

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

MÉTODOS DE EVALUACIÓN DEL RIESGO DE
ÁRBOLES EN LAS CALLES DE MONTEVIDEO:
INFLUENCIA DE LOS EVALUADORES Y ESPECIES

por

María Cecilia AMENEIROS ACHARD

María Paulina FRATTI CARDOZO

María Agustina SERGIO PORRO

TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO
URUGUAY
2019

Tesis aprobada por:

Director:

MSc. Ing. Forestal Ana Paula Coelho

Dr. Ing. For. Mauricio Ponce Donoso

Dr. Ing. For. Óscar Vallejos Barra

Fecha: 11 de octubre de 2019

Autores:

María Cecilia Ameneiros Achard

María Paulina Fratti Cardozo

María Agustina Sergio Porro

AGRADECIMIENTOS

A nuestra tutora MSc. Ing. Forestal Ana Paula Coelho, co-tutor Dr. Ing. For. Mauricio Ponce, al Dr. Ing. For. Óscar Vallejos, cuyos aportes fueron fundamentales para la parte estadística de éste trabajo, a la Ing. Agr. (MSc.) Gabriela Jolochín, quien nos ayudó a identificar las especies estudiadas, y al Ing. Agr. Alfonso Arcos por su entera disposición y habernos brindado datos sobre el arbolado de Montevideo.

A nuestras familias por el apoyo y la comprensión incondicional.

A los compañeros de facultad con quienes hemos compartido la carrera, y al resto de nuestros amigos, quienes nos han apoyado y alentado en este camino.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1.ARBORICULTURA Y CIUDAD.....	2
2.2.BENEFICIOS Y PERJUICIOS DEL ARBOLADO	3
2.2.1. <u>Beneficios</u>	3
2.2.2. <u>Perjuicios</u>	5
2.3.ARBOLADO EN MONTEVIDEO.....	6
2.4.¿POR QUÉ EVALUAR EL RIESGO?	6
2.4.1. <u>Responsabilidad legal</u>	8
2.5.INDICADORES DE PELIGROSIDAD POTENCIAL DEL ARBOLADO	8
2.5.1. <u>Árbol, rama o cima muerta</u>	8
2.5.2. <u>Arquitectura pobre</u>	9
2.5.3. <u>Uniones débiles de ramas</u>	9
2.5.4. <u>Madera descompuesta en tronco y ramas</u>	9
2.5.5. <u>Grietas</u>	10
2.5.6. <u>Cancros</u>	11
2.5.7. <u>Problemas del sistema radicular</u>	11
2.6.PLAGAS Y ENFERMEDADES	11

2.7.VARIABLES RELACIONADAS AL RIESGO POTENCIAL	12
2.7.1. <u>Heladas</u>	13
2.7.2. <u>Vientos fuertes</u>	13
2.7.3. <u>Granizo</u>	14
2.7.4. <u>Podas irracionales</u>	14
2.7.5. <u>Características del sitio</u>	14
2.8.CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LAS ESPECIES	15
2.9.MÉTODOS DE EVALUACIÓN DEL RIESGO DE ÁRBOLES URBANOS	16
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	18
3.1.ÁREA Y PERÍODO DE EXPERIMENTO	18
3.2.CONSIDERACIONES DEL SITIO	18
3.2.1. <u>Clima</u>	18
3.3.ELECCIÓN DE LAS ESPECIES.....	19
3.4.ELECCIÓN DE LOS MÉTODOS	23
3.5.PROCEDIMIENTO DE LA EVALUACIÓN	23
3.5.1. <u>Fase pre evaluativa</u>	23
3.5.2.Fase evaluativa.....	24
3.6.ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	24
3.6.1. <u>Estandarización</u>	25
3.7.PRUEBA DE NORMALIDAD	27
3.8.ANÁLISIS NO PARAMÉTRICO	28
3.9.ANÁLISIS DE RESULTADOS	28

4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	30
4.1.ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	30
4.1.1. <u>Comparación de la clasificación del riesgo por especie y por evaluador</u>	31
4.1.2. <u>Comparación de la clasificación del riesgo por método</u>	32
5. <u>CONCLUSIONES</u>	39
6. <u>RESUMEN</u>	40
7. <u>SUMMARY</u>	41
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	42
9. <u>ANEXOS</u>	46

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.

Página

1. Beneficios de los árboles	3
2. Principales plagas y enfermedades para la región en árboles de especies estudiadas.....	12
3. Caracterización general de las especies.....	15
4. Características básicas de los métodos aplicados.....	17
5. Información de los individuos seleccionados	20
6. Estandarización de los métodos según índice APC.....	26
7. Prueba de normalidad para residuos	30
8. Verificación de varianza (método).....	30
9. Verificación de varianza (evaluador).....	30
10. Verificación de varianza (especie)	30
11. Pruebas de múltiples rangos para ART por especie	31
12. Pruebas de múltiples rangos para ART por evaluador.....	32
13. Pruebas de múltiples rangos para ART por método	33
14. Tiempo promedio de aplicación de los métodos estudiados.....	36

Figura No.

1.Zona de estudio.....	18
2.Estandarización del método BMP según índice APC.....	26
3.Pruebas de múltiples rangos para ART por especie.....	31
4.Pruebas de múltiples rangos para ART por evaluador.....	32
5.Pruebas de múltiples rangos para ART por método.....	33
6.Porcentaje de árboles por clasificación de riesgos.....	34
7.Gestión de tolerancia de árboles en riesgo.....	37

1. INTRODUCCIÓN

En respuesta al creciente proceso de urbanización y consecuente aceleración en el crecimiento de las ciudades, los árboles han adquirido una mayor importancia y se han posicionado como un elemento asociado a una mejor calidad de vida para sus habitantes.

Son múltiples los beneficios que ofrece el arbolado a la sociedad, logrando mitigar impactos ambientales a través de la producción de oxígeno y absorción de CO₂, proporcionan sombra, modifican la temperatura, filtran el aire polucionado, reducen el ruido, entre otros.

Aun así, los árboles no aportan únicamente beneficios, sino que en la planificación y cuidado de nuevas y preexistentes áreas verdes, se debe prestar especial atención a la gestión del arbolado, debido a que un manejo inadecuado puede llevar a que los árboles no presenten el comportamiento esperado y fallen, poniendo en riesgo a la comunidad, infraestructuras y actividades, generando costos innecesarios.

Una herramienta que toma especial relevancia al momento de aproximarse a una gestión adecuada son los métodos de evaluación del riesgo, los cuales han sido desarrollados a nivel mundial, sin existir ninguno particularmente adaptado a la realidad de Montevideo.

En este contexto, surge la investigación realizada en el presente trabajo, donde se comparan tres métodos, con el objetivo de identificar el que mejor se adecúe a la vegetación de la ciudad y se pueda poner en práctica en una modificación del plan de gestión del arbolado, identificando la existencia de diferencias en los resultados de las evaluaciones entre especies y evaluadores implicados.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. ARBORICULTURA Y CIUDAD

Los árboles son elementos de la configuración fisonómica de las ciudades, ya que forman parte del medio ambiente urbano, como ornamento de calles y plazas, a modo de mejora estética y elemento estructural intermedio con respecto al tamaño de las edificaciones y la escala humana (Calaza e Iglesias, 2007).

Nascimento et al. (1997) señalan que el proceso de urbanización ha llevado a que se acelere el crecimiento de las ciudades, esto ha tenido como consecuencia cambios en el ambiente, impulsando una planificación y cuidado de nuevas y preexistentes áreas verdes en la búsqueda de una mejora en la calidad de vida de los habitantes. De esta forma, se posiciona al arbolado como un elemento fundamental de bienestar en el paisaje y ambiente urbanos.

Dicha mejora en el bienestar se ve reflejada en los diversos servicios y beneficios medioambientales, que aportan los parques urbanos a través de sus árboles, ya que mitigan muchos de los impactos ambientales del desarrollo urbano, regulando el clima, conservando la energía, el agua y mejorando la calidad del aire (De la Maza y Cerda, 2009).

En contrapartida, se debe tener en cuenta el efecto estresante que el medio urbano provee para el desarrollo de los árboles (Richards, 1983). Por lo que es conveniente para el éxito de la arboricultura urbana, mitigar los efectos adversos mediante la selección de los árboles más apropiados para los distintos sitios de la ciudad, pues no realizar una elección apropiada podría llevar al deterioro o muerte de los árboles, así como generar inconvenientes, donde la solución podría ser compleja y costosa (Gerhold y Porter, 2007b).

2.2. BENEFICIOS Y PERJUICIOS DEL ARBOLADO

2.2.1. Beneficios

Los beneficios del arbolado urbano pueden ser agrupados en diferentes categorías, las mismas incluyen desde el valor paisajístico hasta el valor económico adjudicado (Cuadro No. 1).

Cuadro No. 1. Beneficios de los árboles

Categoría de valoración	Beneficios específicos
Valor paisajístico	· Sentido de escala · Suavizar ambientes creados · Embellecer edificaciones · Línea de visión enfocada y dirigida · Moderar impacto visual · Variación en color, forma, textura y patrón · Variación en patrones de luz y sombra · Enfatizar cambios de estación
Valor recreativo y beneficios para la salud humana	· Recreación pasiva · Conexión de espacios abiertos · Beneficios para la salud física · Beneficios para la salud psicológica
Oportunidades educativas y de interpretación	· Identificación de plantas · Jardinería y horticultura · Historia natural local · Relaciones entre la vegetación silvestre · Valor de conservación
Valor de conservación	· Creación o preservación de hábitats · Preservación de flora y fauna remanente · Conservación de recursos genéticos · Mantenimiento de hábitats silvestres

(cont. Cuadro No. 1)

Mejora climática	· Sombra · Reducción del viento · Aislamiento térmico · Modificación de la temperatura · Humidificación del aire · Filtrado de aire polucionado · Intercepción de la lluvia · Reducción del escurrimiento de aguas pluviales · Cambio de precipitación efectiva · Control del resplandor urbano y la reflexión solar
Valores y mejoras ambientales	· Producción de oxígeno · Secuestro de dióxido de carbono · Reducción de la erosión · Protección de cuencas hidrográficas · Alternar corrientes de viento · Reducción del ruido · Modificación de la temperatura ambiental · Reducción de la volatilización del bitumen
Beneficios económicos	· Aumento del valor de propiedades · Inversión mejorada · Aumento del turismo · Beneficios en el balance de carbono

Fuente: Moore, citado por Norris (2010).

En el ambiente urbano se ven destacados los atributos estéticos de los árboles, esto implica que la presencia o ausencia de estos tenga efectos en el entorno de la ciudad (Wenger 1984, Konijnendijk et al. 2005, Leal 2006, Valenzuela 2006).

Para Nowak et al. (1997), los árboles tienen peso en la calidad de vida urbana ya que facilitan el uso de espacios exteriores y recreativos, contribuyendo a que el medio urbano sea un lugar más agradable para vivir. En adición a esto, Konijnendijk y Randrup (2004) hacen mención de la importancia de los árboles respecto a su capacidad de generar espacios para practicar deportes.

Nowak et al. (1997) agregan que los árboles contribuyen a mejorar la salud mental y física de las personas, ya que los paisajes con árboles producen estados fisiológicos más distendidos, disminuyendo así el estrés de las personas, y a su vez, la sombra en las calles ayuda a prevenir problemas de salud asociados a la exposición a la radiación ultravioleta.

Dwyer et al. (1992) posicionan los árboles como reguladores de temperatura, aportando beneficios microclimáticos, limpiando el aire, fijando suciedad y partículas de polvo, absorbiendo ozono, CO₂, SO₂, y otros contaminantes, así como componentes de la lluvia ácida. Heisler (1986) agrega la relación existente entre la intersección de corrientes de aire, que se producen a través de las copas de los árboles, modificando la dirección y velocidad del viento. Nowak et al. (1997) añaden que una adecuada ubicación de los árboles permite ahorrar energía para refrigeración y calefacción, sombreando superficies y disminuyendo la temperatura en verano, reduciendo también el efecto del viento durante el invierno.

La presencia de los árboles en la ciudad implica un ahorro potencial de energía que puede llegar al 25%, pero debe contemplarse que los costos energéticos pueden verse incrementados por un mal diseño en la configuración de los árboles (Heisler, 1986).

Con respecto a los beneficios económicos, existen estudios que respaldan la idea de una relación entre la presencia de árboles dentro de las propiedades y su entorno cercano, incrementando su valor (Anderson y Cordell, 1988). Sin embargo, el valor principal que aportan los árboles y bosques urbanos no presenta precio de mercado, ya que los valores que lo componen se denominan valores de uso de no consumo, como lo son el aire limpio, el disfrute del espacio y la tranquilidad de las actividades recreacionales (Tyrväinen, citado por Konijnendijk et al., 2005) especialmente si los árboles no son reemplazables.

Por último, Calaza e Iglesias (2007) hacen referencia a la importancia del aporte de trabajo a la comunidad, a través de los profesionales que diseñan plantaciones, o los que las ejecutan o mantienen como otra contribución de los árboles a la economía urbana.

2.2.2. Perjuicios

Para Coder (1996) cuando los árboles no presentan el comportamiento esperado viven menos de lo previsto, su crecimiento falla, requieren mantenimiento extra, ya sea por enfermedades u otras causas, así también dañan infraestructuras, como por ejemplo veredas, o se expone la comunidad a

un riesgo innecesario, el que es considerado como un costo. Miller (1996) agrega que un buen manejo minimiza costos mientras maximiza beneficios, estableciendo que el riesgo es meramente un factor utilizado en el análisis de costo-beneficio.

Por otro lado, para Nowak et al. (1997) en algunos casos los árboles pueden llegar a ser perjudiciales, debido a las alergias al polen y la atracción de animales e insectos no deseados.

2.3. ARBOLADO EN MONTEVIDEO

Según datos de la Intendencia de Montevideo (IM), en el año 2012 la ciudad de Montevideo contaba con 211.402 árboles en sus aceras y se estima que existen 100.000 más en parques y plazas (Terrani, 2014), llevando a que haya una relación de aproximadamente 1 árbol cada 4 habitantes. El plátano (*Platanus x acerifolia* W.) es la primera especie que se implantó en las calles. Los ejemplares plantados en el centro de la ciudad viven en un medio desfavorable debido a la altura de la edificación y el pavimento, por lo que estos individuos se encuentran empobrecidos o relativamente empobrecidos. El paraíso (*Melia azedarach* L.) es la siguiente especie más común en las calles montevideanas (Lombardo, 1969).

2.4. ¿POR QUÉ EVALUAR EL RIESGO?

Para Calaza e Iglesias (2016) *“todo árbol presenta o tiene riesgo, no existe el riesgo cero”*. Los mismos autores expresan que si bien no se tiene la posibilidad de eliminar completamente el riesgo sin destruir cada árbol, existe la posibilidad de controlarlo parcialmente. Este control debe permitir un manejo que resulte en un rango de riesgo aceptado por los jueces, las compañías aseguradoras y la sociedad en general, dado que no es viable garantizar seguridad total, es decir, riesgo nulo.

Pero ¿a qué se refiere cuando se habla de un árbol peligroso? Y ¿qué es un nivel de riesgo aceptable? La respuesta es complicada, subjetiva y debe de ser definida de una forma muy precisa. En el camino que conlleva a estas respuestas, se considera que en primera instancia es conveniente mencionar que para la Real Academia Española riesgo es una contingencia o proximidad de un daño, mientras que peligro es un riesgo o contingencia inminente de que suceda algún mal (RAE, 2018). En adición a esto, Calaza e Iglesias (2016) señalan que *“un árbol peligroso es un árbol con riesgo inminente de que suceda algún mal, es decir, con proximidad de producir un daño”*.

Smiley et al. (2011) diferencian estos términos expresando: *“Los arboristas y guardabosques han utilizado el término evaluación del peligro para describir el proceso de inspeccionar y evaluar la condición estructural de los árboles y el daño que podría ocurrir si fallaran. El término más acertado y apropiado, evaluación del riesgo, es el que se utiliza normalmente en la actualidad. Un árbol es considerado peligroso cuando después de haber sido evaluado ha sido encontrada una probabilidad de falla capaz de causar un nivel inaceptable de daño, lesión o ruptura - es decir, posee un riesgo alto o extremo. El riesgo es la combinación de la probabilidad de que se suceda un evento y la severidad de las posibles potenciales consecuencias. Un peligro es la fuente probable de un daño. En relación a los árboles, un peligro son las partes del mismo identificadas como fuente probable de un daño”.*

Para reafirmar aún más las respuestas, Wallis et al., citados por Calaza e Iglesias (2016) especifican que un árbol potencialmente peligroso es aquel que está situado en un área frecuentada por personas o está localizado adyacente a elementos de valor y tiene defectos en raíces, tronco o ramas que pueden ocasionar un fallo que provoque daños a bienes, personales o muertes.

Otros autores han intentado explicar el concepto de árbol peligroso, tal es el caso de Matheny y Clark (1994) quienes han definido al árbol peligroso como el fallo de una o más de sus partes, las cuales resultan en daños a propiedades y/o personas, a lo que agregan que *“todos los árboles tienen el potencial de fallar, pero relativamente pocos lo hacen”.*

Otro elemento para tratar es el concepto de riesgo aceptable, para lo cual es importante aclarar que éste es variable, ya que depende de los objetivos de la gestión del riesgo del lugar y de las percepciones del propietario/gestor, así como lo que eventualmente podría dañar el árbol. Al aceptar o no un cierto nivel de riesgo, dependerá de la política a aplicar, por lo que aquellos árboles que sobrepasan ese nivel mínimo de riesgo serán peligrosos desde ese punto de vista (Calaza e Iglesias, 2016).

Otro autor que se adentra en la definición de este concepto es Norris (2010), para quién corresponde al riesgo en el que no se emprenderá ninguna acción para abordarlo. Este sería, según el autor, el riesgo aceptado o tolerado por la sociedad para disfrutar de ciertos beneficios, que además afirma que *“si se espera que la evaluación del riesgo resulte creíble, deberá tener un criterio de riesgo medible y ajustado a los parámetros de aceptación social”.*

2.4.1. Responsabilidad legal

En lo que respecta al marco legal del arbolado urbano en Montevideo no existen leyes que lo regulen, sino que se estudia caso a caso y se resuelve con los artículos presentes en la Constitución y las leyes. A modo de ejemplo, se revisa un accidente ocurrido en la ciudad de Montevideo con una especie del género *Eucalyptus*, que fue afectado por el hongo del género *Ganoderma* provocando pudrición de raíz. En este caso, el árbol cae sobre un auto causando el fallecimiento de una madre de familia y la lesión de uno de sus hijos. El mismo puede ser consultado en el Anexo No.1.

2.5. INDICADORES DE PELIGROSIDAD POTENCIAL DEL ARBOLADO

A modo de ahondar en los indicadores de peligrosidad potencial del arbolado, a continuación, se mencionan resumidamente siete ítems propuestos por Pokorny (2003).

2.5.1. Árbol, rama o cima muerta

“Las cimas o ramas muertas pueden permanecer unidas al tronco en árboles vivos varios años o pueden caer repentinamente” (Calaza e Iglesias, 2016).

Lo que normalmente sucede es que las ramas en ejemplares muertos se descomponen y fallan primero dejando que el tronco se vaya deteriorando y dure varios años. Una rama rota que está sujeta por otras ramas del árbol, en inglés “lodged branch” o “widow maker”, es muy peligrosa porque es una rama que ya ha fallado y espera a ser descolgada por el viento o por la rama que la soporta.

“Los árboles muertos situados a una distancia que pueda golpear un blanco tienen que ser eliminados tan pronto como sea posible”, debido a que es impredecible el tiempo que tardarán en descomponerse y caerse (Calaza e Iglesias, 2016).

2.5.2. Arquitectura pobre

Según Calaza e Iglesias (2016) son indicadores que se deben observar, ya que sugieren desequilibrio y debilidad tanto en las ramas, en el tronco como en el árbol entero, sugieren una probabilidad alta de fractura, especialmente en episodios de fuertes vientos. Entre los indicadores a observar están:

- Copa asimétrica.
- Ramas individuales poco equilibradas.
- Carga final excesiva en ramas individuales.
- Ausencia relativa de las zonas apicales de rama en zonas con muchos vientos.

