

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

COMPARACIÓN DE FÓRMULAS DE VALORACIÓN MONETARIA
EN EL ARBOLADO URBANO DE MONTEVIDEO, URUGUAY

por

Martina ALONSO GERLA
María Clara MORALES VIGNALE

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2017

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr.(MSc.) Gabriela Jolochín

Dr. Ing. For. Mauricio Ponce

Ing. Agr. Alfonso Arcos

Ing. Agr. Juan Cabris

Fecha: 4 de agosto de 2017

Autores:

Martina Alonso Gerla

María Clara Morales Vignale

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a nuestros tutores Gabriela Jolochín y Mauricio Ponce por la dedicación, apoyo y paciencia en todas las etapas del desarrollo de la Tesis. También cabe agradecer a nuestras familias por el sustento incondicional a lo largo de toda la carrera, así como a Juan Martín Gortari y a Matilda.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. <u>OBJETIVOS</u>	2
1.1.1. <u>Objetivos generales</u>	2
1.1.2. <u>Objetivos específicos</u>	2
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. <u>EL ARBOLADO URBANO</u>	3
2.1.1. <u>Concepto de arboricultura urbana</u>	4
2.2. <u>BENEFICIOS DEL ARBOLADO URBANO</u>	5
2.2.1. <u>Beneficios ambientales</u>	5
2.2.1.1. Efectos del arbolado en la atmósfera humana.....	5
2.2.1.2. Conservación del agua y reducción de erosión...	7
2.2.1.3. Reducción de la contaminación acústica.....	7
2.2.1.4. Aumento de la biodiversidad.....	8
2.2.2. <u>Beneficios sociales provistos por el arbolado urbano</u>	8
2.2.3. <u>Beneficios económicos provistos por el arbolado urbano</u>	9
2.3. <u>ANTECEDENTES DE LA VALORACIÓN DEL ARBOLADO URBANO A NIVEL MUNDIAL</u>	9
2.3.1. <u>Antecedentes de la valoración a nivel mundial</u>	9
2.3.2. <u>Antecedentes de la valoración en Uruguay</u>	10
2.4. <u>METODOLOGÍAS DE LA VALORACIÓN</u>	11
2.4.1. <u>Métodos internacionales de valoración monetaria</u>	14
2.4.1.1. Método tedesco.....	14
2.4.1.2. Método suizo.....	15
2.4.1.3. Método francés.....	15
2.4.1.4. Método italiano.....	16
2.4.1.5. Método del Council of Tree Landscape Appraiser.....	16

2.4.1.6. Método finlandés.....	16
2.4.1.7. Método Burnley.....	17
2.4.1.8. Método Helliwell.....	17
2.4.1.9. Standard Tree Evaluation Method.....	18
2.4.1.10. Valoración monetaria del arbolado urbano.....	18
2.4.1.11. Norma Granada.....	19
2.4.1.12. Método ICONA.....	20
2.4.1.13. Fórmula utilizada por la Intendencia de Montevideo.....	21
2.4.2. <u>Otros métodos de valoración</u>	21
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	23
3.1. FÓRMULAS SELECCIONADAS PARA EVALUAR.....	23
3.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	27
3.3. TOMA DE DATOS.....	29
3.4. MANEJO DE DATOS.....	31
4. <u>RESULTADOS</u>	33
5. <u>DISCUSIÓN</u>	39
5.1. INFLUENCIA INDIVIDUAL POR FACTORES.....	42
5.1.1. <u>Tamaño</u>	42
5.1.2. <u>Especie</u>	43
5.1.3. <u>Ubicación</u>	43
5.1.4. <u>Condición sanitaria</u>	44
5.1.5. <u>Factores especiales</u>	45
5.1.6. <u>Amenidades y servicios ambientales</u>	46
5.1.7. <u>Valor base</u>	46
6. <u>CONCLUSIONES</u>	47
7. <u>RESUMEN</u>	48
8. <u>SUMMARY</u>	49
9. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	50

