input type="checkbox"/> | Vida silvestre |
| <input type="checkbox"/> | Protegido bajo ley específica | <input type="checkbox"/> | Otros: |
| <input type="checkbox"/> | Raro | | |

10. N° de troncos:

11. Rebrote de tocón

- Sí
- No

12. CAP (cm):

13. Altura total (m):

14. Esbeltez (H/D):

15. Altura de la copa (m):

16. Proyección de la copa (m):

(Promedio de las medidas Norte-Sur y Este-Oeste)

17. Circunferencia basal (cm):

18. Espesor de la pared residual (t) (cm):

Parte III - Características del sitio

19. Historial de fallos en el sitio:

20. Tipo de suelo

- | | |
|---------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Arenoso | <input type="checkbox"/> Relleno urbano |
| <input type="checkbox"/> Arcilloso | <input type="checkbox"/> Capa freática alta |
| <input type="checkbox"/> Estructurado | <input type="checkbox"/> Otros: |

21. Riego

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Ningún | <input type="checkbox"/> Tronco siempre
mojado/saturado |
| <input type="checkbox"/> Riego de césped regular | |
| <input type="checkbox"/> Excesivo | |

22. Superficie de la zona de protección de raíces

- | | |
|---|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Césped | <input type="checkbox"/> Asfalto |
| <input type="checkbox"/> Pavimento | <input type="checkbox"/> Otros: |
| <input type="checkbox"/> Suelo compactado | |

23. Alteraciones en la zona

- Ninguna
- Construcción/arreglo de la acera
- Instalación/arreglo de servicios subterráneos
- Cambio del nivel del suelo

24. Área afectada de la zona de protección de raíces

(Adaptado de Embesi, M. 2015. Austin's Tree Regulations. [Tree and Natural Area Preservation | AustinTexas.gov](http://www.austintexas.gov/TreeandNaturalAreaPreservation))



- Ninguna
- Segunda mitad de la ZPR
- Segundo cuarto de la ZPR
- Primer cuarto de la ZPR

25. Superficie levantada

- No
- Sí, sin inclinación del árbol
- Sí, con inclinación del árbol

26. Problemas del suelo

- | | | | |
|--------------------------|------------------|--------------------------|------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | Volumen limitado | <input type="checkbox"/> | Foco de enfermedad |
| <input type="checkbox"/> | Encharcado | <input type="checkbox"/> | Colonia de termitas/hormigas |
| <input type="checkbox"/> | Superficial | <input type="checkbox"/> | Otros: |
| <input type="checkbox"/> | Compactado | | |

27. Interferencias

- | | | | |
|--------------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|
| <input type="checkbox"/> | Postes de luces | <input type="checkbox"/> | Servicios subterráneos |
| <input type="checkbox"/> | Señalización | <input type="checkbox"/> | Tráfico |
| <input type="checkbox"/> | Vista | <input type="checkbox"/> | Vegetación adyacente |
| <input type="checkbox"/> | Líneas aéreas | <input type="checkbox"/> | Otros: |

28. Exposición a viento

- | | | | |
|--------------------------|------------------|--------------------------|------------------------|
| <input type="checkbox"/> | Árbol solo | <input type="checkbox"/> | Borde del dosel |
| <input type="checkbox"/> | Debajo del dosel | <input type="checkbox"/> | Recientemente expuesto |
| <input type="checkbox"/> | Encima del dosel | <input type="checkbox"/> | Túnel de viento |

Parte IV – Climatología

(Esta parte puede ser completada en el trabajo de oficina)