2.5.3. Uniones débiles de ramas

Existen imperfecciones naturales que predisponen a los árboles a la ruptura de ramas en el punto de unión con el tronco. Se destaca la presencia de la denominada corteza incluida y la existencia de ramas débiles.

“Las uniones débiles aparecen cuando una rama y el tronco (o dos o más troncos codominantes) crecen tan próximos que la corteza también crece entre ellos, dentro del árbol. Se denomina corteza incluida a medida que se va generando más y más corteza dentro del árbol, la unión se vuelve cada vez más débil” (Calaza e Iglesias, 2016).

Las ramas de brotes epicórmicos se pueden producir como respuesta a daños o estrés generado por el ambiente; éstas surgen con el fin de reemplazar las dañadas, podadas o deterioradas y es común que se formen en árboles terciados o desmochados. Naturalmente forman uniones débiles debido a que son poco profundas y no están unidas al centro del tronco. Las mismas crecen de forma muy rápida, por lo que en poco tiempo se transforman en ramas muy pesadas, a la vez que pierden su conexión con la rama o tronco principal, pudiendo fallar dado que la madera es incapaz de soportar su propio peso (Calaza e Iglesias, 2016).

2.5.4. Madera descompuesta en tronco y ramas

Es el resultado de la interacción a largo plazo entre el árbol y los hongos pudridores, que cuando la descomposición es muy avanzada, aparecen cavidades y el árbol pierde parcialmente su resistencia estructural, reduciéndose así su estabilidad (Calaza e Iglesias, 2016). Según Pokorny

(2003) los indicadores de un estado avanzado de descomposición de madera son los siguientes:

- Madera podrida.
- Cuerpos fructíferos de hongos o sus restos, incluyendo evidencias de decoloración de madera.
- Cavidades.
- Grietas abiertas.
- Abultamientos en la madera.
- Exudación de fluidos desde la corteza.

La presencia de huecos en el tronco revela la existencia de una columna interna en descomposición avanzada. Por ello, es necesario revisar viejas heridas de poda, daños originados por el paso de vehículos y/o maquinaria, por máquinas de mantenimiento como segadoras, etc. (Calaza e Iglesias, 2016).

2.5.5. Grietas

“En nuestro contexto las podemos definir como una separación en la madera, una profunda separación a través de la corteza y la madera que puede aparecer en las ramas, tronco o en las raíces. Se forman cuando un tronco o rama no es capaz de soportar una carga determinada y la mayor parte se forman por heridas mal cerradas, por la separación de uniones débiles o por malos cortes de poda como el efecto de corte a ras (flush cut). La madera existente tras la grieta puede estar sana, descompuesta o incluso no existir si se trata de cavidades” (Calaza e Iglesias, 2016).

“Las grietas son peligrosas cuando comprometen la estructura del árbol, separando el tronco en dos partes o cuando existe otro defecto mayor como una descomposición interna y no posee suficiente espesor de madera sana para soportar el ejemplar. La presencia de grietas múltiples y descomposiciones indican un elevado riesgo potencial, por tanto, denota un ejemplar muy defectuoso. Los ejemplares que poseen grietas enrolladas, descomposición avanzada y algún otro tipo de grietas, todas en la misma sección, se considera que tienen un elevado riesgo de fallo” (Calaza e Iglesias, 2016).

2.5.6. Cancros

Pueden aparecer en ramas, tronco o raíces, y se identifican ya que la corteza y el cambium están muertos y la madera bajo esa corteza está desfigurada (la corteza puede o no adherirse a la cara del cancro). Los árboles generan anillos anuales de madera, pero las zonas con cánceres no son capaces de hacerlo. *“Un cáncer de grandes dimensiones o cánceres pequeños muy próximos, son zonas potenciales de fallo porque no existe suficiente madera para soportar mecánicamente al árbol, a menudo las ramas y troncos se fracturan en zonas cercanas a esos cancros”* (Calaza e Iglesias, 2016).

2.5.7. Problemas del sistema radicular

“Cuando un ejemplar presenta daños muy extendidos en el sistema radicular, normalmente vuelca el árbol completo y cae al suelo ya que las raíces no pueden proporcionar un sistema de anclaje adecuado. El daño puede haberse producido por excavaciones, zanjas, compactación de suelo, rellenos de tierra, pavimentaciones, ataques fúngicos o estreses de tipo medioambiental como sequías o encharcamientos, fisiopatías, etc.” (Calaza e Iglesias, 2016).

La presencia de una copa con poca vigorosidad, ramillas muertas, muerte radicular, pérdida o rotura de raíces, árboles inclinados, cuerpos fructíferos en la base del árbol, entre otros pueden ser algunos de los síntomas más comunes asociados a problemas radiculares (Calaza e Iglesias, 2016).

2.6. PLAGAS Y ENFERMEDADES

Si bien no existe a nivel del país información publicada acerca de las posibles plagas y enfermedades que afectan a las especies en estudio, sí es posible encontrarla a nivel de la región.

En el Cuadro No. 2 se presentan algunas plagas y enfermedades (Comerci, 2010) para cada una de las especies consideradas en este estudio, para más detalle (ver Anexo No. 2).

Cuadro No. 2. Principales plagas y enfermedades para la región en árboles de especies estudiadas

Especie	Plagas		Enfermedades	
	Nombre común	Nombre científico	Nombre común	Nombre científico
Fresno americano	Abejitas sacabocado	<i>Megachile sp.</i>		
Fresno europeo	Cochinilla del fresno	<i>Pseudaulacaspis pentagona</i> (Targioni)		
	Mosca blanca del fresno	<i>Siphoninus phillyreae</i>		
	Chinche del fresno	<i>Brachynotocoris parvicornis</i> (Reuter)		
	Chicharra o cigarra	<i>Tettigades sarcinatrix</i> (Torres)		
Paraíso	Taladro del paraíso	<i>Diploschema rotundicolle</i> (Serville)	Tuberculosis del paraíso	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>
	Taladro	<i>Praxithea derourei</i> (Chabrill)		
	Cochinilla roja del paraíso	<i>Aonidiella aurantii</i> (Maskell)		
Plátano	Taladrillo del álamo	<i>Megaplatypus mutatus</i>	Oídio del plátano	<i>Microsphaera</i>

2.7. VARIABLES RELACIONADAS AL RIESGO POTENCIAL

Existen factores ambientales que pueden producir daños y/o afectar la salud general de los árboles, derivando en problemas sanitarios o estructurales que son de gran importancia para la probabilidad de falla como factor de riesgo.

Los descritos a continuación (Comerci, 2010) son los que se consideraron de mayor importancia para el sitio de estudio en cuestión.

2.7.1. Heladas

Se trata de un descenso brusco de temperatura que daña los tejidos vegetales, considerándose las más dañinas aquellas que alcanzan temperaturas de -10°C , a las cuales si se le suma una humedad ambiental baja puede llevar a que los daños sean mayores.

Como daños, se produce estallido de los vasos de circulación de savia del vegetal, teniendo como consecuencia rajaduras de forma longitudinal en el tallo, también puede producir la muerte de yemas durmientes, de ramas y hojas en árboles de follaje perenne, pudiendo provocar la muerte total o parcial del árbol.

Daños más comunes:

- 1- Secado de ramas, hojas, frutos etc. Los árboles injertados son más sensibles
- 2- Muerte de raíces, rajaduras de corteza y rajaduras del tronco que facilitan el ingreso de insectos taladros y hongos, muerte de ramas y muerte de yemas.
- 3- Muerte total del árbol
- 4- La muerte de las yemas puede producir el despertar de otras durmientes y estas producir la ramificación exagerada de las plantas que han sufrido heladas.

2.7.2. Vientos fuertes

Vientos de gran intensidad pueden provocar daños en hojas, ramas y tronco principal.

Como daños se puede citar el golpeteo y pérdida de hojas, ramas, frutos y trozos de tallo; quiebre del fuste; los árboles injertados pueden sufrir pérdida de copa con mayor facilidad.

Según Matheny y Clark (1994), la falla de árboles durante fuertes vientos es muy común, luego la integración de la información climática con las características del sitio permite al evaluador relacionarlas con la probabilidad de falla.

2.7.3. Granizo

Fenómeno atmosférico, donde los árboles son heridos por el golpe de piedras sobre tallos y ramas, dependiendo del tamaño del granizo.

Se produce rotura de ramas jóvenes y brotes. Las heridas facilitan el ingreso de insectos, hongos y bacterias. En coníferas la pérdida de resina a través de las heridas puede acarrear la muerte del árbol pasados varios meses del evento.

2.7.4. Podas irracionales

Como podas irracionales se citan:

- 1- Podas realizadas fuera de época
- 2- Uso de herramientas no aptas como hachas y motosierras grandes; que dan lugar a cortes que difícilmente cicatricen, porque la corteza queda muy estropeada.
- 3- Cortes muy gruesos
- 4- Cortes dejando trozos de ramas
- 5- Cortes con desgarro de corteza
- 6- Podas excesivas en coníferas

Los pueden ser el ingreso de hongos, bacterias y taladros a través de las heridas producidas por la poda, que terminan reduciendo la vida útil del árbol. Como efecto secundario, estas podas pueden provocar el despertar de yemas durmientes y generación de brotes epicórmicos, que terminan con la deformación de la copa.

2.7.5. Características del sitio

La pendiente, la topografía y el aspecto (la dirección de la brújula que enfrenta una pendiente), contribuyen al potencial de falla (Matheny y Clark, 1994).

Culter et al., citados por Matheny y Clark (1994), asocian el 27% de las fallas por viento al tipo de suelo y el 20% al anegamiento. El tipo de subsuelo juega un rol importante en la estabilidad de los árboles, siendo que los arenosos proporcionan menos soporte que los arcillosos y los suelos de grava son particularmente inestables.

Los suelos saturados reducen la resistencia al cizallamiento de un suelo, que ya es comparativamente baja debido a la textura gruesa, lo que predispone a los árboles a ser arrojados (Foster, citado por Kane, 2008). Los estudios de extracción de árboles han encontrado que la falla de la raíz es más común cuando los suelos son poco profundos o restringen el crecimiento de la raíz (Moore, citado por Kane, 2008).

2.8. CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LAS ESPECIES

La ciudad de Montevideo cuenta con 422 especies de árboles, plantadas en veredas y parques (Terrani, 2014).

En el Cuadro No.3, se presentan características relevantes para la evaluación del riesgo de las especies de interés.

Cuadro No. 3. Caracterización general de las especies

Especie	Características
<i>Melia azedarach</i> “paraíso” Familia: Meliaceae	Árboles de 8 a 15 m de altura, caducifolios, de gran porte, con troncos rectos, ramas frágiles y copa globosa. Corteza gris o castaña, oscura, rugosa, con grietas longitudinales. Posee hojas desde agosto hasta mayo-junio. Se cultiva como forestal y ornamental, para parques, plazas y calles. Producen buena sombra, aunque sus frutos caen y resultan molestos sobre las veredas. Su crecimiento es muy rápido (hasta 2m de alto por año). Es un árbol bastante rústico, apto para poda y resistente a las hormigas.
<i>Platanus x acerifolia</i> “plátano” Familia: Platanaceae	Árboles de 10 a 25 m de altura, caducifolios, con troncos gruesos, a menudo ramificados a poca altura, presentan copa amplia, muy extendida, globosa a hemisférica. Corteza amarillo-verdosa, clara, se desprende en placas anchas, irregulares y delgadas, grisáceas. Posee hojas desde fines de agosto hasta junio. Florece desde agosto a diciembre. Muy cultivada como forestal y ornamental. Su crecimiento es rápido. Requiere buena luz, es resistente a los insectos, pero sensible al ataque de hongos (Phytophthora).

(cont. Cuadro No. 3)

<i>Fraxinus excelsior</i> L. "fresno europeo" Familia: Oleaceae	Árboles de 8 a 20 m, caducifolios. Con troncos rectos, gruesos con corteza que se agrieta longitudinalmente con la edad, de color castaño grisáceo o rojizo, se cultiva como forestal y ornamental, las características de su raíz, principalmente profunda y laterales numerosas, breves, son las que lo hacen muy apto para su utilización en arbolado urbano.
<i>Fraxinus pennsylvanica</i> M. "fresno americano" Familia: Oleaceae	Árboles de 8 a 15 m, caducifolios. Con troncos rectos, cilíndricos, con corteza grisácea o gris rojiza, lisa en los individuos jóvenes y más oscuros y agrietados longitudinalmente con la edad. Posee hojas entre septiembre y mayo. Florece de septiembre a diciembre. Se cultiva como forestal y ornamental, para parques y calles.

Fuente: elaborado con base en Lahitte y Hurrell (1999).

2.9. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DEL RIESGO DE ÁRBOLES URBANOS

Existen a nivel mundial una gran diversidad de métodos desarrollados especialmente para la evaluación del riesgo en el arbolado, tanto de zonas boscosas como urbanas. Según Norris (2010), un método debe ser completo, creíble, factible (fundamentado), confiable, repetible, robusto, simple (fácil de usar) y válido. En Uruguay no ha sido elaborado ni adaptado ningún método a las condiciones del país con tal fin. Por lo que para la realización de este trabajo se seleccionaron tres métodos de distinto origen (Cuadro No. 4) escogidos a partir de la descripción según Ellison (2005), Forbes-Laird (2010), Dunster et al. (2017) además de la información proporcionado por Norris (2010), Calaza e Iglesias (2016). Por mayor detalle ver Anexos No. 3, No. 4 y No. 5.

Cuadro No. 4. Características básicas de los métodos aplicados

Método	Características
THREATS – “Tree Hazard: Risk Evaluation and Treatment System” (Forbes-Laird, 2010).	-Es un método semi cuantitativo. -Desarrollado en el Reino Unido. -Herramienta versátil, ya que el evaluador puede utilizar de forma metódica y sencilla. - Brinda una respuesta adecuada para cada nivel de riesgo. -Requiere un nivel de conocimiento técnico básico para su uso (familiaridad con los defectos, posibles fallas, etc.). -100% de libre acceso (gratuito) y disponible “online”.
QTRA – “Quantified Tree Risk Assessment” (Ellison, 2005).	-Es un método cuantitativo. -Desarrollado en el Reino Unido. -Asume que los riesgos elevados suelen darse solo en zonas con altos niveles de ocupación humana o con propiedades valiosas y en el caso que estos últimos sean bajos, no suele ser necesario evaluar la debilidad estructural de los árboles. -El rango de la puntuación es infinito, pero el nivel de riesgo aceptable es un valor inferior a 1:10.000. Es el único método que discute lógicamente un nivel de riesgo aceptable. -Manual gratuito disponible “online”, pero se requiere la compra de una calculadora <i>ad hoc</i> para conseguir resultados finales.
BMP/ISA – “Best Management Practice” (Dunster et al., 2017).	-Es un método cualitativo. -Desarrollado en Estados Unidos. -Clasifica el riesgo utilizando matrices de decisión. -Método muy completo desde el punto de vista teórico. -Requiere de conocimiento sobre los defectos de los árboles y las prácticas de manejo arboricultural. -Su uso práctico implica la aplicación de un formulario muy exhaustivo que incluye la asignación de un riesgo residual. - Su uso no resulta tan sencillo. -Tiempo de aplicación del método: 20 a 25 minutos. - Requiere compra de manual y curso. Se requiere estar certificado.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁREA Y PERÍODO DE EXPERIMENTO

La evaluación realizada fue llevada a cabo entre los días 15 y 23 de diciembre de 2018, en los barrios Buceo, Parque Batlle y Pocitos de la ciudad de Montevideo, Uruguay (Figura No. 1). La elección del sitio se basó en la tasa de ocupación de dichos barrios, ya que en los mismos se cuenta con diferentes instituciones y centros importantes de elevada afluencia de público, como lo son la Facultad de Veterinaria, el Montevideo Shopping Center, el Zoológico Villa Dolores y las torres World Trade Center Montevideo. Además, varios de los individuos seleccionados se sitúan sobre dos de las avenidas más importantes de la ciudad, la Avenida General Rivera y Dr. Luis Alberto de Herrera; para las cuales según Res.IM 3421/18 la velocidad máxima aceptada es de 45 km/h.

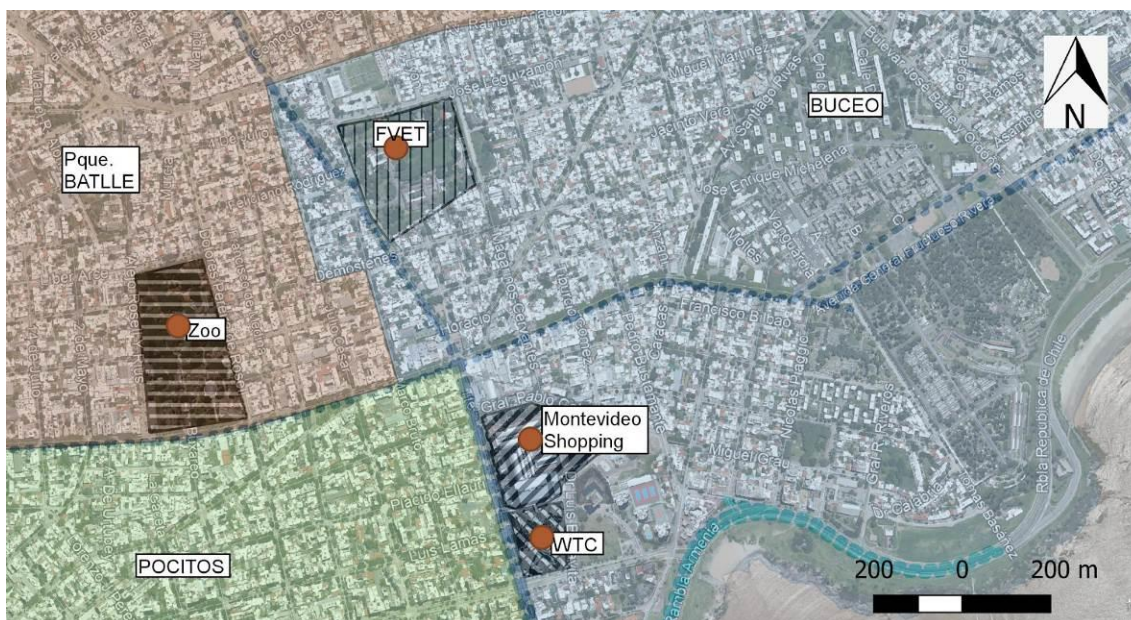


Figura No. 1. Zona de estudio destacando los tres barrios y los puntos de mayor ocupación de personas

3.2. CONSIDERACIONES DEL SITIO

3.2.1. Clima

Según INUMET (s.f.), las temperaturas medias de Montevideo oscilan entre 11°C en invierno hasta 21,5°C en verano, siendo las más bajas para todo el país.

INUMET (s.f.), define como helada metereológica “*a todo descenso térmico igual o inferior a 0°C medido en el abrigo metereológico*”, si bien las mismas son más frecuentes en invierno (3-6 días) para la estación Carrasco, en primavera se registraron en el período estudiado (1981-2010) entre 3-4 días. No existen registros para esta estación ni en otoño ni en verano.

En cuanto a las precipitaciones se caracterizan por ser espacialmente irregulares y variables, teniendo un máximo en otoño y otro máximo secundario en primavera (INUMET, s.f.)

Respecto a los vientos, Ricaldoni (1979) muestra que las velocidades medias anuales son de 6,55 m/s (23,58km/h) y la media mensual es de 7,05 m/s (25,38km/h). Siendo los vientos con dirección norte los más frecuentes, pero de menor intensidad (< 65km/h) y los más intensos (> 80km/h) aquellos que provienen de las direcciones sur - sureste y oeste-noroeste (IM, 2006).