10. ANEXOS..... 55

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Listado de árboles evaluados según ubicación, especies y edad.....	27
2. Precios de valor base (\$U/planta) en vivero minorista por especie....	30
3. Dimensiones de árboles producidos en vivero.....	31
4. Valor monetario final de cada árbol por fórmula (promedio, U\$D).....	34
5. Grupos homogéneos por fórmulas.....	37
6. Grupos homogéneos por evaluadoras.....	38
Figura No.	
1. Mediana, error estándar y ranking para las fórmulas de valor utilizadas.....	37

1. INTRODUCCIÓN

El arbolado urbano provee a las ciudades y sus habitantes de numerosos beneficios, de los cuales hoy en día se conocen muchos. Aunque es un área muy investigada por los beneficios que provee, se presume que aún no se han descubierto todos.

Montevideo es una ciudad que se destaca por su vasto y variado arbolado urbano. Existen aproximadamente 211.854 árboles y arbustos cultivados en aceras, de los cuales están identificadas 422 especies, manteniéndose aún 914 individuos sin identificar (IMM, citado por Terrani, 2014).

Todos los montevideanos y sus visitantes disfrutan del arbolado a lo largo del año con sus cambios a través de las estaciones; con su intensa sombra en el verano, su colorido follaje en el otoño, la silueta desnuda de las ramas en el invierno, y por supuesto, la diversa variedad de colores, aromas y formas de la floración en primavera.

Todas las especies de árboles y arbustos que se encuentran en la acera y parques de la capital son parte del patrimonio de la Intendencia de Montevideo, por lo que el manejo de estos bosques urbanos recae en la Intendencia, lo cual incluye plantación y reposición de árboles, poda, remoción de árboles viejos o enfermos, cuidados sanitarios, trasplantes, etc. (IMM, 2006).

Todas las actividades de manejo del arbolado urbano público integran un gasto importante (entre 100 y 120 millones de pesos anuales) de parte de los Municipios y la Intendencia, lo que deriva en la importancia de valorar el arbolado urbano, ya que éste implica no solo un esfuerzo económico, sino también un tiempo considerable en años para obtener un arbolado urbano maduro, apto para proveer beneficios ambientales, sociales y económicos a la ciudad y sus habitantes.¹

Se han hecho muchos estudios en valoración de plantaciones comerciales, pero sus metodologías no se ajustan a la realidad del arbolado urbano, pues estos tienen otros fines y brindan otros servicios.

Surge entonces la necesidad de valorar monetariamente el arbolado urbano, no solo como estimación de parte del patrimonio de la Intendencia, sino también para fiscalizar el cobro de la extracción de árboles, ya sea por construcciones de viviendas, saneamiento u otras razones que ameriten la extracción de árboles de la vía pública. Esta acción significa un costo que no sólo considera el reemplazo del árbol, sino también el costo del manejo realizado

¹ Arcos A. 2016. Com. personal.

al árbol durante sus años de crecimiento, tamaño y edad del árbol, servicios provistos, entre otros aspectos.

A partir de la problemática planteada surgen los objetivos de esta tesis, que investiga las distintas fórmulas de valoración monetaria del arbolado urbano usadas en diferentes países, con el fin de probarlas de forma práctica en el arbolado urbano de la capital, de manera de distinguir y proponer la fórmula más adecuada para la valoración del arbolado urbano de Montevideo.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivos generales

Evaluar la aplicación de fórmulas internacionales de valoración económica del arbolado urbano de Montevideo.

1.1.2. Objetivos específicos

Comparar los valores monetarios obtenidos mediante la aplicación de diez fórmulas internacionales de valoración económica en el arbolado urbano de Montevideo.

Determinar el grado de influencia de los evaluadores en el momento de la aplicación de las fórmulas.

Identificar la o las fórmulas más adecuadas para la valoración en Montevideo y proponer un grupo de fórmulas como herramientas de fiscalización para la Intendencia de Montevideo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EL ARBOLADO URBANO

Actualmente la mayoría de la población mundial vive en áreas urbanas y al parecer seguirá creciendo en el futuro cercano (Dye, 2008). Se estima que el 61% de la población mundial vivirá en las ciudades en 2025, lo que es un gran cambio comparado con el 37% que había en 1990 (FAO, 1993).