29. Dirección de vientos dominantes:

30. Dirección de mayor frecuencia de ráfagas:

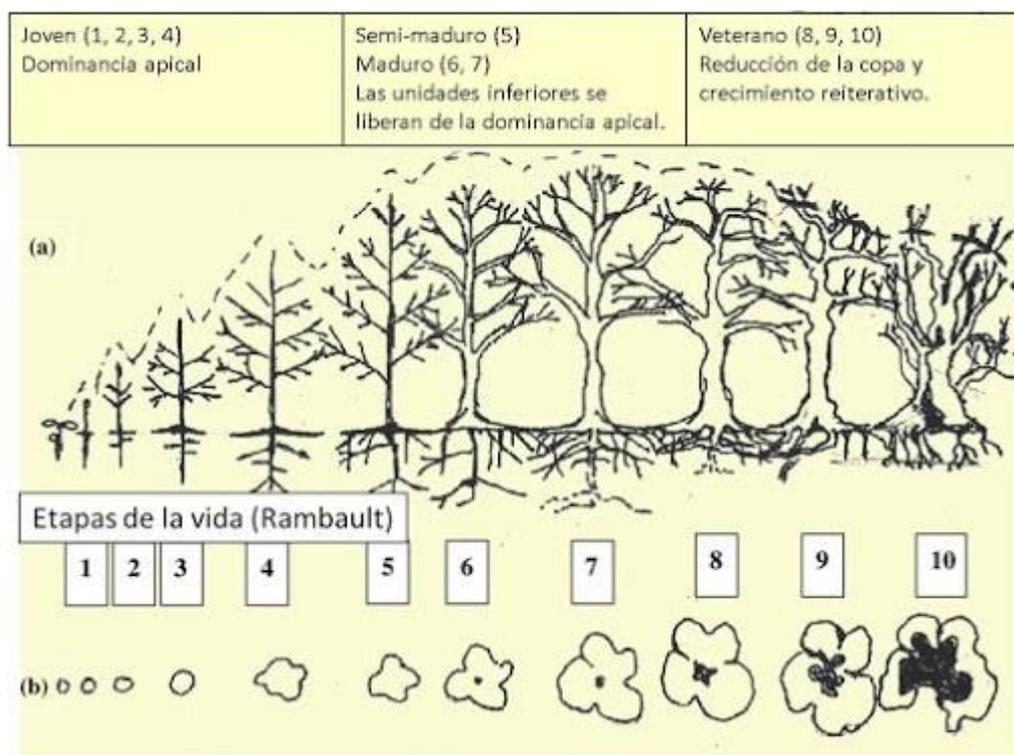
31. Ocurrencia de tormentas:

32. Cantidad de lluvia:

Parte V - Salud del árbol

33. Rango de edad

(Adaptado de Fay, N. 2016. Retrenchment Pruning and Conservation Arboriculture. DOI: [10.13140/RG.2.1.1369.0008](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1369.0008))



- | | |
|-------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Joven | <input type="checkbox"/> Maduro |
| <input type="checkbox"/> Semimaduro | <input type="checkbox"/> Veterano (senescente) |

34. Estado fitosanitario general (adaptado de Vallejos, 2018)

<p>Árbol sin presencia (signos o síntomas) de plagas o enfermedades, sin evidencia de debilidad, coloraciones anómalas, defoliación, exudaciones o heridas contaminadas. El árbol presenta un vigor normal, color normal y desarrollo de hojas, flores y frutos de manera completa.</p>	<p>Árbol con alguna evidencia de problema de sanidad, ya sea por coloración anómala (clorosis o amarillamiento), puntuaciones en las hojas, exudaciones, presencia de plagas como conchuelas, pulgones u otras.</p>
---	---

Bueno

Regular

Árbol con problemas serios de plagas o enfermedades, que ponen en riesgo su estabilidad o sobrevivencia. Puede haber pérdida de parte del follaje, muerte apical o defoliación severa.

Malo

35. Proporción de ramas muertas

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Ninguna | <input type="checkbox"/> Entre 26 y 50% de la copa |
| <input type="checkbox"/> Hasta un 25% de la copa | <input type="checkbox"/> Más de 51% de la copa |

36. ¿Ramas muertas más extensas que la copa?

- Sí No

37. Densidad de follaje

- Normal
- Con defoliación hasta un 25% de la copa
- Defoliación entre 26 a 50% de la copa
- Defoliación sobre el 51% de la copa

38. Color del follaje

- Normal
- Con clorosis hasta un 25% de la copa
- Clorosis de 26 a 50% de la copa
- Clorosis de más de 51% de la copa

39. Brotes epicórmicos

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Ningún | poda |
| <input type="checkbox"/> Saliendo de las heridas de | <input type="checkbox"/> En la extensión de la rama |

40. ¿Muerte regresiva de ramas?