3.3. ELECCIÓN DE LAS ESPECIES

Dentro de los géneros que reúnen la mayor proporción de los árboles cultivados en la ciudad de Montevideo están *Melia*, *Fraxinus*, *Platanus*, *Tipuana*, *Acer*, *Jacarandá*, entre otros (Terrani, 2014), de los mismos se seleccionaron tres, mediante el asesoramiento de técnicos con experiencia en el manejo del arbolado urbano de Montevideo, que incluyen las siguientes especies: *Melia azedarach* L., *Fraxinus excelsior* L., *Fraxinus pennsylvanica* M. y *Platanus x acerifolia* W.

En total se seleccionaron 36 árboles, 12 de cada género. La información más relevante de los individuos seleccionados se encuentra en el Cuadro No. 5. En el Anexo No. 6 se encuentran las fichas individuales completas con los indicadores principales del riesgo y sus respectivas imágenes. Y en el Anexo No. 7 el mapa con la ubicación de estos.

Cuadro No. 5. Información de los individuos seleccionados

No.	Especie	Ubicación	Criterio de selección
1	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> M.	Tomás de Tezanos esq. Arturo Prat.	Brotes epicórmicos, ramas secundarias secas y sobre extendidas.
2	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Buxareo 1339.	Brotes epicórmicos y ramas secundarias sobre extendidas.
3	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> M.	Pedro Bustamante 1202.	Árbol inclinado, brotes epicórmicos y ramas secundarias secas.
4	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> M.	Luis Lamas 3360 (a la derecha).	Baja conicidad y muerte regresiva de ramas.
5	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> M.	Buxareo 1287.	Posible podredumbre de raíz, y presencia de ramas secundarias sobre extendidas y secas.
6	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> M.	Ramos 4125 (a la izquierda).	Brotes epicórmicos y cavidades en base del tronco.
7	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> M.	Marco Bruto 1408 (a la izquierda).	Corteza incluida.
8	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> M.	Manuel Pagola 3007.	Bifurcación del tronco, corteza incluida, brotes epicórmicos, ramas secundarias secas.
9	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> M.	Manuel Pagola Entre 3067 y 3069 bis.	Plato radicular levantado, ramas secundarias secas y sobre extendidas.
10	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Horacio 3304 esq. Dolores Pereira de Rosell.	Tronco hueco, inclinado, con cavidad en la base del tronco y ramas secundarias sobre extendidas.
11	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> M.	Ramón Anador 3523.	Cavidad en tronco, desprendimiento de corteza, ramas secundarias sobre extendidas y secas.
12	<i>Fraxinus pennsylvanica</i> M.	Ramón Anador 3541.	Ramas estructurales y secundarias muertas y sobre extendidas.
13	<i>Melia azedarach</i> L.	Pedro Bustamante 1187 (a la izquierda).	Árbol inclinado, daño en raíz, ramas secas y fallo anterior de ramas.

(cont. Cuadro No. 5)

14	<i>Melia azedarach</i> L.	Dalmiro Costa 4118 (a la derecha).	Árbol inclinado, brotes epicórmicos.
15	<i>Melia azedarach</i> L.	Tomás de Tezanos 1197 (a la derecha).	Árbol inclinado, brotes epicórmicos y ramas sobre extendidas.
16	<i>Melia azedarach</i> L.	Leopardi 1573.	Brotes epicórmicos.
17	<i>Melia azedarach</i> L.	Espinosa 1560.	Cavidad en base del tronco y ramas estructurales. Brotes epicórmicos.
18	<i>Melia azedarach</i> L.	Julio César 1277 (a la izquierda).	Árbol inclinado, brotes epicórmicos y ramas secundarias secas.
19	<i>Melia azedarach</i> L.	Luis Lamas 3336 (a la izquierda).	Árbol inclinado, corteza dañada, pequeñas cavidades y ramas secundarias secas.
20	<i>Melia azedarach</i> L.	Asamblea 4177 Bis.	Hueco en la base del tronco, con cavidades y cancro.
21	<i>Melia azedarach</i> L.	Buxareo 1256 esq. Luis Lamas.	Árbol inclinado.
22	<i>Melia azedarach</i> L.	Luis Alberto de Herrera casi Alberto Lasplaces en la acera de Facultad de Veterinaria.	Ramas secundarias secas y sobre extendidas.
23	<i>Melia azedarach</i> L.	Fco. Muñoz enfrente al restaurante Mandarino, esq. Manuel Pagola.	Cavidad en la base del tronco, brotes epicórmicos y pérdida de corteza.
24	<i>Melia azedarach</i> L.	Alberto Lasplaces 1653 (Predio UTE).	Árbol inclinado, ramas secas, cancro y brotes epicórmicos.
25	<i>Platanus x acerifolia</i> W.	Julio César 1372.	Rama estructural gruesa sobre extendida con sobrepeso y brotes epicórmicos.

(cont. Cuadro No. 5)

26	<i>Platanus x acerifolia</i> W.	Av. Rivera 3234 (acera de Zoo).	Rama estructural gruesa sobre extendida con sobrepeso, presencia de corteza incluida y brotes epicórmicos.
27	<i>Platanus x acerifolia</i> W.	Luis Alberto de Herrera (esq. Plácido Ellauri, enfrente a la bocacalle, sobre parada de taxi).	Rama estructural gruesa sobre extendida y presencia de brotes epicórmicos.
28	<i>Platanus x acerifolia</i> W.	Av. Rivera 3517.	Copa asimétrica, brotes epicórmicos.
29	<i>Platanus x acerifolia</i> W.	Av. Rivera 3558 (Escuela técnica de Buceo). A la izquierda.	Rama secundaria gruesa sobre extendida.
30	<i>Platanus x acerifolia</i> W.	Av. Rivera 3636 (a la derecha).	Rama secundaria gruesa sobre extendida.
31	<i>Platanus x acerifolia</i> W.	Julio César Esq. Chivitos la Mole.	Árbol inclinado, hueco, cavidad en el tronco, brotes epicórmicos.
32	<i>Platanus x acerifolia</i> W.	Av. Rivera 3280.	Ramas estructurales gruesas sobre extendidas con sobre peso y cavidad de gran tamaño.
33	<i>Platanus x acerifolia</i> W.	Luis Alberto Herrera 1501.	Pocas ramas secundarias finas secas.
34	<i>Platanus x acerifolia</i> W.	Av. Rivera 3122.	Cavidad en tronco, brotes epicórmicos, ramas estructurales sobre extendidas, desprendimiento de corteza.
35	<i>Platanus x acerifolia</i> W.	Av. Rivera entre 3143 y 3145.	Cavidad en base de tronco, ramas secundarias sobre extendidas, brotes epicórmicos.
36	<i>Platanus x acerifolia</i> W.	Av. Rivera esq. Dolores Pereira de Rosell.	Raíces expuestas y ramas secundarias secas.

3.4. ELECCIÓN DE LOS MÉTODOS

De los métodos para evaluar el riesgo en árboles urbanos disponibles, se utilizaron tres, uno de cada tipo de metodología, cuantitativo, cualitativo y semicuantitativo, de manera que los resultados provinieron de métodos con marcadas diferencias.

El primer método seleccionado fue el QTRA (Quantified Tree Risk Assessment), método cuantitativo, que propone a la probabilidad de riesgo a partir de las variables: diana, tamaño y probabilidad de colapso. Se utiliza una calculadora ad hoc o una aplicación informática (ambas diseñadas para el método), donde se incorporan los tres valores obtenidos y se obtiene como resultado el índice de riesgo (Calaza e Iglesias, 2016). La puntuación corresponde al inverso del decimal y se denomina RoH – Risk of Harm, o traducido al español como Riesgo de Daño (Ellison, 2005), cuyo rango va desde la probabilidad de 1:1 hasta $>1:1.000.000$.

El segundo método utilizado fue el THREATS (Tree Hazard: Risk Evaluation and Treatment System), que corresponde a un método semi-cuantitativo, cuya puntuación total del riesgo se consigue multiplicando la puntuación de falla, la puntuación del blanco y la puntuación del impacto. El rango de resultados posibles varía entre 0 y 20.000. Este rango de valores aparece clasificado en 7 categorías de amenaza: 1 insignificante, 2 mínimo, 3 leve, 4 moderado, 5 significativo, 6 grave y 7 extremo (Forbes-Laird, 2010).

El tercer y último método fue el BMP (Best Management Practices) Tree Risk Assessment, un método cualitativo que clasifica el riesgo utilizando matrices de decisión. La primera es la llamada matriz de probabilidad que relaciona la probabilidad de falla y la probabilidad de impacto. La segunda es la matriz de clasificación del riesgo, que relaciona el resultado de la primera matriz (probabilidad de falla e impacto) con el daño potencial (consecuencia de la falla). La calificación final se estructura en cuatro categorías de riesgo: bajo, moderado, alto y extremo (Dunster et al., 2017).

3.5. PROCEDIMIENTO DE LA EVALUACIÓN

3.5.1. Fase pre evaluativa

En esta fase se llevaron a cabo una serie de actividades previas a la tarea de evaluación propiamente dicha, que tuvieron como objetivo organizar el trabajo de campo, con el fin de hacerlo más eficiente. Primeramente, se realizó una selección visual de los 36 árboles a ser evaluados, que estuvo a cargo de

un técnico especializado, con elevado conocimiento del riesgo en arbolado urbano, quien además se basó en los parámetros e indicadores de riesgo que consideran los métodos de evaluación utilizados en este trabajo.

Una vez seleccionados los individuos a evaluar, se procedió a su georreferenciación en un mapa (Anexo No. 7). Cada individuo fue identificado manualmente mediante tinta spray, para que en el momento de la evaluación se facilitara su localización. También en esta etapa se cargaron a una plataforma “online” los formularios de los métodos seleccionados para el trabajo.

Es importante destacar que los evaluadores contaban con 2 horas de capacitación teórica de nivelación sobre los métodos, y un entrenamiento práctico en 32 árboles.

3.5.2. Fase evaluativa

Cada individuo fue medido, haciendo uso de los siguientes instrumentos: medidor láser (marca Ingco modelo HLDD0401. Rango de 0.2 a 40 metros.), dendrómetro de Blume Leiss (instrumento que mide altura basado en principio trigonométrico.), cinta métrica (“...es una cinta ordinaria que da directamente circunferencia” Sorrentino, 2010), planilla de registro “online”, binoculares y martillo de goma. Una vez allí, se tomó la altura del árbol utilizando dendrómetro de Blume-Leiss, proyección de copa N-S y E-O utilizando medidor láser, diámetro a la altura del pecho (DAP) mediante cinta métrica y además se golpeó el tronco con el martillo, con el fin de identificar posibles oquedades no visibles externamente en el tronco o ramas y detectar zonas de corteza perdida. Todos los datos obtenidos por los procedimientos anteriormente mencionados fueron registrados en una planilla. Luego se evaluó cada individuo, haciendo uso de los formularios de cada uno de los métodos seleccionados. Los formularios completos traducidos al español se encuentran en Anexos No.3, No.4 y No.5.

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para ordenar los resultados obtenidos de las evaluaciones, los datos de cada método fueron descargados en formato .xls y las planillas fueron ordenadas en Microsoft Office Excel 2010, para su posterior procesamiento en el software estadístico.

Los métodos de evaluación utilizados presentan particularidades con relación a la manera de proporcionar el índice final de riesgo, resultando en escalas de tipo cualitativo diferentes, o valoraciones cuantitativas como en el

caso del método QTRA. Es por esa razón que, al momento de analizar los datos obtenidos, y a modo de poder comparar los resultados, se estandarizaron para cada uno de los tres métodos de evaluación, convirtiéndolos en puntuaciones del riesgo con variación entre 0 y 100% (Reyes, 2015).

3.6.1. Estandarización

La estandarización utilizada en este trabajo fue desarrollada por la estudiante de doctorado, MSc. Ing. For. Ana Paula Coelho y por esto designada como índice APC. Este modo de estandarizar asigna un porcentaje preestablecido a cada nivel de riesgo, para cada método, de acuerdo con la importancia relativa que cada método asigna a sus niveles de riesgo.

La clasificación del riesgo de cada método es formada por tres factores – probabilidad de falla, probabilidad de impacto y consecuencia – pero cada método tiene una particularidad en la combinación de ellos, es decir, la probabilidad de alcanzar determinada clasificación del riesgo es distinta. Para desarrollar los índices a usar en este trabajo, para cada método y de forma separada fueron cuantificadas todas las combinaciones posibles de estos tres factores, sumándose las combinaciones equivalentes para cada clasificación del riesgo. Así, teniendo en cuenta el número total de combinaciones, cada clasificación recibió un porcentaje.

Por ejemplo, en el método BMP existen 64 posibles combinaciones entre los tres factores; de este total, 49 combinaciones resultan en la clasificación del riesgo “bajo”, 9 “moderado”, 5 “alto” y solamente 1 combinación resulta en “extremo”. Así, los porcentajes serían 76,6%, 14,1%, 7,8% y 1,6% respectivamente, considerados como la importancia relativa de cada clasificación. Los índices por utilizar fueron definidos por la mediana de cada clasificación del riesgo, posicionando cada una de ellas en el rango de 0 a 100%, como se observa en la Figura No. 2.

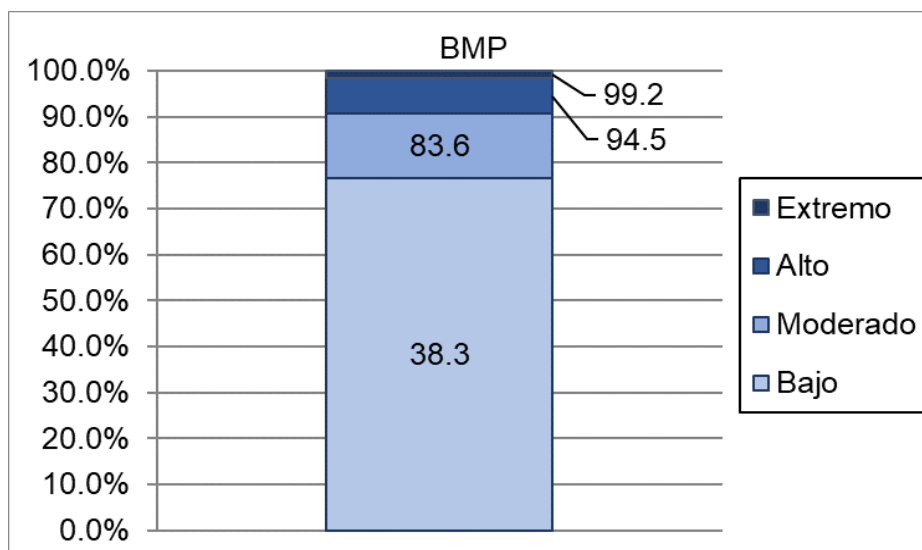


Figura No. 2. Estandarización del método BMP según índice APC

En el Cuadro No.6 se presentan los índices estandarizados utilizados para cada método.

Cuadro No. 6. Estandarización de los métodos según índice APC

Método	Clasificación del riesgo	Índice estandarizado (%)
BMP	Bajo	38,3
	Moderado	83,6
	Alto	94,5
	Extremo	99,2
THREATS	1	21,3
	2	49,2
	3	62,1
	4	73,8
	5	83,3
	6	89,2
	7	95,4

(cont. Cuadro No. 6)

QTRA	Ampliamente aceptable (bajo)	29,0
	Tolerable (moderado)	69,8
	Inaceptable/tolerable (alto)	85,5
	Inaceptable (extremo)	94,8

Fuente: Coelho¹

3.7. PRUEBA DE NORMALIDAD

Con los resultados de las evaluaciones estandarizados se comprobó si los datos cumplían con los principios de una distribución normal, a fin de efectuar un análisis paramétrico. Dichos principios se basan en dos supuestos:

- **Supuesto de normalidad:** estadístico W de Shapiro-Wilk ($\alpha = 0,05$).

Hipótesis

H_0 : los residuos si provienen de una distribución normal

H_a : los residuos no provienen de una distribución normal

Si el estadístico W es mayor al valor crítico proporcionado por la tabla elaborada por los autores para el tamaño muestral y el nivel de significación dado, se acepta la hipótesis nula.

- **Supuesto de homocedasticidad:** Prueba Levene's ($\alpha = 0,05$).

Hipótesis

H_0 : $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$

H_a : al menos una varianza difiere

Si el valor-p del test fuera mayor a 0,05 entonces se acepta la hipótesis nula y se cumple el supuesto de homocedasticidad.

¹ Coelho, A. P. s.f. Propuesta de nuevos métodos para la evaluación de riesgo de los árboles urbanos ajustados para Montevideo (en prensa).

De cumplir con los supuestos de normalidad y homocedasticidad, se debe realizar un análisis de varianza multifactorial (ANAVA). Como dichos supuestos no se cumplieron, se procedió a realizar el análisis no paramétrico.

3.8. ANÁLISIS NO PARAMÉTRICO

En el análisis no paramétrico se usó el contraste de rangos alineados “ART”, ya que permite observar la interacción entre factores, a diferencia del método Kruskal-Wallis, que habitualmente es utilizado en estadística no paramétrica, pero que tiene varias limitantes, entre ellas se encuentra la ya nombrada, así como el impedimento para manejar medidas repetidas y analizar múltiples factores.

El programa utilizado para el contraste de rangos alineados fue ARTool, desarrollado en la Universidad de Washington (EEUU). ART (Aligned Rank Transform) transforma los datos en rangos numéricos pre-alineados, a partir de los cuales se realizó el Análisis de Varianza Multifactorial (ANAVA), mediante el uso del programa Statgraphics Centurion XVII. El ART se usa en circunstancias similares a las aplicables para un estudio paramétrico ANAVA, con la diferencia que las variables de respuesta pueden ser continuas u ordinales, y no se requiere que tengan una distribución normal.

ART alinea los datos para cada efecto (principal o interacción), para luego asignarles un rango. Los efectos son estimados marginalmente mediante la extracción de las variables de respuesta de a una, aislando así sus efectos individuales, de este modo, ARTool produce una columna de datos en formato *.csv, para cada efecto principal y para cada interacción, por ejemplo, para dos factores y su interacción el programa produciría tres columnas de rangos (Wobbrock et al., 2011).

3.9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el análisis de los resultados de los métodos de evaluación visual del riesgo se planteó la siguiente hipótesis,

(H_0): no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los índices de riesgo, los métodos, evaluadores y especies.

(H_a): existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los índices de riesgo, los métodos, evaluadores y especies.

Si el valor-p del test fuera mayor a 0,05 entonces se acepta la hipótesis nula.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados de las pruebas para los supuestos de normalidad y homocedasticidad mostraron que los datos no cumplen con los principios de una distribución normal, ya que no se cumplió uno de dichos supuestos (Cuadros No. 7, No. 8, No. 9 y No. 10).

Cuadro No. 7. Prueba de normalidad para residuos

Prueba	Estadístico	Valor-p	
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,932	0,000	no se cumple

Cuadro No. 8. Verificación de varianza (método)

	Prueba	Valor-p	
Levene's	10,730	0,000	no se cumple

Cuadro No. 9. Verificación de varianza (evaluador)

	Prueba	Valor-p	
Levene's	0,485	0,616	se cumple

Cuadro No. 10. Verificación de varianza (especie)

	Prueba	Valor-p	
Levene's	1,522	0,219	se cumple

Al no comprobarse la normalidad, se realizó el análisis no paramétrico de los datos, del cual resultó que no hay interacción entre los factores A, B y C (Anexo No. 8). Se identificó que no existen diferencias significativas entre las especies (probabilidad= 0,666) y entre los evaluadores (probabilidad = 0,846). Para los métodos estudiados si existieron diferencias significativas (probabilidad =0.000).

4.1.1. Comparación de la clasificación del riesgo por especie y por evaluador

Se muestra en el Cuadro No. 11 y Figura No. 3 que todas las especies pertenecieron al mismo grupo homogéneo, ya que no hubo diferencias significativas entre ellas.