En el siglo XIX los objetivos en cuanto al bienestar en las ciudades se centraban en la sanidad, la disponibilidad de agua potable o la manera de manejar los desperdicios de manera segura. Hoy en día, luego de un gran crecimiento de la urbanización, la atención se centra en un amplio rango de aspectos para el bienestar humano, que incluyen ventilación, canaletas en las calles y preservación de los espacios verdes (Dye, 2008).

La tasa de urbanización acelerada y descontrolada, en algunos casos, está teniendo impactos negativos, tanto social como económicamente. Al principio se pensaba que el rol de los árboles en este aspecto era insignificante, sin embargo, éstos pueden proveer una amplia gama de beneficios (FAO, 1993).

En todos los elementos que se han configurado como imprescindibles en el desarrollo urbano, el árbol ha constituido el principal elemento conformador de la presencia de la naturaleza en la ciudad, llegando a ser determinante para el equilibrio de sus organismos vivos, a la vez que un hecho social y cultural. El árbol urbano es considerado como un componente indispensable para la estética y el funcionamiento del espacio urbano a través de la creación del concepto de urbanismo vegetal, exigiendo el inicio de nuevos comportamientos y la creación de nuevos métodos de trabajo (Villota, 2015).

El árbol en la ciudad, a medio camino entre la naturaleza y la arquitectura, ha desarrollado funciones ornamentales, paisajísticas e, incluso, experimentales, sin olvidar que constituye la expresión de la necesidad psicológica de la naturaleza. Aporta un equilibrio ecológico, no sólo ejerciendo funciones reguladoras y depuradoras de carácter ambiental, sino también, ofreciendo abrigo y protección para la fauna y la flora, con lo que se garantiza, una mejora en la calidad de vida de los ciudadanos (Villota, 2015).

En consecuencia, la ciudad aparece fuertemente marcada por su arbolado, el que forma parte de su patrimonio histórico artístico y es un ingrediente inseparable de su actual puesta en valor y comprensión, configurando el derecho social al paisaje (Villota, 2015).

No es lo mismo hablar de arbolado urbano en general, que de arbolado urbano público. Ledesma (2008) aclara que los espacios verdes fueron inicialmente espacios aristocráticos, que sólo disfrutaban las clases dominantes, habiendo evolucionado gradualmente, a la par con cambios sociopolíticos, a ser un bien disfrutable por toda la sociedad. Expresa, además, que el arbolado urbano es un espacio político, su estado refleja el estado de la sociedad que habita en el lugar. Está compuesto por plazas, parques, calles arboladas que contribuyen a la organización espacial de la ciudad, a la identidad de la misma y aportan valores estéticos y emocionales que influyen en la calidad del hábitat.

2.1.1. Concepto de arboricultura urbana

El primero en usar el término arboricultura urbana fue Jörgensen, citado por Konijnendijk et al. (2006), que propuso la siguiente definición: *“la arboricultura urbana es una rama especializada de la forestación, que tiene el objetivo de cultivar y manejar los árboles para su presente y potencial contribución al bienestar psicológico, social y económico de la sociedad urbana. Estas contribuciones incluyen el beneficio global de los árboles en el ambiente, así como el valor recreacional y general”*.

Una de las definiciones más ampliamente usadas y citadas de forestación en la era moderna, fue generada en el acto de la “Cooperativa Forestal Federada”, en 1978. Se refiere a arboricultura urbana como *“...el planeamiento, establecimiento, protección y manejo de árboles y otras plantas asociadas, individualmente o en grupos pequeños, o formando bosques en ciudades o suburbios”* (Miller, 1997).

Entre las definiciones más citadas se encuentra también la desarrollada por la Sociedad Americana de Forestación, en 1970 la define como *“El arte, ciencia, y tecnología de manejar árboles y bosques como recursos, en y alrededor de las comunidades urbanas, para aprovechar los beneficios psicológicos, sociológicos, económicos y estéticos que pueden proveer los árboles a la sociedad”* (Helms, 1998).