Sí

No

41. Heridas o canchros

(Se incluyen las heridas por podas)

Ningún

Heridas o canchros leves, con posibilidad que el árbol se recupere

Heridas o canchros de profundidad y/o tamaño moderado, con callo en formación

Heridas o canchros de gran profundidad y/o tamaño, heridas con pudriciones

42. Orificios de emergencia

Sin presencia

Presencia en hasta 25% del tronco/ramas

Presencia entre 26 a 50% del tronco/ramas

Presencia en más de 51% del tronco/ramas

43. Plagas (conchuelas, pulgones/fumagina, por ejemplo)

Sin presencia

Presencia en hasta 25% del follaje

Presencia entre 26 a 50% del follaje

Presencia en más de 51% del follaje

44. Enfermedades

Presente (sí conocida, indicar en "otros")

Ausente

Otros:

45. Daños abióticos

Ningún

Rayo

Fuego

Otros:

Parte VI - Arquitectura del árbol

46. Historial de poda/tratamiento

- | | | | |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------|
| <input type="checkbox"/> | Ninguno | <input type="checkbox"/> | Copa reducida |
| <input type="checkbox"/> | Copa limpia | <input type="checkbox"/> | Cortes a ras |
| <input type="checkbox"/> | Excesivamente limpia (cola de león) | <input type="checkbox"/> | Cableado |
| <input type="checkbox"/> | Desmochada | <input type="checkbox"/> | Soportes |
| <input type="checkbox"/> | Copa levantada | <input type="checkbox"/> | Otros: |

47. Tamaño relativo de copa

- Pequeña Mediana Grande

48. Forma de la copa

- Simétrica Asimetría significativa
- Poca asimetría

49. Densidad de copa

- Escasa Normal Densa

50. Ramas interiores

- Poca Normal Densa

51. Trepadora/muérdago

- Presente Ausente

52. Nidos

- Presente
- Ausente

Parte VII –Defectos (adaptado de Matheny y Clark, 1994)

(Indicar presencia de defectos individuales, la(s) ubicación (es) y clasificar la severidad —G- grave, M-moderado, B=bajo—)

53. Cuello

	Grave	Moderado	Bajo
Grietas/fisuras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anillado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Heridas/suturas de callo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pudrición	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cavidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cuerpos fructíferos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Exudación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Corteza suelta/fisurada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cavidad de nidos/colmena de abeja	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Madera muerta/tocones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Taladros/termitas/hormigas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cancro/crecimiento anormal/deformación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Brotos epicórmicos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fallas anteriores	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

54. Tronco

	Grave	Moderado	Bajo
Poca conicidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Arco/curvatura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Codominantes/horquillas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Múltiples uniones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Corteza incluida	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Peso excesivo en la extremidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Grietas/fisuras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anillado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Heridas/suturas de callo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pudrición	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cavidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cuerpos fructíferos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Exudación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Corteza suelta/fisurada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cavidad de nidos/colmena de abeja	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Madera muerta/tocones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Taladros/termitas/hormigas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cancro/crecimiento anormal/deformación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Brotos epicórmicos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fallas anteriores	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

55. Ramas estructurales

	Grave	Moderado	Bajo
Poca conicidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Arco/curvatura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Codominantes/horquillas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Múltiples uniones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Corteza incluida	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Peso excesivo en la extremidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Grietas/fisuras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Desgajos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anillado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Heridas/suturas de callo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pudrición	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cavidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cuerpos fructíferos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Exudación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Corteza suelta/fisurada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cavidad de nidos/colmena de abeja	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Madera muerta/tocones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Taladros/termitas/hormigas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cancro/crecimiento anormal/deformación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Brotos epicórmicos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fallas anteriores	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

56.

Ramas secundarias

	Grave	Moderado	Bajo
Poca conicidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Arco/curvatura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Codominantes/horquillas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Múltiples uniones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Corteza incluida	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Peso excesivo en la extremidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Grietas/fisuras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Desgajos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anillado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Heridas/suturas de callo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pudrición	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cavidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cuerpos fructíferos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Exudación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Corteza suelta/fisurada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cavidad de nidos/colmena de abeja	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Madera muerta/tocones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Taladros/termitas/hormigas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cancro/crecimiento anormal/deformación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fallas anteriores	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Defectos en raíces

57. Sospecha de pudrición de raíces

- Sí
- No

58. Especie de hongo (sí conocida):

59. Raíces expuestas

- No hay Menos de 50% con pudrición
 Sin daño Más de 50% con pudrición

60. Sí hay raíces cortadas/dañadas, a qué distancia del tronco (m):

61. % de área de raíces afectadas:

62. Cuello enterrado

- Sí No

63. Raíces estrangulantes

- Sí No

64. Raíces contrafuertes heridas

- Sí No

65. Levantamiento del plato radicular

- Sí No

66. Debilidad del suelo

- Sí No

Inclinación

67. Árbol inclinado

- Sí No

68. Grado:

69. Estado

Anormal Auto-corregido

70. Raíces contrafuertes

Presente Ausente

71. Pudrición en el plano de la inclinación

Sí No

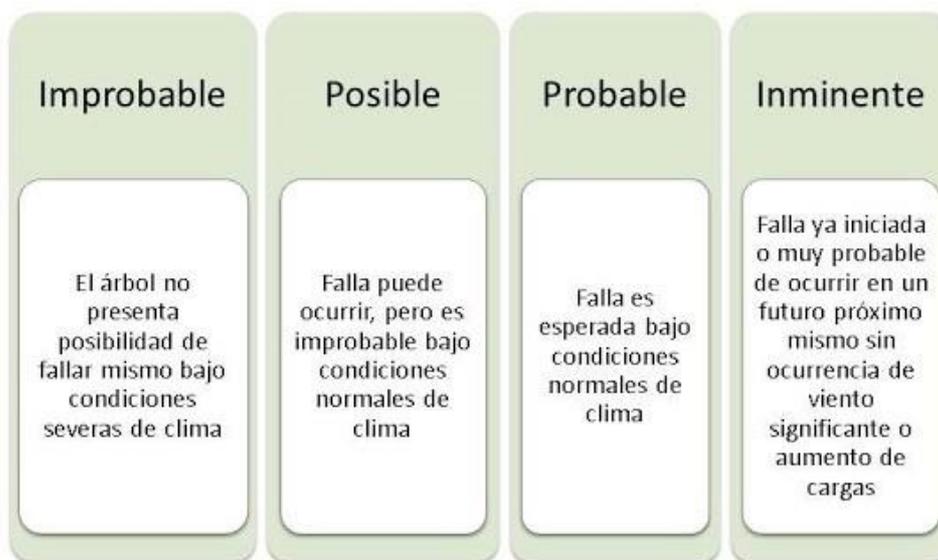
72. Grietas en el suelo

Sí No

Probabilidad de Falla

(Adaptado de Dunster et al., 2017)

Categorizada con base en un período de tiempo determinado



73. Probabilidad de falla del cuello

Improbable Probable
 Posible Inminente

74. Probabilidad de falla del tronco

- | | |
|----------------------------------|---------------------------------|
| <input type="radio"/> Improbable | <input type="radio"/> Probable |
| <input type="radio"/> Posible | <input type="radio"/> Inminente |

75. Probabilidad de ramas estructurales

- | | |
|----------------------------------|---------------------------------|
| <input type="radio"/> Improbable | <input type="radio"/> Probable |
| <input type="radio"/> Posible | <input type="radio"/> Inminente |

76. Probabilidad de ramas secundarias

- | | |
|----------------------------------|---------------------------------|
| <input type="radio"/> Improbable | <input type="radio"/> Probable |
| <input type="radio"/> Posible | <input type="radio"/> Inminente |

77. Probabilidad de raíz

- | | |
|----------------------------------|---------------------------------|
| <input type="radio"/> Improbable | <input type="radio"/> Probable |
| <input type="radio"/> Posible | <input type="radio"/> Inminente |

78. Observaciones de las probabilidades de falla

Parte VIII - Descripción de los blancos

79. Tipo de blanco

- Personas/ciclistas
- Autos
- Estructuras/servicios
- Otros:

80. Tasa de ocupación (adaptado de Matheny y Clark, 1994)

Uso raro (árboles de parque sin senderos cercanos)

Uso ocasional (sendero de caminata/ciclismo, acceso usado con poca frecuencia, áreas de picnic de uso intermitente, sin presencia de vehículos y/o estructuras/servicios)

Uso frecuente (senderos concurridos, tráfico con horarios de pico/uso peatonal constante, construcción comercial/estacionamiento diurno, servicios secundarios)

Uso constante/estructura (áreas de uso de larga ocupación, residencias, tráfico vehicular constante, patio de recreo concurrido, estacionamiento de uso 24 horas, estructuras permanentes, servicios primarios)

- | | |
|-------------------------------------|--|
| <input type="radio"/> Uso raro | <input type="radio"/> Uso frecuente |
| <input type="radio"/> Uso ocasional | <input type="radio"/> Uso constante/estructura |

81. Zona del blanco

- Blanco dentro de la proyección de la copa
- Blanco dentro de 1x la altura
- Blanco dentro de 1,5x la altura

82. Protección del blanco

- | | |
|--|--|
| <input type="radio"/> Totalmente expuesto | <input type="radio"/> Totalmente protegido |
| <input type="radio"/> Parcialmente protegido | |

83. Observaciones de los blancos:

Probabilidad de impacto (Adaptado de Dunster et al., 2017)

(Marcar la probabilidad de impacto referente a la parte más probable de fallar. Pero tenga en cuenta que en la próxima sección podrá analizar el riesgo de mas de una parte y debes utilizar la probabilidad de impacto referente a cada parte)

Muy bajo: área raramente usada totalmente expuesta o área de uso ocasional parcialmente protegida por otros árboles o estructura;

Bajo: área de uso ocasional totalmente expuesta o área de uso frecuente parcialmente expuesta o área de uso constante bien protegida;

Medio: área de uso frecuente totalmente expuesta o un área de uso constante parcialmente protegida;

Alto: área de ocupación constante totalmente expuesta.