Cuadro No. 11. Pruebas de múltiples rangos para ART por especie

Especie	Casos	Media	Grupos homogéneos
Platanus	108	158,231	A
Melia	108	160,222	A
Fraxinus	108	169,046	A

(Prueba Tukey con un 95% de confianza).

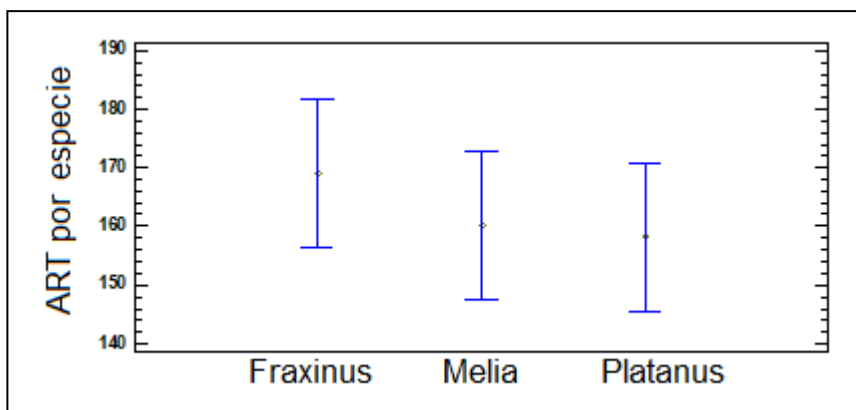


Figura No. 3. Pruebas de múltiples rangos para ART por especie

Lo mismo sucedió en el caso de los evaluadores (Cuadro No.12 y Figura No. 4).

Es importante destacar que, en este caso, los evaluadores tenían el mismo nivel técnico, ya que en estudios previos de carácter similar sí se encontraron diferencias, Norris (2010), Koeser (2017), pero se deberían realizar investigaciones más avanzadas para asegurar la existencia de diferencias significativas entre distintos niveles de evaluadores.

Cuadro No. 12. Pruebas de múltiples rangos para ART por evaluador

Evaluador	Casos	Media	Grupos homogéneos
1	108	158,444	A
2	108	163,379	A
3	108	165,675	A

(Prueba Tukey con un 95% de confianza)

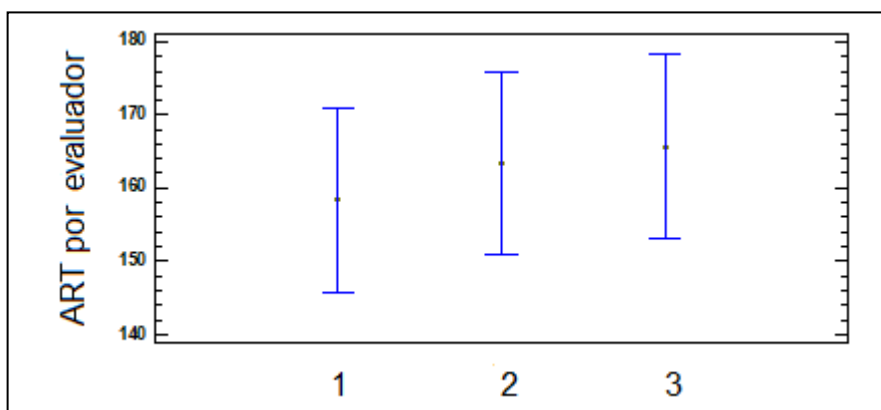


Figura No. 4. Pruebas de múltiples rangos para ART por evaluador

El hecho de que no hubo diferencias significativas entre evaluadores y especies permitiría que los métodos puedan ser aplicados por distintos evaluadores en distintas especies. De otro modo debería existir un método para cada caso en particular, lo que sería inviable para determinar el riesgo del árbol en la ciudad.

4.1.2. Comparación de la clasificación del riesgo por método

Entre los métodos aplicados se observó diferencias significativas, formando en este caso tres grupos distintos (Cuadro No.13 y Figura No.5), siendo el QTRA el que presentó los valores más bajos y el BMP los más altos.

Cuadro No. 13. Pruebas de múltiples rangos para ART por método

Método	Casos	Media	Grupos homogéneos
Qtra	108	127,898	A
Threats	108	162,629	B
BMP	108	196,972	C

(prueba Tukey con un 95% de confianza)

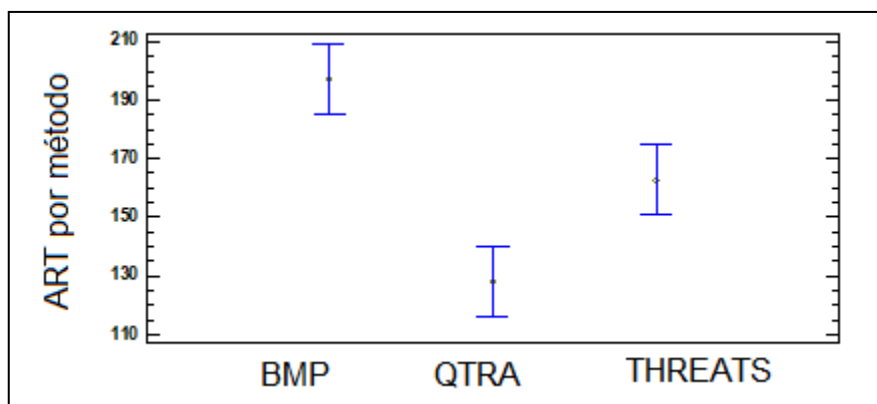


Figura No. 5. Pruebas de múltiples rangos para ART por método

La Figura No.6 indica el porcentaje de los árboles evaluados, por los tres investigadores, que se encontraron en cada categoría de riesgo para cada uno de los métodos.

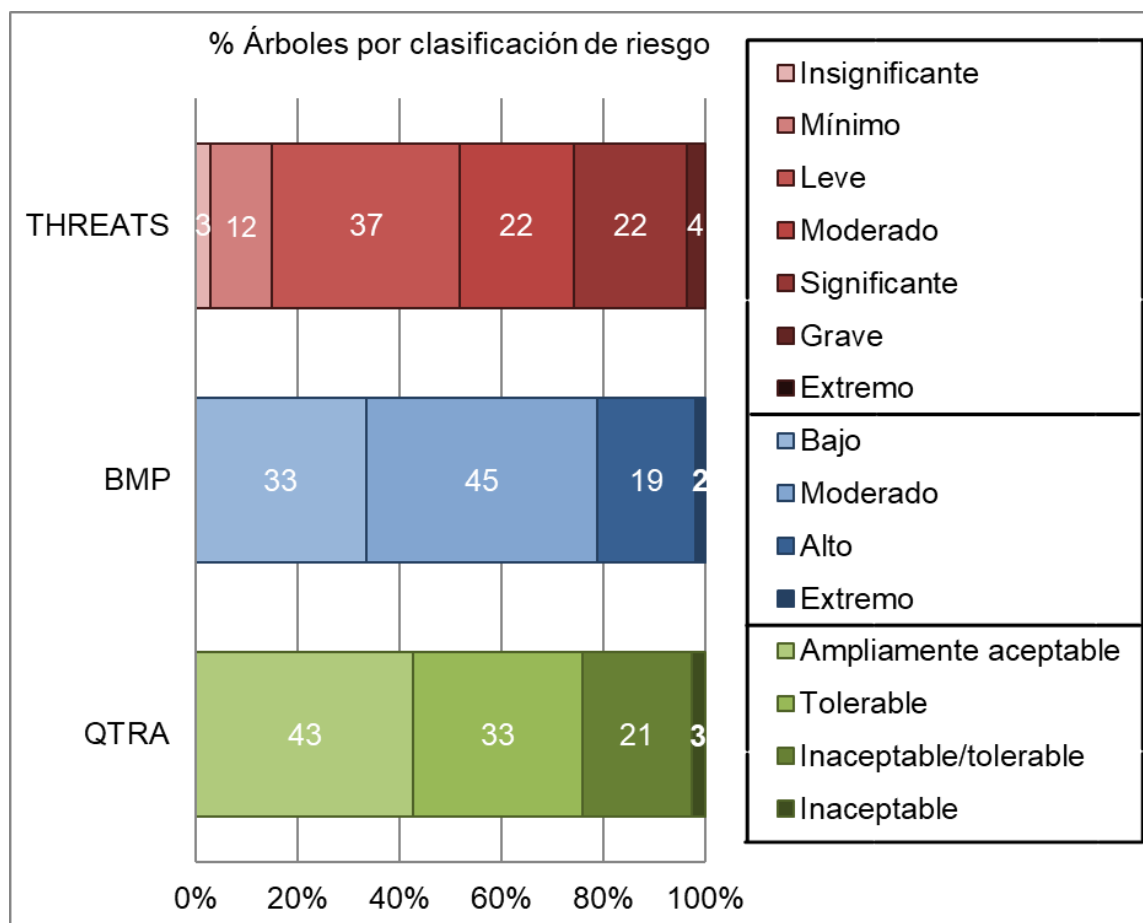


Figura No. 6. Porcentaje de árboles por clasificación de riesgos

Como puede ser observado en la Figura No. 6, los resultados del QTRA concentraron el 76% de los árboles evaluados en las categorías “ampliamente aceptable” y “tolerable”. De los tres factores que componen el análisis del riesgo, la probabilidad de colapso tuvo fuerte influencia en este resultado, ya que la amplia mayoría de los valores asignados a dicho componente se encontraron en los rangos de menor probabilidad (4, 5 y 6), por lo que el resultado del riesgo se clasificó en categorías intermedias a bajas. En estos rangos enumerados de 1 a 7, el método prevé que se use el valor de probabilidad de colapso 4 (intermedio) cuando el evaluador tiene dudas durante

la evaluación del árbol, lo que puede deberse a la falta de una guía para utilizar en la identificación de posibles problemas en el árbol.

El método BMP consta de 4 categorías, con la diferencia que es posible evaluar varios escenarios de riesgo y para cada uno llegar a una clasificación final. Para este trabajo la evaluación final siempre se hizo en referencia al peor riesgo clasificado, lo que podría explicar que sólo el 33% de los resultados se observaron en la categoría “bajo” (Figura No. 6). Lo anterior puede estar relacionado a que el evaluador tiende a valorar la probabilidad de falla como “posible” y no como “improbable”, ya que la categoría “improbable”, según lo descrito en el método (Dunster et al., 2017), se asigna en los casos en que no es probable que el árbol falle bajo condiciones normales de clima o puede que no falle bajo condiciones extremas de clima, es decir, el árbol no presenta o presenta mínimos defectos, lo que para los árboles de calles estudiados no suele ser frecuente. Esto también podría explicar que los resultados acumulen un 45% en la categoría “moderado”. La estandarización también contribuyó a la explicación de los mayores valores de riesgo para este método, ya que el índice estandarizado para “moderado” fue 83,6%, mientras que para los métodos THREATS y QTRA fue 73,8% y 69,8%, respectivamente.

Por otra parte, THREATS posee siete categorías, tres más que los otros métodos, de manera que para QTRA y BMP el número de árboles queda agrupado de forma más compacta, y en este caso queda más repartido en los distintos niveles. La excepción fue para la categoría “extremo”, donde no se obtuvo árboles con esta clasificación. En la categoría “insignificante” se evaluó un 3% de los árboles, implicando haber valorado como “0” la probabilidad de falla (ningún defecto aparente) o puntuación del blanco (ningún blanco), lo cual no suele suceder para los árboles ubicados en las aceras. Lo que se puede inferir de dicho resultado es que las categorías “insignificante”, “mínimo” y “leve” hacen referencia a un nivel de riesgo bajo, totalizando el 52% de los árboles evaluados en estas categorías.

A continuación, se presenta un análisis comparativo de los métodos, con el objetivo de sugerir uno de ellos para su uso en el arbolado urbano de Montevideo.

El primer análisis realizado fue respecto al acceso al método, tal como se mencionó en el Cuadro No. 3, el único que es 100% de libre acceso (gratuito), no necesita de una certificación previa y se encuentra disponible “online” es el THREATS.

Por otro lado, se pensó en la facilidad y tiempo de aplicación de cada evaluación, el BMP resultó ser el más complejo debido a que requiere completar un formulario muy exhaustivo, lo que determina que el tiempo asignado para este método ronde los 20-25 minutos (Koeser et al., 2013). Al no contar con bibliografía sobre el tiempo de aplicación de los métodos restantes, se promedió el tiempo que le llevó a los tres evaluadores la aplicación de estos en esta investigación (Cuadro No. 14).

Cuadro No. 14. Tiempo promedio de aplicación de los métodos estudiados

Método	Tiempo de aplicación* (minutos)
QTRA	5-10
THREATS	10-15
BMP	15-20

*Período de tiempo estimado para el empleo de cada método, teniendo en cuenta que previamente los mismos evaluadores habían participado de un entrenamiento práctico.

De lo expuesto anteriormente se desprende que el método QTRA es el de mayor rapidez de aplicación, explicado por su formulario muy escueto en comparación con los demás métodos.

Respecto al nivel de complejidad al momento de la aplicación, teniendo en cuenta el nivel de conocimiento requerido para utilizar cada método, se ordenaron los mismos en nivel decreciente resultando el BMP el menos sencillo, seguido por el THREATS y el QTRA en último lugar.

Los métodos aportan distintos niveles de información, siendo el más completo el BMP, ya que cuenta con un análisis de los defectos en profundidad. Norris (2010) establece que un riesgo residual post-tratamiento debería ser definido y evaluado y de los métodos utilizados en este trabajo, el único que requiere de la designación de un riesgo residual es el BMP. Al momento de recomendar el manejo, el método THREATS es el único que presenta un listado de tratamientos, así como estipula un plazo para su realización y reevaluación. Norris (2010) señala que los rasgos cualitativos de este método implican el uso de algunos títulos ambiguos, esto quiere decir que la palabra utilizada para definir algunos niveles de riesgo no es fácilmente interpretada sin leer dicha definición, implicando que el tratamiento sugerido por el método no sea el realmente necesario en el caso de haberse interpretado incorrectamente algún término. En este trabajo no fue analizada la relación entre el resultado obtenido y el tratamiento recomendado, pero no hubo dificultad de interpretación como

comenta Norris (2010), ya que los títulos de las opciones de probabilidades de falla, de impacto y de consecuencia están conformemente aclarados y la clasificación final del riesgo es calculada de forma automática.

Por su parte, el método QTRA aporta pocos detalles durante la evaluación, lo que podría dificultar el manejo posterior del riesgo, característica posiblemente consecuente del carácter cuantitativo del método. Sin embargo, es el único que trata y discute un nivel de riesgo aceptable o tolerable de acuerdo con el criterio ALARP (por su sigla en inglés: tan bajo como sea razonablemente factible), que incluye la consideración del costo que el riesgo representa (costo/beneficio, Norris, 2010). La Figura No. 7 resume la cantidad de árboles esperada en cada categoría de riesgo, el nivel de manejo requerido y el "límite" o la zona ALARP. El valor 1:10.000 indicado en la figura se corresponde con el límite de aceptación del riesgo para el método QTRA, es decir, árboles con valores mayores a 1:10.000 deben ser mitigados, independientemente del costo.

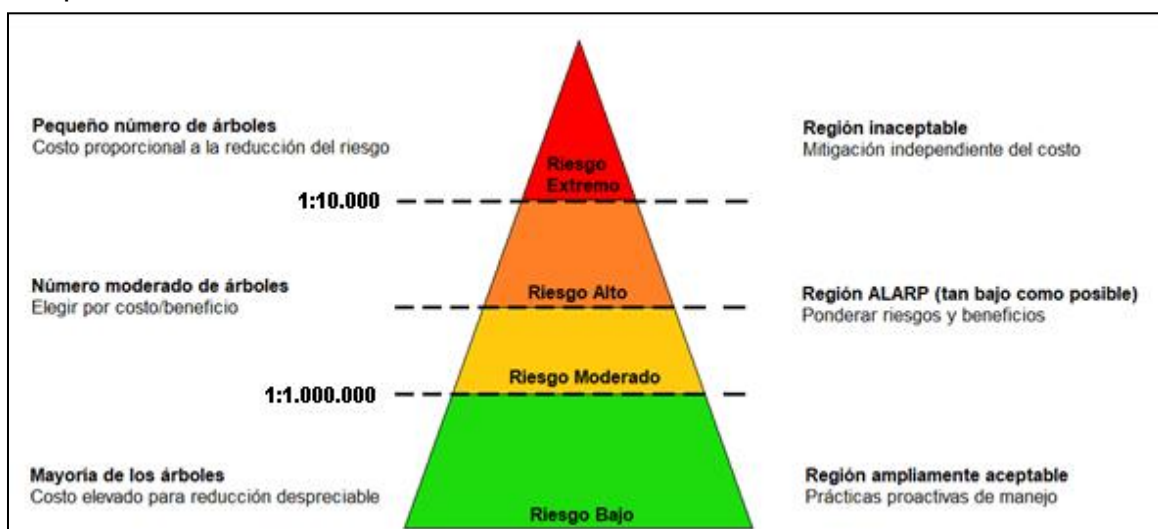


Figura No. 7. Gestión de tolerancia de árboles en riesgo

Fuente: adaptado y traducido al español de Natural Path Urban Forestry Consultants (2016).

En referencia a las ventajas y desventajas que podrían tener los distintos tipos de métodos (cualitativo, semicuantitativo y cuantitativo), lo primero a mencionar es la limitante que representa la incertidumbre de las evaluaciones para los métodos de carácter cuantitativo, lo que deriva en una limitada precisión en la mayoría de los casos, aun cuando este tipo de método es el que ofrece una metodología más controlada (Norris, 2010). Según el

mismo autor, otro factor que siempre limita el uso de métodos cuantitativos es la gran variación que tienen los elementos de carácter de naturaleza biológica (especies e interacciones, de las cuales se carece de información). El método QTRA intenta cuantificar los componentes del riesgo, pero la carencia de información sólida sobre el comportamiento de los árboles y su interacción con el entorno resultó en valores subjetivos al momento de la evaluación. Sumado a esto, el método depende de un entrenamiento sólido, ya que la evaluación de la probabilidad de falla es subjetiva, a través de comparación entre individuos muy sanos y estructuralmente equilibrados, e individuos con graves problemas de sanidad y estructurales. Si bien el énfasis del método es la probabilidad de impacto, los valores de probabilidad de falla también son parte del cálculo de los resultados.

Norris (2010) establece que los métodos de carácter puramente cualitativo, como el BMP, tienen como limitantes a los descriptores que utilizan términos subjetivos para clasificar el riesgo existente. Lo anterior se alinea con la experiencia adquirida en este trabajo, ya que el formulario no incorpora las definiciones exactas de cada descriptor al momento de su aplicación, por lo cual es dependiente de la experiencia y criterio de cada evaluador.

Por otro lado, el uso de métodos semicuantitativos con buenos descriptores permite disminuir las limitantes de las evaluaciones cualitativas y tienen el potencial para obtener una evaluación bien estructurada en ambientes urbanos (Buchanan et al., citados por Norris, 2010).

El THREATS cumple, según lo experimentado, con importantes características que lo hacen ajustable a la realidad de Montevideo. Presenta una lista de verificación clara, que permite al evaluador estandarizar su diagnóstico; las definiciones de las opciones en cada etapa de análisis son claras y ejemplificadas y pueden ser ajustables a ejemplos locales. No presentó diferencias entre evaluadores ni especies, lo que valida su robustez y repetibilidad; es un método simple, siendo suficiente un entrenamiento básico, más relacionado a los indicadores de riesgo presentes en la lista de verificación, dado que el método de por sí es didáctico. Sumado a esto, es un método que es aplicable a grandes poblaciones, propone tratamientos y establece plazos de acción para el manejo recomendado.

5. CONCLUSIONES

Los resultados demostraron que al aplicar tres métodos de evaluación del riesgo - QTRA, BMP y THREATS -, a través de tres evaluadores, en tres especies diferentes, evaluando 12 ejemplares dentro de cada especie, no se constatan diferencias significativas entre evaluadores ni especies. Esto posibilitaría su aplicación por distintos evaluadores, con nivel de capacitación similar, y en distintas especies.

Se encontraron diferencias significativas entre métodos, siendo el BMP el que presentó las mayores calificaciones de riesgo, seguido por THREATS y QTRA.

Se determinó que el método QTRA es el de mayor rapidez, debido a su formulario escueto, además de ser el más sencillo, seguido por el método THREATS y por último con mayor dificultad el BMP.

Considerando los niveles de información que requieren los métodos, el más completo es el BMP, que cuenta con un análisis de los defectos en profundidad, y es el único que requiere identificar el riesgo residual.

Respecto a las recomendaciones de gestión en el arbolado, el método THREATS es el único que presenta un listado de tratamientos, además de un plazo para su realización y reevaluación.

Por lo anterior es posible sugerir, para la gestión del arbolado de Montevideo, el método THREATS dada su mayor adaptabilidad. Sin embargo, es recomendable desarrollar o ajustar un método particular para el arbolado de la ciudad, el cual se adapte a otras variables y necesidades presentes.

Se sugiere realizar evaluaciones en más zonas de Montevideo, con más y distintos niveles de evaluadores, que permita establecer una metodología de evaluación del riesgo adecuada, complementando la evaluación visual con investigaciones adicionales en aquellos árboles clasificados como de mayor riesgo durante las evaluaciones realizadas en este trabajo.

6. RESUMEN

La evaluación realizada en el presente trabajo fue llevada a cabo en diciembre de 2018, en la ciudad de Montevideo, Uruguay. En la misma se aplicaron tres métodos de evaluación del riesgo en 36 árboles, 12 de cada género, *Platanus*, *Fraxinus* y *Melia*, las evaluaciones fueron realizadas por tres evaluadores. Los métodos seleccionados fueron el QTRA (Quantified Tree Risk Assessment), método cuantitativo; el THREATS (Tree Hazard: Risk Evaluation and Treatment System), método semi-cuantitativo; y el BMP (Best Management Practices) Tree risk Assessment, un método cualitativo. Los datos obtenidos de las evaluaciones de cada método fueron procesados en el software estadístico. Al momento de analizar los datos obtenidos, y a modo de poder comparar los resultados, estos se estandarizaron convirtiéndolos en puntuaciones del riesgo con variación entre 0 y 100%. La estandarización utilizada fue la APC (Ana Paula Coelho). Con los resultados estandarizados se pasó a comprobar si los datos cumplían con los principios de una distribución normal, supuestos de normalidad y homocedasticidad, dichos supuestos no se cumplieron, por lo que se procedió a realizar el análisis no paramétrico. El programa utilizado fue el llamado ARTool (Aligned Rank Transform), este transforma los datos en rangos numéricos pre-alineados, a partir de los cuales se realizó el análisis de varianza multifactorial (ANAVA). Los resultados obtenidos mediante este análisis indican que para los métodos se observa la existencia de diferencias significativas, en cambio queda demostrado que para las especies y evaluadores no hay diferencias. Los métodos fueron comparados por los autores de este trabajo mediante el contraste de su facilidad, tiempo de aplicación, información requerida para realizar la evaluación, profundidad de análisis, recomendaciones para la gestión y acceso a los mismos, concluyendo que el THREATS es el más adecuado para la ciudad de Montevideo. Sin embargo, es recomendable desarrollar un método particular para el arbolado de la ciudad, que se adapte a las necesidades y variables presentes. A partir de esta investigación se sugiere realizar evaluaciones en más zonas de Montevideo, con distintos niveles de evaluadores y aplicando investigación adicional sólo en caso de ser necesario. Así como también, evaluar diferencias entre evaluadores, pero para ello se debe aumentar el número de estos.

Palabras clave: Arbolado urbano; Riesgo; Métodos de evaluación; QTRA; THREATS; BMP.

7. SUMMARY

The investigation introduced in this work was carried out in December 2018, in the city of Montevideo, Uruguay. The same three methods of risk assessment were applied in 36 trees, 12 of each genus: *Platanus*, *Fraxinus* and *Melia*. The evaluations were carried out by three evaluators. The methods selected for this evaluation were: QTRA (Quantified Tree Risk Assessment), a quantitative method; THREATS (Tree Hazard: Risk Evaluation and Treatment System), a semi-quantitative method; and BMP (Best Management Practices) Tree risk Assessment, a qualitative method. The data obtained from the totality of the evaluations was processed in the statistical software. At the moment of analyzing the data, and in order to compare the results, these were standardized, converting them into risk scores with variation between 0 and 100%. The standardization method used was named APC (Ana Paula Coelho). With the standardized results, it was checked whether the data complied with the principles of a normal distribution, assumptions of normality and homoscedasticity were tested; these assumptions were not fulfilled, so the non-parametric analysis was carried out. The program used was the so-called ARTool (Aligned Rank Transform), which transforms the data into pre-aligned numerical ranges, from which the multifactor analysis of variance (ANAVA) was performed. The results obtained through this analysis indicate that for the methods the existence of significant differences is observed, this was not the case for the species and evaluators, which did not present such differences. The methods were compared by the authors of this work by contrasting their ease, time of application, information required to perform the evaluation, depth of analysis, recommendations for management, and their accessibility, concluding that THREATS is an adequate method for the city of Montevideo. However, is advised to develop a particular method for the city which better adapts to the present necessities and variable conditions. Based on this research, it is suggested to carry out evaluations in more areas of Montevideo, with different levels of evaluators and applying additional research only if necessary; as well as evaluating differences between evaluators by increasing their number.

Key words: Urban trees; Risk; Evaluation methods; QTRA; THREATS; BMP.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Anderson, L. M.; Cordell, H. K .1988. Influence of trees on residential property values in Athens, Georgia (U.S.A.): a survey based on actual sales prices. *Landscape and Urban Planning*. 15 (1–2): 153-164.
2. Bossi, J.; Caggiano, R.; Ortiz, A.; Olivera, C. 2011. Manual didáctico de geología para estudiantes de agronomía. Montevideo, Udelar. 158 p.
3. Calaza, P. 2007. Revisión bibliográfica y análisis comparativo de métodos de evaluación de riesgo de arbolado urbano: caso particular, La Coruña. Tesis doctoral. Santiago de Compostela, España. Universidad de Santiago de Compostela. 698 p.
4. _____.; Iglesias, M. I. 2016. El riesgo del arbolado urbano: contexto, concepto y evaluación. Madrid, Mundi-Prensa. 526 p.
5. Comerci, R. 2010. Catálogo de plagas y enfermedades del arbolado urbano: descripción, control y tratamientos. Buenos Aires, Orientación Gráfica. 164 p.
6. Dunster, J. A. 2017. Tree risk assessment: manual. 2nd.ed. Chicago, Illinois, ISA. 194 p.
7. Ellison, M. J. 2005. Quantified Tree Risk Assessment used in the management of amenity trees. *Journal of Arboriculture*. 31 (2): 57-65.
8. Forbes-Laird Arboricultural Consultancy, UK. 2010. Tree Hazard: Risk Evaluation and Treatment System: a method for identifying, recording and managing hazards from trees. Bedford, United Kingdom, Dendron House. s.p.
9. Heisler, G. M. 1986. Energy savings with trees. *Journal of Arboriculture*. 12(5): 113-125.
10. IM (Intendencia de Montevideo, UY). 2006. Plan de saneamiento urbano etapa IV -PSU IV. Montevideo. 282 p.
11. _____. 2010. De las velocidades máximas. Montevideo. v.5, s.p.

12. INUMET (Instituto Uruguayo de Meteorología). s.f. Climatología de la primavera en Uruguay 1981-2010. Montevideo. 14 p.
13. _____. s.f. Climatología del invierno (junio-julio-agosto) en Uruguay 1981-2010. Montevideo. 17 p.
14. _____. s.f. Climatología del otoño (marzo-abril-mayo) en Uruguay 1981-2010. Montevideo. 18 p.
15. _____. s.f. Climatología del verano (dic.-ene.-feb.) en Uruguay 1981-2010. Montevideo. 14 p.
16. Kane, B. 2008. Tree failure following a windstorm in Brewster, Massachusetts, USA. *Urban Forestry & Urban Greening*. 7: 15-23.
17. Koeser, A. K.; Hasing, G.; McLean, D.; Northrop, R. 2013. A Comparison of Three Common Evaluation Forms. UF. IFAS Extension. ENH1226. 8 p.
18. _____.; Hauer, R. J.; Miesbauer, J. W.; Klein, R. W. 2017a. Assessment of likelihood of failure using limited visual, basic, and advanced assessment techniques. *Urban Forestry&Urban Greening*. 24: 71-79.
19. _____.; Smiley, E. T. 2017b. Impact of assessor on tree risk assessment ratings and prescribed mitigation measures. *Urban Forestry & Urban Greening*. 24: 109-115.
20. Lahitte, H. B.; Hurrell, J. A.; Valla, J. J.; Jankowski, J. J.; Bazzano, D.; Hernández, A. J. 1999. *Biota Rioplatense IV: árboles urbanos*. Buenos Aires, L.O.L.A. 320 p.
21. Matheny, N.; Clark, J. 1993. A photographic guide to the evaluation of hazard trees in urban areas. 2nd. ed. Pleasanton, HortScience. 95 p.
22. Miller, R. W.; Hauer, R. J.; Werner Les, P. 1998. *Urban forestry: planning and managing urban greenspaces*. 3rd. ed. Chicago, Illinois, Waveland. 502 p.

23. Natural Path Urban Forestry Consultants, US. 2016. Cuadro de gestión de tolerancia de árboles en riesgo. Chicago, Illinois. 1 p.
24. Norris, M. B. 2010. A Review of Methods Used to Undertake Risk Assessments of Urban Trees. Master of Horticulture. Melbourne, Australia, The University of Melbourne. School of Resource Management. Institute of Land & Food Resources. 400 p.
25. Nowak, D. J.; Dwyer, J.; Childs, G. 1998. Los beneficios y costos del enverdecimiento urbano. (en línea). In: Seminario Internacional sobre Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe (1996, Ciudad de México). Áreas verdes urbanas en Latinoamérica y el Caribe. México, Universidad de Chapingo. pp. 17-32. Consultado mar. 2019 Disponible en <https://publications.iadb.org/es/publicacion/15813/areas-verdes-urbanas-en-latinoamerica-y-el-caribe>
26. Poder Judicial, UY. Sentencia definitiva Margarita Alcalde. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado mar. 2019. Disponible en <http://bjn.poderjudicial.gub.uy/BJNPUBLICA/hojaInsumo2.seam?cid=327344>
27. PL (Poder Legislativo, UY). 1967. Constitución de la República Oriental del Uruguay: artículo No. 24. Montevideo. s.p.
28. _____. 2010. Código civil: artículo No. 1324. (en línea). Montevideo. s.p. Disponible en <https://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/es/uy/uy029es.pdf>
29. RAE (Real Academia Española, ES). 2019. Diccionario de la lengua española. (en línea). Madrid. s.p. Consultado mar. 2019. Disponible en <https://dle.rae.es/?id=SOF763p>
30. Reyes, J. 2015. Aplicación y comprobación de 4 métodos de evaluación visual del riesgo en arbolado urbano. Ingeniero forestal. Talca, Chile, Universidad de Talca. 86 p.
31. Ricaldoni, J. A. s.f. Estudio sobre los vientos en el Uruguay. In: Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural (20as.), Simposio Panamericano de Estructuras (6º., 1979, Córdoba, Argentina). Resúmenes. s.n.t. pp. 1-17.

32. Smiley, T. E.; Matheny, E.; Lilly, S. 2011. Best Management Practices: tree risk assessment. Chicago, Illinois, Martín Graphics. 81 p.
33. Sorrentino, A. 2010. Manual teórico-práctico: técnicas e instrumentos de medición forestal. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 98 p.
34. Wallis, G.; Morrison, D.; Ross, D. 1980. Tree hazards in recreation sites in Columbia: management guidelines. (en línea). Canadian Forestry Service. Joint Report no.13. 52 p. Consultado mar. 2019. Disponible en <http://cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/3263.pdf>
35. Wobbrock, J.; Findlater, L.; Gergle, D.; Higgins, J. 2011. The aligned rank Transform for nonparametric factorial analyses using only anova procedures. (en línea). Vancouver, Canada, s.e. pp. 143-146. Consultado mar. 2019. Disponible en <http://faculty.washington.edu/wobbrock/pubs/chi-11.06.pdf>

9. ANEXOS

Anexo No.1. Responsabilidad legal

El 30 de enero de 2012 ocurrió un accidente en Arocena y Dr. Eduardo J. Couture en el barrio Carrasco. Un árbol de la especie *Eucalyptus globulus*, de más de 80 años, cayó sobre un auto en el cual se encontraban Margarita Alcalde y sus hijos Tomás y Agustina, lo que desencadenó en el fallecimiento de la afectada, al tiempo que Tomás sufrió lesiones a nivel craneano.

A raíz de lo ocurrido, la familia acciona reclamando la indemnización de los perjuicios materiales y morales padecidos en consecuencia de lo ocurrido.

El poder judicial le imputa responsabilidad del hecho a la Intendencia de Montevideo (IM) en el marco del artículo 24 de la Constitución de la República y 1324 del Código Civil por la ausencia de los debidos controles y de políticas de prevención sobre el ornato público. El daño ocurrido era previsible y podría haberse evitado; fue consecuencia de una omisión en el cuidado, control y conservación del árbol.

Según el informe de la Ing. Agr. Romero; Ing. Agr. Lázaro, este árbol cae debido a una pérdida de anclaje por secamiento del suelo.

Y además acota Ing. Agr. Picún e Ing. Romero, que sólo se hizo una evaluación del riesgo visual, la cual no fue suficiente. A lo que el director de áreas verdes declara que no se contaba con la presencia de un tomógrafo en la propia IM, el cual podría haber detectado el hongo del género *Ganoderma* causante de la podredumbre de raíz, pero cabe destacar que ya se encontraba el mismo en empresas privadas del país.

Por lo que el Estado resolvió, en cuanto al daño emergente discriminar en costos por el valor del vehículo siniestrado menos los restos. Como daño futuro aumentar la remuneración por servicio doméstico por un incremento en el horario de la empleada, y tratamiento psiquiátrico y psicológico para los niños. Y como lucro cesante admitió el 50% de tres salarios mínimos nacionales (al momento del siniestro); el mismo se les brindará hasta que los hijos lleguen a los 21 años.

Anexo No.2. Lista plagas y enfermedades

Fresno americano
Nombre común: abejitas sacabocado Nombre científico: <i>Megachile sp.</i> Orden: Himenóptera Familia: Megaquilidae Árboles afectados: acacia blanca, nogal, fresno, acacia bolla, sófora. Características: son abejas pequeñas que construyen sus nidos con forma de cartucho y cortan las hojas en forma circular. Son de escasa importancia. Control químico: sólo en casos extremos, un insecticida sistémico. Ubicación: La Pampa, Buenos Aires, Córdoba, San Luis, Mendoza, San Juan. Observación: las plantas aisladas, a pleno sol, son las más atacadas.
Fresno europeo
Nombre común: cochinilla del fresno Nombre científico: <i>Pseudaulacaspis pentagona (Targioni)</i> Orden: Hemiptera Familia: Diaspididae Árboles afectados: acer negundo, broussonetia, fresno americano, palta, mora negra y blanca, ombú, ciruelo de jardín, paraíso, catalpa, nogal criollo, sauce llorón, tala y ligustro. Características: es conocida como cochinilla del duraznero, es una especie introducida y considerada polifitófaga. Ciclo biológico: se conocen de dos a cuatro generaciones anuales, según zonas del país. Control: pulverizaciones invernales. Daños: producen disminución de crecimiento. Ubicación: La Pampa, Buenos Aires, Córdoba.
Nombre común: mosca blanca del fresno Nombre científico: <i>Siphoninus phillyreae</i> Orden: Hemiptera Familia: Aleyrodidae Árboles afectados: fresno europeo y fresno americano. Características: este insecto, el adulto mide aproximadamente 2mm, vive agrupado en colonias, principalmente en la parte inferior de las hojas del fresno, su tamaño es similar al de un pulgón pequeño, con alas blancas. Daños: por su característica de succionar jugos vegetales, estos insectos pueden llegar a producir la defoliación del árbol. También produce un ennegrecimiento de la hoja, generado por hongos, denominado comúnmente fumagina, que puede impedir la fotosíntesis. Su presencia puede favorecer el desarrollo de otras plagas como la cochinilla y los ácaros.

Control químico: se utilizan Tau-fluvalinate, Mercaptotion y Dimetoato. Ubicación: Buenos Aires, La Pampa, Córdoba, Mendoza, San Juan y Catamarca.
Nombre común: chinche del fresno Nombre científico: <i>Brachynotocoris parvicornis</i> (Reuter) Orden: Hemiptera Familia: Miridae Árboles afectados: fresno europeo. Características: su aparición es muy reciente, se trata de una pequeña chinche de 3 milímetros de largo, de color verde. Daños: primero causa clorosis en las hojas del árbol, con la posterior aparición de fumagina. Control químico: pueden aplicarse insecticidas Carbaril o Dimetoato desde mediados de septiembre a fines de febrero (<i>Siphoninus phillyreae</i>). Ubicación: Mendoza, San Juan y Chile.
Nombre común: chicharra o cigarra Nombre científico: <i>Tettigades sarcinatrix</i> (Torres) Orden: Hemiptera Familia: Cicadidae Árboles afectados: coihue, nogal fresno, acer pseudoplatanus, sequoia gigantea. Características: tanto ninfas como adultos se alimentan de savia, su coloración es en general grisácea. Daños: los árboles se ven debilitados por la acción de estos picosuctores, pero se observan daños mayores en las plantas jóvenes. Control: aplicar un insecticida sistémico solo en caso necesario. Ubicación: Neuquén y Río Negro. Observación: poco importante.

Paraíso
Nombre común: taladro del paraíso Nombre científico: <i>Diploschema rotundicolle</i> (Serville) Orden: Coleoptera Familia: Cerambycidae Árboles afectados: paraíso, eucalipto. y cedro misionero. Características: las larvas producen largas galerías de 2 a 3 metros de longitud, estado en el cual viven por aproximadamente 6 meses, produce un orificio de 13 milímetros de diámetro y luego de 70 días de estado pupal, emergen los adultos, a través de canales de tipo horizontal.

Daños: caída de aserrín, gomosis en ramas y troncos y secado de ramas. Control: resulta difícil pero para casos de plantas que tengan valor especial, se puede aplicar preventivamente algún insecticida sistémico. Ubicación: Buenos Aires, La Pampa, Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos, Corrientes y Misiones. Observaciones: evitar producir heridas con la poda, que puedan facilitar el ingreso del taladro.
Nombre común: taladro Nombre científico: <i>Praxithea derourei</i> (Chabril) Orden: Coleóptera Familia: Cerambycidae Árboles afectados: ataca frutales, paraíso, robles, abedul, castaño, álamos y ciruelos de jardín. Características: adulto de color castaño- rojizo, de 20 a 30 mm de largo, por 6 a 7 mm de ancho, ovipone en las yemas vegetativas. Al nacer, las larvas penetran la madera y se trasladan de las ramas hacia el tronco, esto produce un secado gradual del árbol, pudiendo observarse caída de aserrín. Su ciclo biológico es de aproximadamente un año. Daños: debilita el árbol, produce secado parcial, e incluso puede llegar a provocar su caída. Ubicación: Buenos Aires, La Pampa, Córdoba, Mendoza, San Luis, Santa Fe, Entre Ríos, Corrientes, Salta, Tucumán y Santiago del Estero.
Nombre común: cochinilla roja del paraíso Nombre científico: <i>Aonidiella aurantii</i> (Maskell) Orden: Hemíptera Familia: Diaspididae Árboles afectados: pezuña de vaca, palo borracho, roble sedoso, ligustro, paraíso, olivo, mora, palmera Phoenix y alcanfor. Características: conocida con el nombre de cochinilla roja australiana, es considerada polifitófaga, ataca preferentemente árboles cítricos, tiene tres generaciones anuales y posee un escudo protector que dificulta su combate mediante pulverizaciones. Daños: al agruparse en colonias sobre ramas, producen su secado, disminuyen el crecimiento, etc. Control químico: pulverizaciones en invierno y primavera. Control manual: dada la dificultad que presentan las pulverizaciones, pueden ser aprovechadas las podas de limpieza (extracción de ramas finas), para eliminar las ramas más cargadas con cochinillas y destruirlas con fuego. Ubicación: Buenos Aires, La Pampa, Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos, Corrientes y Misiones.
Nombre común: tuberculosis del paraíso Nombre científico: <i>Agrobacterium tumefaciens</i>

Tipo de organismo: bacteria
 Árboles afectados: paraíso
 Características: se presenta sobre corteza del cuello del árbol, formando agallas.
 Control: medidas preventivas; 1) evitar heridas, 2) erradicar las plantas atacadas.
 Ubicación: Buenos Aires, La Pampa y San Luis.