- Muy bajo Medio
 Bajo Alto

84. ¿El blanco puede ser reubicado?

- Sí No

85. ¿El uso de la zona puede ser restringido?

- Sí No

Parte IX - Consecuencia

86. Parte más probable de fallar

- Ramas secundarias
 Rama estructural
 Árbol entero
 Otros:

87. Distancia de caída (m)

(Para rama se debe usar la altura de caída y para árbol entero se debe usar la distancia del blanco al árbol)

88. ¿Masa reducida por degradación?

- Sí No

89. Observaciones del daño potencial

90. Consecuencia (adaptado de Dunster et al., 2017)

(Marcar la consecuencia referente a la parte más probable de fallar. Pero tenga en cuenta que en la próxima sección podrá analizar el riesgo de mas de una parte y debes utilizar la consecuencia referente a cada parte)



Insignificantes

Menores

Significativas

Severas

Parte X - Valoración del Riesgo y Recomendaciones

91. Registrar los riesgos para cada parte con probabilidad de falla posible, probable o inminente (adaptado de Dunster et al., 2017)

Matriz 1. Matriz de probabilidades

Probabilidad de fallo	Probabilidad del impacto sobre la Diana			
	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto
Imminente	Improbable	Algo probable	Probable	Muy probable
Probable	Improbable	Improbable	Algo probable	Probable
Posible	Improbable	Improbable	Improbable	Algo probable
Improbable	Improbable	Improbable	Improbable	Improbable

Matriz 2. Matriz de clasificación de riesgo.

Probabilidad de fallo e impacto	Consecuencias del fallo			
	Insignificante	Menor	Significativa	Severa
Muy probable	Bajo	Moderado	Alto	Extremo
Probable	Bajo	Moderado	Alto	Alto
Algo probable	Bajo	Bajo	Moderado	Moderado
Improbable	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

	Bajo	Moderado	Alto	Extremo
Ramas secundarias	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ramas estructurales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tronco	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cuello	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Raíces (vuelco)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Riesgo general del árbol	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

92. Recomendaciones y notas generales:

93. Riesgo residual

- Bajo
- Moderado
- Alto
- Extremo

Gestión del Riesgo

94. Fecha de los tratamientos:

95. Riesgo residual post tratamientos

(Debe ser rellenado luego de realizados los tratamientos)

- Bajo
- Moderado
- Alto
- Extremo

96. Reinspección

- 5 años
- 3 años
- Anualmente
- Post tormenta
- Otros:

6.7. ENCUESTA A LOS EVALUADORES – APLICACIÓN DEL PROTOCOLO

PROTOCOLO DE EVALUACIÓN DEL RIESGO DE ÁRBOLES URBANOS

El presente trabajo se enmarca dentro del proyecto de Doctorado en Ciencias Agrarias de la MSc. Ing. Forestal Ana Paula Coelho, docente del Departamento de Producción Forestal y Tecnología de la Madera de la Facultad de Agronomía de la UDELAR.

El objetivo de la actividad es recabar información para validar el uso de un protocolo de evaluación del riesgo de los árboles urbanos. Los participantes evaluarán árboles que serán previamente seleccionados en el Parque José Batlle y Ordóñez, Montevideo. Los datos recabados serán utilizados de forma anónima. Las informaciones personales serán utilizadas para agrupar a los participantes, sin que se conozca su identidad.

*Obligatorio

1. Consentimiento *

Declaro que acepto participar libremente de este trabajo y estoy de acuerdo con la utilización de la información brindada durante la actividad. Entiendo que puedo desistir de participar en cualquier etapa de la actividad.