Plátano

Nombre común: taladrillo del álamo
 Nombre científico: *Megaplatypus mutatus*
 Orden: Coleóptera
 Familia: Platypodidae
 Árboles afectados: álamo híbrido, álamo plateado, sauce, olmo, paraíso, fresno, plátano, roble europeo, mimbre, sauce tortuoso, acacia de constantinopla, *Eucalyptus viminalis*, *Eucalyptus rostrata*, frutales (ciruelo, almendro, etc.).
 Características: pequeño coleóptero, de color negro brillante, con largo aproximado de 8 a 10 milímetros, los adultos se ubican en árboles, con preferencia de la familia de las Salicáceas y producen perforaciones a distintas alturas del tronco. En general, eligen árboles de no menos de 30 cm de diámetro y la altura máxima de 5 metros. Luego se acoplan y producen galerías, donde depositan los huevos, estos eclosionan y las larvas comienzan a perforar la madera hasta llegar al estado de pupa, donde posteriormente al emerger, el adulto saldrá afuera del árbol recomenzando el ciclo biológico. Los adultos aparecen en septiembre-octubre hasta fines de marzo.
 Daños: realiza excavaciones por el interior del tronco, deteriorando la calidad de la madera y reduciendo la vida útil del árbol. Ataca plantas totalmente verdes.
 Ubicación: Buenos Aires, La Pampa, Córdoba, Entre Ríos, Santa Fe, San Luis, Salta, Jujuy, Tucumán, Mendoza, San Juan, Misiones, Neuquén, y Río Negro, Uruguay.
 Control químico: han sido probados cantidad de productos químicos, con escaso resultado. Por el momento, solo funciona, la técnica de aplicar pulverizaciones preventivas a base de Polisulfuro de calcio.
 Control manual: consiste en tapar las aberturas de ingreso del insecto con palitos puestos a presión, como forma de impedir la salida de los mismos. También se puede colocar envases o frascos en las bocas del nido, con el fin de que se colecten los insectos al salir y así poder evitar su difusión.
 Actualmente se busca controlarlos a nivel científico con el uso de feromonas.

Nombre común: oídio del plátano Nombre científico: <i>Microsphaera</i> Tipo de organismo: hongo Árboles afectados: plátano (<i>Platanus acerifolia</i>) Características: se observa una erupción de color blanquecino, que son fructificaciones del hongo. Daños: en las hojas atacadas se produce clorosis, y posterior defoliación que se da como resultado de la caída anticipada de las hojas. Control químico: usar productos químicos a base de oxiclورو de cobre. Ubicación: Buenos Aires.
--

Fuente: tomado de Comerci (2010).

Anexo No.3. BMP (Best Management Practices)

Introducción

Este método, titulado “Mejores prácticas de manejo: evaluación del riesgo en árboles” (BMP, por su sigla en inglés), fue elaborado por la Sociedad Internacional de Arboricultura (ISA), y es, como lo expresa su nombre, una guía que pretende asistir a los profesionales (o técnicos preparados para su uso) en la interpretación de estándares profesionales (ISO) y en la práctica laboral basada en la ciencia y tecnología actual (Smiley et al., 2011).

Esta guía sirve como tal con el fin de ayudar a los arboristas a evaluar el riesgo de los árboles de la manera más acertada y consistente posible, y así lograr una recomendación de medidas de manejo adecuadas para lograr un nivel de riesgo aceptable. Es importante que los asesores “reconozcan el valor de preservar los árboles y la importancia de evitar tratamientos innecesarios”.

Algunas consideraciones importantes

Siempre debe ser aceptado un nivel de riesgo si se quiere contar con los beneficios que aportan los árboles, es por esta razón que en la elaboración del BMP se tomaron como base los cinco principios básicos del manejo del arbolado de la NTSG (National Tree Safety Group), los mismos establecen que:

- Los árboles aportan beneficios a la sociedad
- Los árboles son organismos vivos, y como tales pierden ramas o se caen naturalmente

- El riesgo para la seguridad humana es extremadamente bajo
- Los dueños de los árboles tienen la responsabilidad legal de cuidarlos
- Los dueños de los árboles deben tener un acercamiento balanceado y proporcionado al manejo de la seguridad

La metodología aplicada por BMP está basada en el uso de matrices de carácter cualitativo, la guía tiene un extenso contenido de definiciones básicas para su uso y comprensión, entre las cuales describe tres niveles de evaluación del riesgo:

- Nivel 1: visual limitado
- Nivel 2: básico
- Nivel 3: avanzado

Estos niveles van en sentido creciente de complejidad, profundidad de inspección, costo, consumo de tiempo, nivel de conocimientos que demandan y resultados que se obtienen con su aplicación.

Al momento de planear la evaluación se plantean una serie de pasos a seguir:

1. Identificación del/los árboles o área a estudiar
2. Nivel de evaluación y detalles de la misma
3. Método de presentación del reporte (preferentemente escrito)
4. Tiempo de la inspección y fecha de entrega
5. Valoración del riesgo y mitigación del mismo

El último paso se desarrolla de manera extensa, y es el foco de esta revisión, así como los aspectos prácticos de la aplicación a campo del método, que es realizada mediante una forma (o formulario). Para esto es necesario dejar en claro los puntos básicos de su fundamento teórico, por lo cual se debe considerar que la meta principal de la evaluación del riesgo definida por el BMP es la capacidad de proveer información sobre el nivel de riesgo que presenta un árbol durante un período específico de tiempo, y con ese fin es que se determinan dos categorías, la probabilidad de falla y sus posibles consecuencias. Estas dos categorías se ven determinadas por tres factores:

1. La evaluación de las condiciones estructurales que pueden derivar en fallas, las cargas potenciales en el árbol, y las adaptaciones del árbol a sus debilidades. Esto determina la probabilidad de falla.
2. La evaluación de la probabilidad de que una falla del árbol o parte de este pueda golpear a una persona, una propiedad o causar corte de actividades.

3. La evaluación del valor de las posibles dianas y el daño potencial a las mismas, para así estimar las consecuencias de una falla.

Al contar con la evaluación de estos tres factores se puede estimar y categorizar el riesgo. Dentro de la categoría de probabilidad de falla se deben tener en cuenta un grupo de variables para lo cual la guía incluye los apéndices 2 y 3, las dianas o blancos, así como la zona que abarcan y su tasa de ocupación son desarrolladas, de la misma manera que consideraciones de sitio, y los factores que influyen en la categoría de consecuencias de falla. A modo de explicar de una forma más práctica la manera en que el BMP realiza este proceso se incluyen las imágenes de la forma que se debe completar por árbol a campo, con algunas aclaraciones.

Aplicación del método BMP

La primera parte presenta la descripción del árbol, identificación de este, identificación de las posibles dianas, las características del sitio, la descripción de la salud del árbol y el perfil de falla según la especie, así como los factores de carga. Se debe completar/marcar todo lo que corresponda, esto aplica a todo el formulario.

ISA Formulario de Evaluación Básica de Riesgo de Arbolado

Cliente: _____ Fecha: _____ Hora: _____
 Dirección/localización árbol: _____ ID. Árbol: _____ Hoja _____ de _____
 Especie de árbol: _____ Diámetro nominal: _____ Altura: _____ Proyección copa diám.: _____
 Asesor: _____ Periodo de tiempo: _____ Herramientas utilizadas: _____

Evaluación de Diana							
Nº de Diana	Descripción de Diana	Zona de Diana			Tasa de Ocupación 1.Rara 2.Ocasional 3.Frecuente 4.Constante	Es práctico mover la diana?	Es práctico restringir la zona?
		Blanco dentro de la proyección de copa	Diana dentro de 1 x altura	Diana dentro de 1.5 x altura			
1							
2							
3							
4							

Factores de la Zona									
Historial de fallos: _____					Topografía: Plano ☐ Pte. ☐ % Orientación de la pte: _____				
Cambios en la zona: Ninguno ☐ Cambio de cota del suelo ☐ Limpieza ☐ Cambio de la hidrología del suelo ☐ Cortes de raíces ☐ Descripción: _____									
Condiciones suelo: Volumen limitado ☐ Encharcado ☐ Superficial ☐ Compactado ☐ Pavimento sobre raíces ☐ % Descripción _____									
Dirección de los vientos dominantes: _____ Climatología: Vientos fuertes ☐ Hielo ☐ Nieve ☐ Lluvias fuertes ☐ Descripción _____									
Salud del árbol y perfil de la especie									
Vigor: Bajo ☐ Normal ☐ Alto ☐		Follaje: Ninguno (por estación) ☐ Ninguno (muerte) ☐ Normal _____ % Clorótico _____ % Necrótico _____ %							
Plagas y enfermedades: _____					Abiotico: _____				
Perfil de fallos por especie Ramas ☐ Tronco ☐ Raíces ☐ Descripción _____									
Factores de carga									
Exposición al viento: Protegida ☐ Parcial ☐ Total ☐ Túnel de viento ☐					Tamaño relativo de copa: Pequeño ☐ Medio ☐ Grande ☐				
Densidad copa: Escasa ☐ Normal ☐ Densa ☐ Ramas interiores: Poca ☐ Normal ☐ Densa ☐					Trepadora/Muérdago/Musgo: _____				
Cambios recientes o previstos en los factores de carga: _____									

La segunda parte consta de la descripción de los defectos y condiciones de las raíces, tronco y copa que influyen en la probabilidad de falla.

Defectos en árboles y condiciones que afectan a la probabilidad de fallo									
-- Copa y Ramas --									
Copa desequilibrada ☐	LCR	% (Porcentaje copa viva)	Grietas ☐	Daños por rayos ☐					
Ramas/ramillas muertas: ☐	% sobre total	Diámetro máximo	Codominancia ☐	Corteza incluida ☐					
Ramas rotas/colgantes: ☐	Número	Diámetro máximo	Uniones débiles ☐	Cavidades/nidos % Perímetro					
Ramas sobre extendidas: ☐			Fallos previos de ramas ☐	Ramas similares presentes ☐					
Historial de Poda:			Corteza muerta/pérdida ☐	Cáncer/agallas/nudos ☐ Albura dañada/descompuesta ☐					
Limpieza ☐	Aclareo ☐	Refaldado ☐	Cuerpos fructíferos ☐	Duramen descompuesto ☐					
Reducción ☐	Desmoche ☐	Cola de León ☐	Crecimiento de respuesta						
Cortes a ras ☐	Otros								
Principal (es) preocupación (es):									
Cargas adicionales: Ninguna ☐ Menor ☐ Moderada ☐ Significativa ☐									
Probabilidad de fallos: Improbable ☐ Posible ☐ Probable ☐ Inminente ☐									
-- Tronco --									
Corteza muerta/perdida ☐	Color /textura anormal de corteza ☐								
Troncos codominantes ☐	Corteza incluida ☐	Grietas ☐							
Albura dañada/descompuesta ☐	Cáncer/agalla/nudos ☐	Rezuman savia ☐							
Daños por rayo ☐	Duramen descompuesto ☐	Cuerpos fructíferos/setas ☐							
Cavidad/nido ☐	% Perímetro	Profundidad	Conicidad atípica ☐						
Inclinación ☐	Corregida? ☐								
Esesor de la pared residual (t)	t/R	%							
Crecimiento de respuesta									
Principal (es) preocupación (es):									
Cargas adicionales: Ninguna ☐ Menor ☐ Moderado ☐ Significativa ☐									
Probabilidad de fallos									
Improbable ☐	Posible ☐	Probable ☐	Inminente ☐						
-- Raíces y cuello radicular --									
Cuello enterrado/no visible ☐	Profundidad	Estrangulamiento ☐							
Muerta ☐	Degradado ☐	Hongos/setas ☐	Exudaciones ☐						
Cavidades ☐	% Perímetro	Profundidad de la cavidad							
Grietas ☐	Cortes/raíces dañadas ☐	Distancia al tronco							
Levantamiento del plato radicular ☐	Debilidad de suelo ☐								
Crecimiento de respuesta									
Principal (es) preocupación (es):									
Cargas adicionales: Ninguna ☐ Menor ☐ Moderado ☐ Significativa ☐									
Probabilidad de fallos									
Improbable ☐	Posible ☐	Probable ☐	Inminente ☐						

En tercer lugar, se completa la categorización del riesgo, esto implica el cumplimiento de una serie de pasos:

1. Para cada parte identificada como problemática se deben especificar las características, la diana que podría afectar (descritas en la primera parte del formulario) y la/las protecciones de esta.
2. Evaluar la probabilidad de falla de cada parte (improbable, posible, probable, inminente).
3. Evaluar la probabilidad de impacto sobre la diana (muy bajo, bajo, medio, alto)
4. Aplicar la matriz 1: falla x impacto (improbable, algo probable, probable, muy probable).
5. Evaluar la consecuencia de la falla (insignificante, menor, significativa, severa).
6. Aplicar la matriz 2: resultado de la matriz 1 x consecuencia = caracterización del riesgo (bajo, moderado, alto, extremo).

Categorización del riesgo																				
Número de problema	Parte del árbol	Consideraciones de preocupación	Tamaño de la parte	Distancia de caída a diana	Número de Diana	Protección de diana	Probabilidad												Consecuencias	Categorización del riesgo (Matriz 2)
							Fallo				Impacto				Fallo e Impacto (Matriz 1)					
							Improbable	Posible	Probable	Inminente	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Improbable	Ago probable	Probable	Muy Probable		
1																				
2																				
3																				
4																				

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

Notas, explicaciones, descripciones:

Propuestas y/o consejos



Riesgo residual

Valoración general de riesgo del árbol

Bajo

 Moderado

 Alto

 Extremo

 Prioridad de trabajo

1

 2

 3

 4

Valoración de riesgo residual

Bajo

 Moderado

 Alto

 Extremo

 Intervalo de inspección recomendada:

Datos:

Final

 Preliminar

 Necesita asesoramiento avanzado:

No

 Si

 Tipo y razón:

Limitaciones de la inspección:

Ninguna

 Visibilidad

 Accesos

 Trepadoras

 Cuello de raíz enterrado

 Descripción

Luego de llegar a un nivel de riesgo para cada problema se pasan a proponer métodos de mitigación, a los que debe asignarse un riesgo residual.

Por último, se realiza una valoración final del riesgo del árbol, se le asigna una prioridad de trabajo, un riesgo residual, un intervalo de inspección y consideraciones finales de la evaluación, culminando de este modo el procedimiento.

Anexo No.4. QTRA

Introducción

El método QTRA (Ellison, 2005), por su sigla en inglés; evaluación cuantitativa de riesgos asociados a los árboles; logra identificar y analizar el riesgo de colapso de los árboles en tres etapas claves:

1. La evaluación de la planificación territorial teniendo en cuenta la vulnerabilidad al impacto y la probabilidad de ocupación (valoración de la diana).
2. La evaluación de las consecuencias de un impacto, teniendo en cuenta el tamaño del árbol o rama en cuestión.
3. El cálculo de la probabilidad de que dicho árbol o rama colapse en la planificación territorial correspondiente.

El evaluador logra obtener un valor de riesgo de daño para un árbol a través del cálculo de los valores de estos tres componentes (diana, tamaño y probabilidad de colapso) utilizando tanto la calculadora manual como el software QTRA.

En términos generales este método presume que:

- los riesgos asociados a la caída de los árboles suelen ser muy bajos.
- Los riesgos elevados suelen darse solo en zonas con altos niveles de ocupación humana o con propiedades valiosas.
- En los casos en los que los niveles de ocupación humana y propiedad valiosa son lo suficientemente bajos, no suele ser necesario evaluar la debilidad estructural de los árboles.

Definiciones a tener en cuenta para el estudio del método

- Riesgo de daño: la información que se genera con QTRA se denomina riesgo de daño, y es una medición combinada sobre la probabilidad y las consecuencias de un colapso de los árboles tomando como referencia la pérdida de una vida humana en el transcurso de un año entrante.
- Control del riesgo: sólo se tendrán en cuenta cuando exista una relación de riesgo de 1/10000 o superior.
- Riesgos aceptables y tolerables: el plan de tolerabilidad del riesgo (TOR), es un enfoque ampliamente aceptado para establecer si los riesgos son;

inaceptables (límite superior 1/1000000, tolerables (depende de la relación costo/beneficio) o aceptables (límite inferior 1/1000).

El método QTRA

Como se mencionó anteriormente existen tres valores de entrada para luego introducirlos en la calculadora o Software y calcular el riesgo de daño

1. Evaluación de las dianas: hay seis intervalos de valor disponible.

Tabla. Dianas

Intervalo de DIANA	Propiedad (Costo de reparación o sustitución)	Humanos (no en vehículos)	Tráfico (Número al día)	Intervalos de valor (probabilidad de ocupación o fracción de 2 200 000 libras)
1	2 200 000 € – >220 000 € (£2 000 000 £ – >£200 000).	Ocupación: Constante: 2.5 horas/día Peatones y ciclistas: 720/hora – 73/hora	26000-2700 a 110 km/h 32000-3300 a 80km/h 47000-4800 a 502km/h	1/1 ->1/10
2	220000€->22000€	Ocupación: 2.4horas/día – 15min/día Peatones y ciclistas: 72/hora – 8/hora	2600-270 a 110 km/h 3200-330 a 80km/h 4700-480 a 50 km/h	1/10 -> 1/100
3	22000€-> 2200 €	Ocupación: 14 min/día – 2min/día Peatones y ciclistas: 7/hora -3/día	260-27 a 110km/h 320-33 a 80 km/h 470-48 a 50 km/h	1/100->1/1.000

4	2200€ -> 220€	Ocupación: 1 min/día – 2min /semana Peatones y ciclistas: 1/hora – 3/día	26 – 4 a 110 km/h 32-4 a 80 km/h 47 – 6 a 50 km/h	1/1.000 -> 1/10000
5	220€ -> 22 €	Ocupación: 1min/semana – 1min/mes Peatones y ciclistas: 2/día -2/semana	3-1 a 110 km/h 3-1 a 80 km/h 5-1 a 50 km/h	1/1.000 -> 10/100.000
6	22€->2€	Ocupación: < 1 min/mes – 0.5min/año Peatones y ciclistas: 1/semana – 6/año	Ninguno	1/100.000- 1/1.000.000

2. Tamaño

El método QTRA clasifica el tamaño según el diámetro del tronco y las ramas de un árbol. El tamaño de las ramas muertas se puede descontar si dichas ramas han sufrido una pérdida considerable de peso a causa del deterioro o la pérdida de ramas secundarias. Este descuento se conoce como “masa reducida” la cual refleja una reducción estimada en la masa de una rama muerta.

Tabla. Tamaño

Intervalo de tamaño	Tamaño de árbol o rama	Intervalo de probabilidad
1	> 450 mm de diámetro	1/1 ->1/2
2	260 mm de diámetro – 450 mm de diámetro	1/2 ->1/8.6
3	110 mm de diámetro -260 mm de diámetro	1/8.6-> 1/82
4	25 mm de diámetro -110 mm de diámetro	1/82 -> 1/2500

El intervalo 1 se basa en un diámetro de 600 mm.

1. Probabilidad de colapso: en la evaluación del QTRA, la probabilidad de colapso de un árbol o rama en el transcurso del año entrante se calcula y registra como un intervalo de valor (Intervalos 1-7)

Tabla. Probabilidad de colapso

Intervalo de probabilidad de colapso	Probabilidad
1	1/1->1/10
2	1/10->1/100
3	1/100->1/1.000
4	1/1.000->1/10.000
5	1/1.000->10/100.000
6	1/100.000->1/1.000.000
7	1/1.000.000->1/10.000.000

La probabilidad de que el árbol o rama caiga en el año entrante.

Como resultado se obtiene el riesgo de daño, el cual se expresa en forma de probabilidad (se redondea a una cifra significativa).

Decisiones de gestión

Es evidente el beneficio que se obtiene de reducir los riesgos asociados a la caída de los árboles, pero no lo es tanto la conciencia del costo de realizarlo. Se debe tener en cuenta:

- Si los riesgos se acercan a la relación 1/10.000: hay equilibrio directo entre costo -beneficio.
- Si los riesgos son de 1/10.000 o más, normalmente resulta adecuado implementar los controles de riesgos (posiblemente se trate de un control de riesgos con costos asociados elevados).
- Por debajo de 1/10.000 el riesgo de un árbol que aporta un beneficio promedio (presenta una gama de beneficios típicos de su especie, edad y situación) es ALARP (tan bajo como sea razonablemente viable, según su sigla en inglés).

Umbrales de riesgo informativos de QTRA

- Un riesgo de daño inferior a 1/1.000.000 es ampliamente aceptable y ya es ALARP.
- Un riesgo de daño 1/1.000 o superior es inaceptable y por norma general no se tolerará.
- Entre 1/1.000 y 1/1.000.000, el riesgo de daño se encuentra en la región tolerable de TOR y se tolerará si es ALARP.

Tabla. Umbrales de riesgo recomendatorios de QTRA

Umbrales	Descripción	Acción
1/1.000	Inaceptable: los riesgos no se tolerarán en circunstancias habituales	Controlar el riesgo
	Inaceptable (si se impone sobre terceros). Los riesgos no se tolerarán en circunstancias habituales.	Controlar el riesgo Analizar el riesgo
	Tolerable (bajo acuerdo). Los riesgos se podrán tolerar si quienes se hallan expuestos a ellos los aceptan, o si el árbol tiene un valor excepcional.	Controlar el riesgo a menos que exista un amplio acuerdo entre las partes interesadas para tolerarlo o que el árbol tenga un valor excepcional Analizar el riesgo
1/10.000	Tolerable (si se impone sobre terceros). Los riesgos son tolerables si son ALARP.	Evaluar costos y beneficios del control de riesgos Los riesgos se controlarán

		sólo si se puede lograr un beneficio considerable a un costo razonable Analizar el riesgo
1/1.000.000	Ampliamente aceptable. El riesgo ya es ALARP.	No se requiere ninguna acción en estos momentos Analizar el riesgo

Anexo No.5. THREATS

Introducción

El método THREATS, que de acuerdo a su sigla en inglés significa “Peligrosidad de los Árboles: Evaluación del Riesgo y Sistema de Manejo”, es un “método para identificar, registrar y manejar el peligro proveniente de los árboles”. Este método fue diseñado con el fin de ofrecer a aquellos que tienen la responsabilidad de evaluar y manejar árboles, un medio consistente para reconocer el riesgo que los mismos representan, y finalmente asistirlos en la determinación de una respuesta adecuada al nivel de riesgo identificado (Forbes-Laird, 2010).

El método THREATS pretende ser una herramienta versátil, amigable con el usuario por su aplicación metódica, que cuenta con una manera sencilla de recabar la información durante la evaluación y requiere un nivel de conocimiento técnico para su uso (familiaridad con los defectos, posibles fallas, etc.).

Creado en base al trabajo teórico de autoría de Lonsdale (1999), este método se construyó con la interacción de los valores obtenidos en el cálculo del riesgo y las respuestas apropiadas a los mismos, obteniendo un mapeo de 120 resultados posibles (5 x 6 x 4) que el autor agrupó en 7 categorías de amenaza, considerando ese rango como satisfactorio.

Aplicación del método THREATS

Para su uso práctico la aplicación del método requiere de una forma (planilla de trabajo) que cuenta con tres partes, cada una de ellas debe ser completada por el evaluador que está realizando la tarea.

Parte I: Registro de la inspección del árbol

Esta primera sección se subdivide en 3 categorías de evaluación:

1. Detalles de la evaluación; mezcla de trabajo de campo y de escritorio, corresponde al registro de la inspección y/o reporte de una problemática, condiciones climáticas, fecha, etc.
2. Descripción del árbol; características de edad, tamaño, ubicación, identificación, etc.

PARTE I Registro de la Inspección

1 - Detalles de la evaluación

Detalles del evaluador	
Origen, fecha y hora de la solicitud de inspección	Fecha y hora de la inspección
Condiciones de tiempo En el registro	En el momento de la inspección
Otras observaciones	

2 - Descripción del árbol

Propietario, si conocido:	
Nº del árbol, si aplicable:	Ubicación:
Especie:	Clase de edad: Joven - Media edad - Recién maduro - Maduro - Post maduro - Veterano Tamaño: Pequeño - Medio - Grande - Muy grande
Otras observaciones:	

3. Descripción de los indicadores de falla; la forma cuenta con un listado de estos (con espacio para "otros"), deben ser marcados en este registro todos los indicadores presentes y se sugiere aclarar la naturaleza de cada indicador, así como la diana de mayor vulnerabilidad en caso de falla para cada caso.

3 - Descripción de los indicadores de falla (marque el ítem para identificar la puntuación del defecto en la Parte II; siempre puntuar los defectos más peligrosos)

Ítem	Indicador	✓	Peligro	Listar detalles del defecto y del blanco
1	Exposición alterada		Árbol vulnerable a daños por viento / tormenta debido, por ejemplo, a pérdida de otros árbol cercanos	
2	Sistema radicular inestable		Árbol en riesgo inminente de caerse	
3	Daño de raíces		Árbol volcado. Considerar pérdida de salud.	
4	Decaimiento de raíces (hongos)		Árbol vulnerable a volcarse/volcarse probablemente sin aviso p	
5	Decaimiento de tronco (hongos)		Fractura del tronco causando colapso de los elemento de la copa (tenga en cuenta tipo de pudrición)	
6	Conicidad de tronco inadecuada		Riesgo de falla debido al aumento excesivo de la copa o deficiencia de D/h	
7	Cancros		Posible debilidad/falla del área afectada, especialmente si ubicada en la parte "de peligro" del tronco	
8	Exudatos		Indicación de desorden interna; si exuda de la parte inferior del tronco, ¿puede ser infección por Armillaria?	
9	Tronco hueco, con decaimiento, agrietado incluso con grietas de		Fractura/pandeo del tronco, causando colapso de la copa. Tenga en cuenta valor t:r	
10	Desmoche		Crecimiento de brotes epicórmicos y posiblemente con uniones débiles; decaimiento posible en las uniones	
11	Sobrepeso, hundimiento o cola de león		Falla de la rama debido a un exceso de masa sobre la resistencia o a sobrecarga en las extremidades	
12	Apiñamiento de la corteza		Pandeo de fibra en el área de inclinación/hundimiento indicando posible colapso próximo	
13	Crecimiento reactivo		El miembro falla si la reparación (crecimiento reactivo) no tiene éxito en la estabilización del defecto	
14	Corteza incluida		La horquilla falla haciendo con que la rama se caiga	
15	Ramas fracturadas; daño de tormentas		Ramas rotas / colgadas pueden caerse; copa desestabilizada: probabilidad de fallas adicionales	
16	Necrosis de la corteza		La muerte del cambium causa disfunción del xilema: el área afectada muere, se descompone y falla	
17	Muerte regresiva; Follaje pobre		Las áreas muertas se vuelven inseguras. Varía causas bióticas y abióticas; ¿raíces dañadas?	
18	Madera muerta		Ramas se caen	
19	Proliferación de hiedras		Posible oscurecimiento de defectos	
20	Otro (especificar)			

Parte II: La evaluación del riesgo

Dividida en cuatro sub-partes, esta segunda sección de la forma recorre la puntuación de los tres factores del riesgo que componen el cálculo de este en este método, hasta la obtención de la valoración del riesgo.

4. Puntuación de falla; debe seleccionarse, en base a un criterio de consideración de falla, una de las cinco opciones que la forma establece como "probabilidad de falla", a cada una de éstas corresponde un puntaje. En casos donde la condición relativa al criterio de falla no ha sido establecida, el asesor deberá inclinarse por la precaución (sin exageraciones). La probabilidad de falla más comúnmente aplicada es "probable/previsible", y está designada a una falla estimada para el período de los próximos 2 a 3 años.

5. Puntuación del blanco; las dianas se dividen en dos grupos: estáticas, y según su ocupación, se valoran en seis categorías, y la correspondiente en cada caso se debe definir según su ocupación o uso en caso de ser estáticas. A cada categoría la acompaña un puntaje.

6. Puntuación del impacto; la forma establece cuatro niveles de daño y consecuencias, las mismas dependen del tamaño de la parte vulnerable a fallar (puede ser todo el árbol) y la naturaleza del daño que podría causar en

caso de fallar (grado de heridas a individuos y/o daños materiales). A estos niveles de daño también se adjunta su puntaje.

7. Puntuación total del riesgo; se debe efectuar del siguiente modo: puntuación de falla x puntuación del blanco x puntuación del impacto, utilizando los puntajes correspondientes a la categoría seleccionada anteriormente para cada caso. De este modo el método transforma todo lo considerado en la evaluación en un valor numérico que permite un mejor análisis.

PARTE II Puntuación de la Evaluación del Riesgo

4 - Puntuación de la Falla

Punt.	Probabilidad de Falla	Ejemplo de indicadores
50	Inminente/inmediato	Desarraigo; Pérdida extrema de raíz; Estructura colapsante (es decir, falla primaria ya ha ocurrido)
8	Probable/Pronto	Exposición alterada; Hongo de descomposición primaria; Corteza incluida severa/pérdida de raíz; madera muerta frágil
2	Probable, previsible	Desmoches; sobrepeso/hundimiento de ramas; pobre conicidad de tronco; muerte regresiva
0.8	Potencialmente con el tiempo	Desarrollo tempor de corteza incluida; madera muerta robusta
0	Ningún aparente	Ningún defecto significativo observado

5 - Puntuación del Blanco

Punt.	Valor	Ejemplo de blancos estáticos	Ejemplos de tasa de ocupación
40	Muy alto	Construcción de 24 horas de uso	Tráfico vehicular constante/patio de recreo concurrido
25	Alto	Construcción de 12 horas de uso, líneas eléctricas > 11Kv	Tráfico vehicular frecuente/uso peatonal constante
20	Medio	Construcción/estructura de uso ocasional, líneas eléctricas < 11Kv	Tráfico com horarios de pico/uso intermitente, poca visibilidad hacia adelante, p.j. carrera (sendero) de cercanía
15	Bajo	Garaje, casa de verano, muros patrimoniales;	Tráfico ocasional/uso esporádico, buena visibilidad hacia adelante, p.j. camino rural tranquilo
7	Muy bajo	Muros no patrimoniales, pavimento, objetos de jardines	Accesos usados com poca frecuencia, vía pública, acera
0	Ningún	Césped	Acceso casi nunca usado, p.j. sendero remoto

6 - Puntuación del Impacto

Puntuación	Ejemplos de grado de peligro y consecuencias	Agente: árboles, mm, o ramas, kg
10	Daño estructural severo, vehículos aplastados - fatalidad de pasajeros muy probable.	Muy grande, >750mm, >500kg
6	Daño estructural moderado/daño vehicular severo, lesión fatal/incapacitante probables.	Grande, 350-750mm, 50-500 kg
4	Daño estructural menor/probable incapacitación/lesión de hospitalización a peatones.	Medio, 100-350mm, 10-50kg
1	Objetos frágiles destruidos/lesión superficial/recuperable a peatones.	Pequeño, <100mm, <10kg

7 - Puntuación Total del Riesgo

Puntuación de Falla _____ x Puntuación del Blanco _____ x Puntuación del Impacto _____ = _____
--

Parte III: Implementando medidas de control

La última parte de la forma contempla los derivados del resultado de la sección anterior, separándolos en dos sub-partes.

8. Respuesta apropiada; es aquí donde aparecen las ya nombradas siete categorías de amenaza (objetivo final del método, riesgo cuantificado) con sus respuestas apropiadas, cada una de estas comprende un rango numérico y para seleccionar la adecuada simplemente se debe ubicar el resultado de la totalidad del riesgo en la escala.

9. Esquema del trabajo requerido; presenta ocho opciones, algunas relacionadas a las dianas y otras de carácter arboricultural, su selección es a criterio del evaluador.

PARTE III

8 - Respuesta Apropia

Rango de Puntuación	Categoría de Amenaza	Acción recomendada & plazo	Código
4000+	7 - Extremo	Evacuar/prevenir el acceso al sitio, llamadas de emergencia a los contratistas	E
2001-3999	6 - Grave	Cerrar el sitio si es práctico; organizar para que el trabajo se realice dentro de 7 días	7D
1000-2000	5 - Significante	Organizar para que el trabajo sea realizado dentro de un máximo de cuatro semanas	4W
330-999	4 - Moderado	Remediación dentro de 13 semanas, reinspeccionar después de eventos climáticos (incluso vendaval a Fuerza 7+)	13W
160-329	3 - Leve	Reinspeccione anualmente/después de las tormentas (Fuerza 10+), espere programar el trabajo dentro de 2 años	A
50-159	2 - Mínimo	Reinspeccionar dentro de 3 años si es acceso público, programe el trabajo según sea necesario	3Y
0-49	1 - Insignificante	Reinspeccionar dentro de 5 años si es acceso público general o 3 años si es acceso específico para niños & PT ≥20	3/5Y

9 - Esquema del trabajo requerido

Medida de Control	Ejemplos	Observaciones
Manejo del blanco	Valor del blanco/vulnerabilidad reducida por exclusión, desviación o reubicación. P.j. cercar y advertir, desviar senderos, reubicar bancos	
Investigación adicional	Mapeo de decaimiento para establecer la importancia del defecto: establecer los resultados para los	
Instalar soporte	Cableado no invasivo para soporte de ramas vulnerables/uniones que se dividen	
Poda localizada	Reducir peso en la ramas vulnerables (incluso acortar ramas muertas para conservarlas)	
Remoción de ramas	Podar vegetación muerta/dañada/vulnerable	
Poda general	Reducir la copa a cantidad especificada	
Remoción de copa	Dejar el tronco como una carcasa en pie (considerar apilar la leña, preferencialmente bajo semi sombra)	
Remoción del árbol	Talar el árbol (considerar apilar la leña y triturar el tocón como medida de reducción de enfermedades)	

Anexo No.6. Escenario de evaluación del riesgo para cada árbol

Árbol No.1. <i>Fraxinus pennsylvanica</i>	
Dirección: Tomás de Tezanos sobre Arturo Prat.	
Altura: 8,8 m, DAP: 53,4 cm, Proyección de copa: 6,5 m.	
Escenario de falla: árbol con presencia de brotes epicórmicos y algunas ramas secundarias secas y sobre extendidas.	
Escenario de diana: el árbol se encuentra sobre calle con flujo vehicular medio, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h, con ramas que se extienden por encima del cableado de luz.	
Escenario de consecuencia: daño grave al cableado de luz y a vehículos en circulación, con baja probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.2. <i>Fraxinus excelsior</i>	
Dirección: Buxareo 1339	
Altura: 11,3 m, DAP: 41,3 cm, Proyección de copa: 6,9 m.	
Escenario de falla: árbol con presencia de brotes epicórmicos y rama secundaria sobre extendida.	
Escenario de diana: árbol en calle con flujo vehicular medio a bajo, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h.	
Escenario de consecuencia: daño medio a vehículos en circulación con baja probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.3. <i>Fraxinus pennsylvanica</i>	
Dirección: Pedro Bustamante 1202	
Altura: 12,1 m, DAP: 74,8 cm, Proyección de copa: 10,3 m.	
Escenario de falla: árbol inclinado, presenta brotes epicórmicos y ramas secundarias secas.	
Escenario de diana: árbol localizado en calle donde estacionan y circulan vehículos con flujo medio, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h.	
Escenario de consecuencia: daño grave a personas y a vehículos estacionados o en circulación con baja a media probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.4. <i>Fraxinus pennsylvanica</i>	
Dirección: Luis Lamas 3360 (a la derecha)	
Altura: 9,5 m, DAP: 40,7 cm, Proyección de copa: 4,2 m.	
Escenario de falla: árbol con baja conicidad y muerte regresiva de ramas.	
Escenario de diana: árbol sobre calle donde estacionan y circulan vehículos con flujo medio, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h.	
Escenario de consecuencia: grave daño sobre vehículos estacionados o en circulación con moderada probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.5. <i>Fraxinus pennsylvanica</i>	
Dirección: Buxareo 1287	
Altura: 12,27 m, DAP: 39,1 cm, Proyección de copa: 10,1 m.	
Escenario de falla: árbol con posible podredumbre de raíz, y presencia de ramas secundarias sobre extendidas y secas.	
Escenario de diana: árbol sobre calle donde estacionan y circulan vehículos con flujo medio, la máxima velocidad permitida es de 45km/h.	
Escenario de consecuencia: daño grave en vehículos estacionados o en circulación con baja probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.6. <i>Fraxinus pennsylvanica</i>	  
Dirección: Ramos 4125 (a la izquierda)	
Altura: 16,5 m, DAP: 62 cm, Proyección de copa: 9,3 m.	
Escenario de falla: árbol con gran presencia de brotes epicórmicos y dos cavidades de tamaño menor en base del tronco.	
Escenario de diana: árbol al lado de dos viviendas, sobre calle con flujo vehicular bajo, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h, con ramas extendidas por encima del cableado de luz.	
Escenario de consecuencia: daño grave a viviendas y cableado de luz con moderada probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.7. <i>Fraxinus pennsylvanica</i>	
Dirección: Marco Bruto 1408 (a la izquierda)	
Altura: 9,7 m, DAP: 37,2 cm, Proyección de copa: 8,6 m.	
Escenario de falla: árbol con presencia de corteza incluida en horquilla, en la misma tiene su origen una rama secundaria sobre extendida.	
Escenario de diana: el árbol se encuentra sobre calle con flujo vehicular medio, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h y una de sus ramas se extiende por encima del cableado de luz.	
Escenario de consecuencia: daño grave a vehículos estacionados o en circulación y cableado de luz, con probabilidad media a alta de ocurrencia.	

Árbol No.8. <i>Fraxinus pennsylvanica</i>	
Dirección: Manuel Pagola 3007	
Altura: 9,8 + 9,8 m, DAP: 25,4 + 34 cm, Proyección de copa: 6,9 m.	
Escenario de falla: árbol con dos troncos, que salen desde horquilla con corteza incluida. Presencia de brotes epicórmicos, algunas ramas secundarias secas y una rota.	
Escenario de diana: el árbol se encuentra sobre calle donde estacionan y circulan vehículos con flujo bajo, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h.	
Escenario de consecuencia: grave daño a vehículos estacionados o en circulación con moderada a alta probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.9. <i>Fraxinus pennsylvanica</i>	
Dirección: Manuel Pagola 3067-3069 bis	
Altura: 12,4 m, DAP: 40,1 cm, Proyección de copa: 10,9 m.	
Escenario de falla: árbol presenta plato radicular levantado, ramas secundarias secas y sobre extendidas	
Escenario de diana: el árbol se encuentra sobre calle con flujo vehicular medio, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h.	
Escenario de consecuencia: leve daño a vehículos estacionados o en circulación con moderada probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.10. <i>Fraxinus excelsior</i>	
Dirección: Horacio 3304 esq. Dolores Pereira de Rosell.	
Altura: 10,9 m, DAP: 43,2 cm, Proyección de copa: 9 m.	
Escenario de falla: árbol hueco, inclinado, con cavidad en la base del tronco y ramas secundarias sobre extendidas.	
Escenario de diana: el árbol se encuentra muy próximo a una vivienda, sobre calle con flujo vehicular medio, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h.	
Escenario de consecuencia: daños de gravedad sobre la vivienda y sobre los vehículos en circulación con muy alta probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.11. <i>Fraxinus pennsylvanica</i>	
Dirección: Ramón Anador 3523	
Altura: 6,8 m, DAP: 30,2 cm, Proyección de copa: 8,2 m.	
Escenario de falla: árbol con cavidad de importancia en tronco, desprendimiento de corteza, ramas secundarias sobre extendidas y secas.	
Escenario de diana: árbol sobre calle con flujo vehicular medio a alto, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h, con presencia de cableado eléctrico debajo de la copa.	
Escenario de consecuencia: daño de gravedad sobre cableado eléctrico, al igual que vehículos en circulación, con probabilidad de ocurrencia media a alta.	