Información general

2. Nombre y Apellido *

3. Nivel más alto que cursó o está cursando actualmente: *

- Ciclo Básico Liceo
- Bachillerato Secundario
- Enseñanza Técnica/Formación Profesional UTU
- Magisterio o Profesorado
- Terciario no Universitario
- Universidad o Instituto Universitario (Carrera de grado o Licenciatura)
- Posgrado (Diploma/Maestría/Doctorado)

Información académica

4. **¿Cuál es el área, orientación, curso o carrera que estudió? ***

Información laboral

5. **Actividad Laboral ***

- Asalariado/a privado/a
- Asalariado/a público/a
- Miembro de cooperativa de producción
- Patrón/a
- Trabajador por cuenta propia
- Trabajador familiar no remunerado
- Jubilado

6. **¿Trabajas en el tema de arboricultura? ***

- Sí
- No

Arboricultura Urbana

7. **¿Hace cuantos años trabajas con arboricultura? ***

8. **¿Realizas evaluaciones de riesgo de árboles en tu trabajo? ***

Sí

No

Evaluación del Riesgo

9. **¿Hace cuántos años realizas evaluaciones de riesgo? ***

6.8. ÁRBOLES EVALUADOS EN LA FASE 3 – APLICACIÓN DEL PROTOCOLO

A continuación, se presenta una descripción general de los árboles seleccionados en la fase 3 de la investigación.

Árbol 1: *Tipuana tipu* (Figura 32). Características dendrométricas: altura total: 21 m; altura de la copa: 17,8 m; diámetro¹ de copa: 28 m; DAP²: 103 cm; DAB³: 165 cm.

Observaciones: Cavidad en la base; raíces cortadas y una parte en decaimiento; ramas sobre extendidas arqueadas sobre la acera con sobrecarga en la extremidad; pocas ramas secundarias secas; cancro a los 2 metros de altura en 30% de la circunferencia, cercano a la inserción de las ramas estructurales; ramas estructurales codominantes sin corteza incluida, pero con acumulo de materia orgánica y otra especie que crece en esta unión. El lugar sirve para descanso de los caballos de la policía, que causan herida en las raíces, cuello y tronco.

Blancos: Sendero peatonal en el interior del parque, autos estacionados y en movimiento en calle interna del parque, juegos para niños, bancos, poste de iluminación y sendero.



Figura 32. Vista general y detalles del árbol 1.

¹ Diámetro promedio Norte – Sur y Este – Oeste.

² Diámetro a la altura del pecho.

³ Diámetro a la altura de la base.

Árbol 2: *Eucalyptus sp.* (Figura 33). Características dendrométricas: altura total: 32 m; altura de la copa: 29,5 m; diámetro de copa: 25,5 m; DAP: 154 cm; DAB: 283 cm.

Observaciones: Cancro y pudrición en el tronco con varias grietas en una parte donde la madera se encuentra expuesta; ramas estructurales medianas y secundarias muertas, con pudrición y grietas; brotes epicórmicos de tamaño moderado en rama con pudrición; rama horizontal con varias verticales en ella; pandeo en el cuello; raíces dañadas principalmente por máquinas corta pasto; rama seca colgada y muchas ramas secas.

Blancos: Sendero peatonal en el interior del parque, autos estacionados y en movimiento en calle interna del parque y poste de iluminación.



Figura 33. Vista general y detalles del árbol 2.

Árbol 3: *Tipuana tipu* (Figura 34). Características dendrométricas: altura total: 22 m; altura de la copa: 20 m; diámetro de copa: 24,5 m; DAP: 100 cm; DAB: 165 cm.

Observaciones: Árbol inclinado con levantamiento del suelo; cavidad en 14% de la circunferencia con espesor de pared residual de 20 cm y una proporción de 40% de madera sana; rama sobre extendida con forma curva y rama secundaria desgarrada; uniones múltiples con corteza incluida.

Blancos: Sendero peatonal en el interior del parque, cableado y poste de iluminación.



Figura 34. Vista general y detalles del árbol 3.

Árbol 4: *Eucalyptus sp.* (Figura 35). Características dendrométricas: altura total: 15 m; altura de la copa: 12,2 m, diámetro de copa: 14,5 m; DAP: 65 cm; DAB: 121 cm.

Observaciones: Árbol con muerte apical avanzada con ramas secas de moderado porte con proyección a la avenida de frecuente movimiento de autos y peatones; pandeo en la cara norte (a sotavento), con raíces contrafuerte heridas y levantamiento leve del suelo a barlovento; hormiguero debilitando en suelo; y heridas grandes por poda.

Blancos: Sendero peatonal en el borde del parque, autos en movimiento en avenida de mayor tránsito y poste de iluminación.



Figura 35. Vista general y detalles del árbol 4.