Árbol No.12. <i>Fraxinus pennsylvanica</i>	
Dirección: Ramón Anador 3541	
Altura: 10 m, DAP: 34,6 cm, Proyección de copa: 7 m.	
Escenario de falla: árbol con presencia de ramas estructurales y secundarias muertas y sobre extendidas.	
Escenario de diana: árbol sobre calle con flujo vehicular medio a alto, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h con presencia de cableado eléctrico debajo de la copa.	
Escenario de consecuencia: daño medio sobre cableado eléctrico, al igual que vehículos en circulación, con probabilidad de ocurrencia media.	

Árbol No.13. Melia azedarach	  
Dirección: Pedro Bustamante 1187 (a la izquierda)	
Altura: 21,8 m, DAP: 61,4cm, Proyección de copa: 8,3 m.	
Escenario de falla: árbol inclinado, raíz dañada, número importante de ramas secas y evidencia de fallo anterior de ramas.	
Escenario de diana: árbol sobre calle donde estacionan vehículos y circulan con flujo medio, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h.	
Escenario de consecuencia: daño medio a vehículos en circulación y estacionados con probabilidad media de ocurrencia.	

Árbol No.14. <i>Melia azedarach</i>	
Dirección: Dalmiro Costa 4118 (a la derecha)	
Altura: 10,7 m, DAP: 47,7 cm, Proyección de copa: 6,7 m.	
Escenario de falla: árbol inclinado, elevada presencia de brotes epicórmicos y algunas ramas secundarias quebradas.	
Escenario de diana: árbol sobre calle donde estacionan y circulan vehículos, con flujo bajo a medio, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h, con presencia de cableado eléctrico.	
Escenario de consecuencia: daño medio a vehículos en circulación y estacionados con baja probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.15. <i>Melia azedarach</i>	  
Dirección: Tomás de Tezanos 1197 (A la derecha)	
Altura: 22,9 m, DAP: 76,3 cm, Proyección de copa: 11,1 m.	
Escenario de falla: árbol inclinado, presencia de brotes epicórmicos y ramas secundarias sobre extendidas.	
Escenario de diana: árbol sobre calle con flujo vehicular medio, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h, con presencia de cableado eléctrico debajo de la copa.	
Escenario de consecuencia: daño medio a vehículos en circulación y estacionados con moderada probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.16. Melia azedarach	  
Dirección: Leopardi 1573	
Altura: 10,7 m, DAP: 57,6 cm, Proyección de copa: 9,5 m.	
Escenario de falla: árbol con leve presencia de brotes epicórmicos.	
Escenario de diana: árbol sobre calle con flujo vehicular bajo, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h.	
Escenario de consecuencia: leve daño a personas y vehículos en circulación o estacionados, con baja probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.17. Melia azedarach	  
Dirección: Espinosa 1560	
Altura: 16,9 m, DAP: 58,2 cm, Proyección de copa: 12,5 m.	
Escenario de falla: cavidades en ramas estructurales y base del tronco, presencia de brotes epicórmicos.	
Escenario de diana: el árbol se encuentra muy próximo a una propiedad, sobre calle con flujo vehicular bajo, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h.	
Escenario de consecuencia: daño grave en propiedad con alta probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.18. Melia azedarach	
Dirección: Julio César 1277 (A la izquierda)	
Altura: 13 m, DAP: 78,6 cm, Proyección de copa: 8,8 m.	
Escenario de falla: árbol inclinado, presencia de brotes epicórmicos, ramas secundarias secas	
Escenario de diana: árbol sobre calle con flujo vehicular bajo, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h, con presencia de cableado eléctrico debajo de la copa.	
Escenario de consecuencia: daño menor a vehículos en circulación y a cableado eléctrico con baja probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.19. Melia azedarach	  
Dirección: Luis Lamas 3336 (A la izquierda)	
Altura: 15,5 m, DAP: 79,5 cm, Proyección de copa: 10,4 m.	
Escenario de falla: árbol inclinado, con corteza dañada, pequeñas cavidades y ramas secundarias secas.	
Escenario de diana: árbol sobre calle donde estacionan y circulan vehículos con flujo bajo a medio, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h.	
Escenario de consecuencia: daño grave a vehículos estacionados y en circulación con moderada probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.20. <i>Melia azedarach</i>	  
Dirección: Asamblea 4177 bis	
Altura: 13,9 m, DAP: 70,6 cm, Proyección de copa: 10,5 m.	
Escenario de falla: árbol hueco en la base del tronco, con cavidades y cancro.	
Escenario de diana: árbol sobre calle donde estacionan y circulan vehículos con flujo bajo, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h.	
Escenario de consecuencia: daño grave a vehículos estacionados y en circulación con moderada a alta probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.21. <i>Melia azedarach</i> Dirección: Buxareo 1256 esq. Luis Lamas Altura: 13,7 m, DAP: 59,8 cm, Proyección de copa: 9,8 m. Escenario de falla: árbol inclinado, presenta daños en corteza y raíz. Escenario de diana: árbol sobre calle donde estacionan y circulan vehículos con flujo medio, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h. Escenario de consecuencia: grave daño a vehículos estacionados o en circulación con moderada probabilidad de ocurrencia.	  
---	--

Árbol No.22. <i>Melia azedarach</i>	
Dirección: Luis Alberto de Herrera casi Alberto Lasplaces en la acera de Facultad de Veterinaria.	
Altura: 8,7 m, DAP: 28,6 cm, Proyección de copa: 7,5 m.	
Escenario de falla: ramas secundarias de diámetro pequeño secas y sobre extendidas.	
Escenario de diana: árbol en vereda de Facultad de Veterinaria, sobre calle donde circulan vehículos con flujo alto, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h.	
Escenario de consecuencia: daño leve sobre peatones o vehículos en circulación, con baja probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.23. Melia azedarach	
Dirección: Fco. Muñoz enfrente al restaurante Mandarino, esq. Manuel Pagola.	
Altura: 14,5 m, DAP: 77,9 cm, Proyección de copa: 8,6 m.	
Escenario de falla: árbol presenta cavidad en la base del tronco, brotes epicórmicos y pérdida de corteza.	
Escenario de diana: árbol en puerta de restaurante, sobre calle donde estacionan y circulan vehículos con flujo medio a alto, la máxima velocidad permitida es de 45km/h.	
Escenario de consecuencia: grave daño a personas y vehículos estacionados o en circulación con baja probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.24. Melia azedarach	
Dirección: Alberto Lasplaces 1653 (acera de enfrente).	
Altura: 18,5 m, DAP: 77,9 cm, Proyección de copa: 13,8 m.	
Escenario de falla: árbol inclinado, ramas secas y con evidencia de falla, presencia de cancro y brotes epicórmicos.	
Escenario de diana: árbol sobre calle con flujo vehicular medio a alto, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h, con presencia de cableado eléctrico debajo de la copa.	
Escenario de consecuencia: grave daño a vehículos estacionados o en circulación con moderada a alta probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.25. <i>Platanus acerifolia</i>	
Dirección: Julio César 1372	
Altura: 26,1 m, DAP: 99,9 cm, Proyección de copa: 19,3 m.	
Escenario de falla: rama estructural gruesa sobre extendida con sobrepeso y brotes epicórmicos.	
Escenario de diana: árbol sobre calle con flujo vehicular medio, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h, con presencia de cableado eléctrico debajo de la copa.	
Escenario de consecuencia: grave daño a vehículos estacionados o en circulación y a cableado eléctrico, con baja a moderada probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.26. <i>Platanus acerifolia</i>	
Dirección: Av. Rivera 3234 (acera del zoológico)	
Altura: 24,5 m, DAP: 45,2 cm, Proyección de copa: 11 m.	
Escenario de falla: rama estructural gruesa sobre extendida y con sobrepeso, presencia de corteza incluida y brotes epicórmicos.	
Escenario de diana: árbol sobre calle con flujo vehicular alto, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h, con presencia de cableado eléctrico debajo de la copa.	
Escenario de consecuencia: grave daño a vehículos en circulación con probabilidad baja a media de ocurrencia.	

Árbol No.27. <i>Platanus acerifolia</i>	
Dirección: Luis Alberto de Herrera (esq. Plácido Ellauri, enfrente a la bocacalle, sobre parada de taxi)	
Altura: 17,5 m, DAP: 56 cm, Proyección de copa: 13,7 m.	
Escenario de falla: rama estructural gruesa sobre extendida y presencia de brotes epicórmicos.	
Escenario de diana: árbol localizado en parada de taxi, sobre calle con flujo vehicular alto, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h, y próximo a terraza de restaurante con mucha afluencia de público.	
Escenario de consecuencia: grave daño a personas y/o vehículos en circulación con probabilidad baja de ocurrencia.	

Árbol No.28. <i>Platanus acerifolia</i>	
Dirección: Av. Rivera 3517	
Altura: 23 m, DAP: 56,6 cm, Proyección de copa:13,7 m.	
Escenario de falla: copa asimétrica, brotes epicórmicos.	
Escenario de diana: árbol al lado de parada de ómnibus, sobre calle con flujo vehicular alto, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h, y cableado eléctrico bajo la copa.	
Escenario de consecuencia: grave daño a personas y/o vehículos en circulación, así como a cableado eléctrico, con probabilidad baja de ocurrencia.	

Árbol No.29. <i>Platanus acerifolia</i>	
Dirección: Av. Rivera 3558 (Escuela técnica de Buceo). A la Izquierda.	
Altura: 28,8 m, DAP: 107,2 cm, Proyección de copa: 20,1m.	
Escenario de falla: rama secundaria gruesa sobre extendida.	
Escenario de diana: árbol ubicado sobre acceso a UTU y con proyección de copa sobre estacionamiento del centro educativo, y calle con flujo vehicular alto, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h, y cableado eléctrico bajo la copa.	
Escenario de consecuencia: grave daño a personas y/o vehículos en circulación y estacionados en predio de UTU, así como a cableado eléctrico, con probabilidad baja de ocurrencia.	

Árbol No.30. <i>Platanus acerifolia</i>	
Dirección: Av. Rivera 3636 A la derecha.	
Altura: 18,4 m, DAP: 75,1 cm, Proyección de copa:12,4 m.	
Escenario de falla: rama secundaria gruesa sobre extendida.	
Escenario de diana: árbol ubicado en acceso a depósito de empresa, sobre calle con flujo vehicular alto, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h.	
Escenario de consecuencia: grave daño a estructura del depósito y menor a personas dentro, con probabilidad baja de ocurrencia.	

Árbol No.31. <i>Platanus acerifolia</i>	
Dirección: Julio César esq Fco. Muñoz.	
Altura: 18,2 m, DAP: 73,2 cm, Proyección de copa: 16 m.	
Escenario de falla: árbol inclinado, hueco, con cavidad de gran tamaño en el tronco, presencia de brotes epicórmicos.	
Escenario de diana: árbol ubicado en entrada a restaurante, sobre calle con flujo vehicular alto, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h, al lado de semáforo.	
Escenario de consecuencia: grave daño a estructura de restaurante, así como a personas y vehículos en circulación y semáforo, con moderada probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.32. <i>Platanus acerifolia</i>	
Dirección: Av. Rivera 3280	
Altura: 21,5 m, DAP: 61,7 cm, Proyección de copa: 13,4 m.	
Escenario de falla: ramas estructurales gruesas sobre extendidas con sobrepeso y cavidad de gran tamaño.	
Escenario de diana: árbol ubicado sobre calle con flujo vehicular alto, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h, con presencia de cableado eléctrico debajo de la copa.	
Escenario de consecuencia: grave daño a personas dentro y vehículos en circulación, así como a cableado eléctrico, con baja a moderada probabilidad de ocurrencia.	

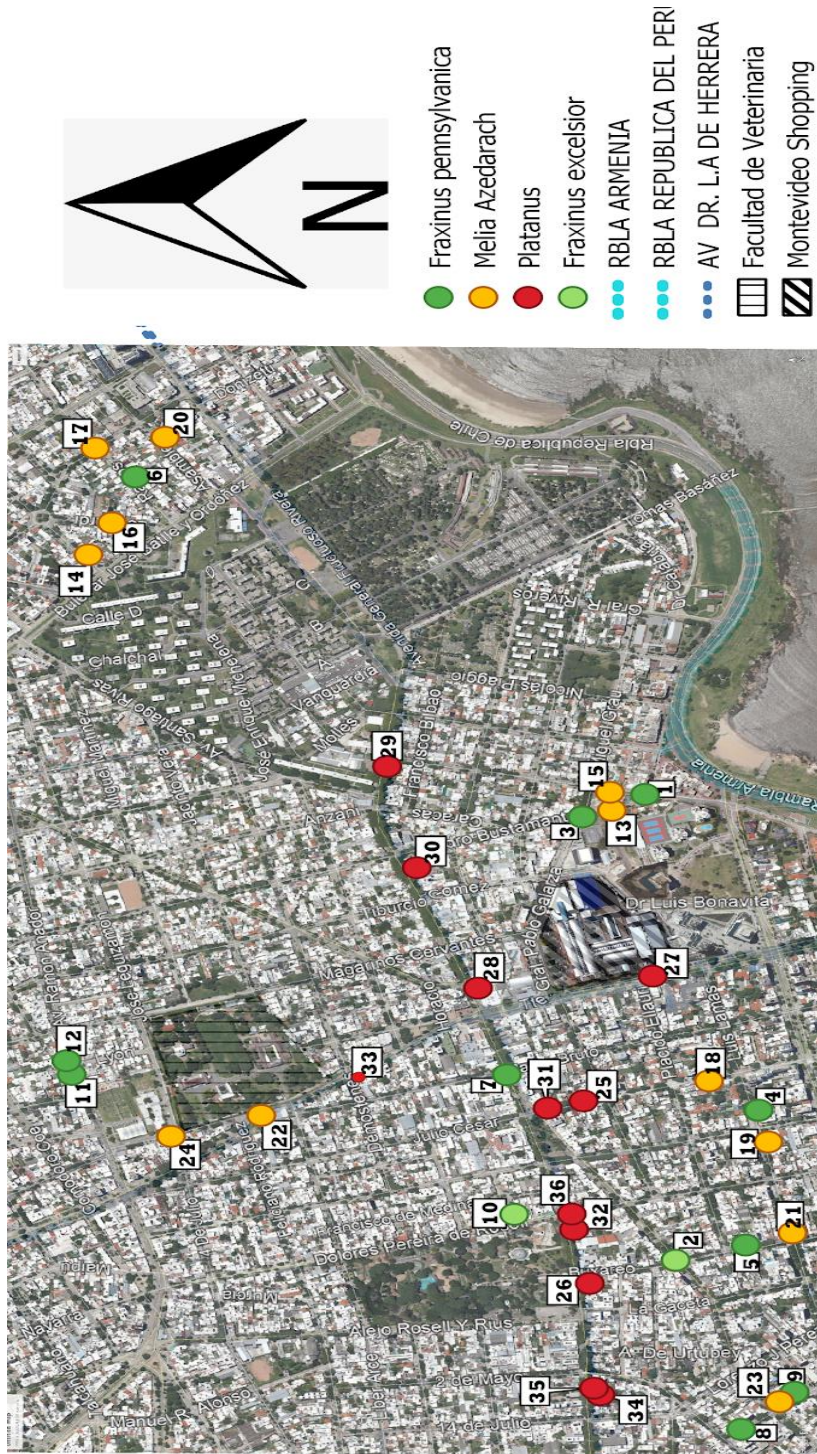
Árbol No.33. <i>Platanus acerifolia</i>	
Dirección: Luis Alberto de Herrera 1501	
Altura: 22,2 m, DAP: 63,6 cm, Proyección de copa: 11,1 m.	
Escenario de falla: algunas ramas secundarias finas secas.	
Escenario de diana: árbol ubicado sobre calle con flujo vehicular alto, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h, con presencia de cableado eléctrico debajo de la copa.	
Escenario de consecuencia: leve daño a personas dentro y vehículos en circulación, así como a cableado eléctrico, con baja probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.34. <i>Platanus acerifolia</i>	
Dirección: Av. Rivera 3122	
Altura: 21,2 m, DAP: 78,9 cm, Proyección de copa: 9,8 m.	
Escenario de falla: árbol con desprendimiento de corteza, cavidad poco profunda pero que se extiende por todo el tronco hasta comienzo de ramas estructurales, presenta brotes epicórmicos y ramas estructurales gruesas sobre extendidas.	
Escenario de diana: árbol ubicado al lado de parada de ómnibus, sobre calle con flujo vehicular alto, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h, con presencia de cableado eléctrico debajo de la copa.	
Escenario de consecuencia: grave daño a personas y vehículos en circulación, así como a cableado eléctrico, con baja a moderada probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.35. <i>Platanus acerifolia</i>	
Dirección: Av. Rivera entre 3143 y 3145.	
Altura: 22,5 m, DAP: 81,4 cm, Proyección de copa: 14,3 m.	
Escenario de falla: árbol con cavidad de gran tamaño en base del tronco, ramas secundarias gruesas sobre-extendidas, presencia de brotes epicórmicos y evidencia da falla anterior.	
Escenario de diana: árbol ubicado sobre calle con flujo vehicular alto, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h.	
Escenario de consecuencia: grave daño a personas y vehículos en circulación, moderada probabilidad de ocurrencia.	

Árbol No.36. <i>Platanus acerifolia</i>	
Dirección: Av. Rivera esquina Dolores Pereira de Rosell.	
Altura: 14,8 m, DAP: 48 cm, Proyección de copa: 10,9 m.	
Escenario de falla: árbol con presencia de raíces expuestas y algunas ramas secundarias finas secas.	
Escenario de diana: árbol ubicado sobre calle con flujo vehicular alto, la máxima velocidad permitida es de 45 km/h, con presencia de cableado eléctrico debajo de la copa y al lado de parada de ómnibus.	
Escenario de consecuencia: leve daño a personas y vehículos en circulación, así como a cableado eléctrico, con baja probabilidad de ocurrencia.	

Anexo No. 7. Ubicación de cada individuo evaluado



Anexo No. 8. ANAVA

Cuadro No. Análisis de varianza para ART (índice estandarizado) - suma de cuadrados tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: método	257649,018	2	128824,509	16,06	0,000
B: evaluador	2949,241	2	1474,620	0,17	0,846
C: especie	7156,352	2	3578,175	0,41	0,666
INTERACCIONES					
AB	59057,574	4	14764,393	1,68	0,154
AC	42004,925	4	10501,231	1,19	0,316
BC	57891,018	4	14472,754	1,64	0,163
ABC	53387,870	8	6673,483	0,72	0,673
RESIDUOS	2353610	297	7924,612		
TOTAL (CORREGIDO)	2833706,0	323			

Además de no presentar interacciones entre los factores, se comprobó mediante este análisis de varianza que no existen diferencias significativas entre los evaluadores ni entre las especies ya que el valor-p acepta la hipótesis nula (>0.05). Y si existen diferencias significativas entre los métodos, el valor-p <0.05 .