6.9. TREE RISK ASSESSMENT: COMPONENT ANALYSIS OF SIX METHODS APPLIED IN AN URBAN PARK, MONTEVIDEO, URUGUAY

Urban Forestry & Urban Greening 59 (2021) 127005



Contents lists available at ScienceDirect

Urban Forestry & Urban Greening

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ufug



Tree Risk Assessment: Component analysis of six visual methods applied in an urban park, Montevideo, Uruguay

Ana Paula Coelho-Duarte^a, Gustavo Daniluk-Mosquera^a, Virginia Gravina^b, Óscar Vallejos-Barra^c, Mauricio Ponce-Donoso^{c,*}

^a Departamento de Producción Forestal y Tecnología de la Madera, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Avda. Garzón 780, 12900 Montevideo, Uruguay

^b Departamento de Biometría, Estadística y Computación, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Avda. Garzón 780, 12900 Montevideo, Uruguay

^c Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca, Avda. Lircay s/n, Talca, Chile

ARTICLE INFO

Handling Editor: N Nicholas Williams

Keywords:
Arboriculture
Generalized linear mixed model
Tree hazard rating
Urban trees

ABSTRACT

The urban trees must be properly evaluated to ensure their presence with acceptable risk levels, so that they provide ecosystem services. However, most Latin American countries lack their own or adaptations methods for this evaluation. To identify the applicability of some methods in Montevideo (Uruguay), the following were evaluated: A Photographic Guide to the Evaluation of Hazard Trees in Urban Areas (ISA/M&C); Best Management Practices - Tree Risk Assessment (ISA/BMP); Quantified Tree Risk Assessment (QTRA); Tree Hazard: Risk Evaluation and Treatment System (THREATS); Guide to Hazard Tree Management (USDA1); A Guide to Identifying, Assessing and Managing Hazard Trees in Developed Recreational Sites of the Northern Rocky Mountains and the Intermountain West (USDA2). The methods were organized by the components: likelihood of failure, likelihood of impact, consequence of failure and risk rating, and were applied by two types of assessors to trees of *Eucalyptus* and *Tipuana*. A generalized linear mixed model was applied, identifying significant differences between methods, assessors, genus, and their interactions. The results showed that there were significant differences amidst the methods, for all components. There were significant differences between assessors for the likelihood of failure and the risk rating, and a "method x type of assessor" interaction, associated with the consequence of failure. There were no significant differences between genus, however, there was a "genus x method" interaction for the likelihood of impact. The part size interpretation on the consequence analysis explained the differences between assessors for the QTRA, USDA1 and ISA/M&C methods; the location of trees presented greater influence in the likelihood of impact on the USDA2 method. In this context, to monitor and carry out tree management for urban parks of Montevideo, it is recommended to apply the unchanged ISA/BMP method. The QTRA and USDA1 methods also presented good applicability, but they should be adjusted.

1. Introduction

Urban trees provide important ecosystem services to the city (Nowak et al., 2006; Hernández, 2008; Haase et al., 2014; Hamstead et al., 2016; Ponce-Donoso et al., 2020). For this to occur it is important that the trees are in good condition and their risk to people is minimized (National Tree Safety Group, 2011; Vogt et al., 2015). Eliminating the risk of urban trees is not economically and technically feasible; for this reason, their management aims to keep them in their best condition, favoring the benefits they provide and their longevity.

Assessing the condition of the tree aims to recognize and reduce potential risks, while maintaining desirable coverage (van Wassenauer and Richardson, 2009; Tomao et al., 2015; Calaza and Iglesias, 2016). For example, the removal of many trees conditions the stability of the remnant ones (Johnson, 1981) and reduces their ecosystem services (National Tree Safety Group, 2011). The assessment of the risk condition of the urban tree is relevant for society, mainly for municipal managers, posing two important challenges: the determination of risk and its management (Calaza and Iglesias, 2016), reducing its potentiality and preserving a desirable vegetation cover. In the context of Montevideo,

* Corresponding author.

E-mail addresses: paula.coelho@fagro.edu.uy (A.P. Coelho-Duarte), gdaniluk@fagro.edu.uy (G. Daniluk-Mosquera), virginia@fagro.edu.uy (V. Gravina), ovallejo@utalca.cl (Ó. Vallejos-Barra), mponce@utalca.cl (M. Ponce-Donoso).

<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127005>

Received 7 May 2020; Received in revised form 18 January 2021; Accepted 20 January 2021

Available online 27 January 2021

1618-8667/© 2021 Elsevier GmbH. All rights reserved.

6.10. PROPOSAL OF TWO VISUAL TREE RISK ASSESSMENT METHODS FOR URBAN PARKS IN MONTEVIDEO, URUGUAY

BOSQUE 42(2): 259-268, 2021 DOI: 10.4067/S0717-92002021000200259

Proposal of two visual tree risk assessment methods for urban parks in Montevideo, Uruguay

Propuesta de dos métodos de evaluación visual del riesgo de árboles para parques urbanos en Montevideo, Uruguay

Ana Paula Coelho-Duarte ^a, Gustavo Daniluk-Mosquera ^a, Virginia Gravina ^b, Andrés Hirigoyen ^c, Óscar Vallejos-Barra ^d, Mauricio Ponce-Donoso ^{d*}

^a Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Forestal y Tecnología de la Madera, Avda. Garzón 780, 12900 Montevideo, Uruguay, paula.coelho@fagro.edu.uy, gdaniluk@fagro.edu.uy

^b Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Biometría, Estadística y Computación, Avda. Garzón 780, 12900 Montevideo, Uruguay, virginia@fagro.edu.uy

^c Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Programa Nacional de Investigación en Producción Forestal, Ruta 5 km 386, Tacuarembó, Uruguay, andreshirigoyen@gmail.com

*Corresponding Author: ^d Universidad de Talca, Escuela de Ingeniería Forestal, Avda. Lircay s/n, Talca, Chile, tel.: 56-71-2200432, ovallejo@utalca.cl, mponce@utalca.cl

SUMMARY

The risk assessment of urban trees is a challenge that must be addressed by many cities, in consideration of their climatology, management and spatial heterogeneity. Since these trees are in stages of aging, added to bad practices, inadequate selection and establishment, amongst others, their early elimination, and hence the loss of the ecosystem services they provide, is being promoted. For this reason, two tree risk assessment methods were developed to be applied in a complementary manner in urban parks, one basic visual (BV) and the other detailed visual (DV), both structured with the components of likelihood of failure, likelihood of impact, consequence and risk rating, being analyzed qualitatively and semi quantitatively. The methods were applied in 24 trees of *Eucalyptus* and *Tpuana* genus by two groups of assessors, experienced and inexperienced, totaling 192 assessments. Results were analyzed with a linear mixed model (LMM), which showed differences between both methods for the likelihood of failure, where the assessment of branches turned out to be the attribute with the highest impact. The methods proved to be suitable to be used in a complementary manner, since BV turns out to be efficient when it is necessary to assess a large number of trees. DV turned out to be more effective, since it was able to identify more precisely the attributes of the tree that must be considered for adequate risk mitigation and management. Therefore, their combined use is recommended for risk assessment in trees established in parks.

Key words: arboriculture, urban trees, hazard tree, tree risk rating, linear mixed model.

RESUMEN

La evaluación del riesgo de los árboles urbanos es un desafío que numerosas ciudades deben abordar, en consideración a su climatología, gestión y heterogeneidad espacial, debido al hecho que el arbolado se encuentra en etapas de envejecimiento, sumado a malas praxis, inadecuada selección y establecimiento, entre otras, que están propiciando su eliminación temprana y, por ende, la pérdida de los servicios ecosistémicos que proveen. Por ello se desarrollaron dos métodos de evaluación del riesgo de árboles para ser aplicados complementariamente en parques urbanos, uno visual básico (VB) y otro visual detallado (VD), estructurados con las componentes de probabilidad de falla, probabilidad de impacto, consecuencia y clasificación de riesgo, siendo analizados cualitativa y cuantitativamente. Los métodos fueron aplicados en 24 árboles de los géneros *Eucalyptus* y *Tpuana* por dos grupos de evaluadores, con experiencia y sin experiencia, totalizando 192 evaluaciones. Los resultados se analizaron con un modelo lineal mixto (MLMIX), que mostró diferencias entre ambos métodos para la probabilidad de falla, donde la valoración de las ramas secundarias resultaron ser el atributo de mayor impacto. Los métodos demostraron ser adecuados para ser usados complementariamente, ya que el VB resulta ser eficaz cuando se requiere evaluar gran cantidad de árboles, mientras que el VD resultó ser más efectivo, pues fue capaz de identificar de forma más precisa los atributos del árbol que deben ser considerados para una adecuada mitigación y gestión del riesgo. Por lo anterior, se recomienda su uso combinado para la evaluación del riesgo en árboles establecidos en parques.

Palabras clave: arboricultura, árboles urbanos, árbol peligroso, clasificación del riesgo de los árboles, modelo lineal mixto.