Miller (1997) define la arboricultura urbana como *“un integrado acercamiento a la plantación, cuidado y gestión de los árboles en las ciudades para asegurar múltiples beneficios ambientales y sociales para los habitantes urbanos”*.

2.2. BENEFICIOS DEL ARBOLADO URBANO

2.2.1. Beneficios ambientales

Existen muchas investigaciones de los distintos beneficios proporcionados por el arbolado urbano en el área ambiental. Éstos se pueden clasificar en cuatro grupos según Nowak y Dwyer (2007).

2.2.1.1. Efectos del arbolado en la atmósfera urbana

La ciudad actúa como un factor modificador importante del clima local y crea unas condiciones medioambientales concretas, que se puede definir como microclima urbano o isla de calor urbana (Tumini, s.f.). Isla de calor urbana es el nombre que se usa para describir el calor característico tanto de la atmósfera como de las superficies en las ciudades (o áreas urbanas) comparadas con sus entornos no urbanizados. La isla de calor es un ejemplo de modificación climática no intencional cuando la urbanización le cambia las características a la superficie y a la atmósfera de la tierra (Voogt, 2008).

Los rasgos más sobresalientes del microclima urbano se manifiestan en un aumento de la temperatura, en la reducción de la amplitud térmica diaria, en una peculiar distribución de los vientos de la ciudad, consecuencia del rozamiento con los edificios y encauzamiento en las avenidas, y en un balance hídrico diferente al existente en los espacios rurales. La primera consecuencia es el aumento del consumo energético de los edificios para el enfriamiento en condiciones de verano. El fenómeno de la isla de calor puede producirse tanto de día como de noche, provocando un aumento de temperatura que puede alcanzar los 10 °C. Hay que tener en cuenta que los sistemas de aire acondicionado usan energía eléctrica, lo que crea importantes problemas en el suministro energético, además de traducirse en un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, de los contaminantes como dióxidos de sulfuros, monóxido de carbono y las partículas volátiles producidas por las plantas de generación. El aumento de la temperatura tiene serias consecuencias para la salud del hombre y del medioambiente (Tumini, s.f.).

El reemplazo de las superficies naturales por superficies impermeables o a prueba de agua, lo que induce un área urbana más seca, en donde hay menos agua disponible para la evaporación, lo cual contrarresta el calentamiento del aire (Voogt, 2008).

Las áreas rurales, por su parte, se caracterizan por la alta evapotranspiración, siendo la mayoría de las superficies húmedas, permeables y/o cubiertas por vegetación; a diferencia de las ciudades, donde las superficies, en su mayoría impermeables, tienen un flujo de energía inferior. El uso de espacios verdes y árboles, es la primera y más efectiva medida que se puede poner en marcha para reducir la isla de calor urbana (Tumini, s.f.).

Los árboles pueden influenciar en el clima en un rango de escalas, desde árboles individuales hasta bosques cubriendo un área metropolitana, a través de la evapotranspiración, alterando la velocidad del viento, sombreando superficies, y modificando el almacenamiento e intercambio de calor entre superficies urbanas. Normalmente una o más de estas influencias microclimáticas ofrecen un importante beneficio. La velocidad del viento en áreas urbanas muy arboladas se puede ver reducida hasta en un 60% (Heisler, 1986).

Los árboles también influyen en la radiación que incide el suelo, logrando interceptar en algunos casos hasta un 90% de la radiación (Heisler, 1986). La radiación absorbida por el dosel produce una evapotranspiración que enfría a las hojas y al aire alrededor. En conjunto el sombreado y la evapotranspiración pueden llevar a reducir la temperatura debajo de los árboles hasta 5°C (Souch y Souch, 1993).

Los árboles remueven la polución del aire a través del ingreso de estos componentes por los estomas, aunque algunos gases son removidos del aire por la superficie de la planta. Aunque la mayoría de las partículas interceptadas son retenidas en la superficie de la planta, esta retención es temporaria ya que las partículas pueden ser suspendidas en el aire nuevamente, pueden ser arrastradas al suelo por el agua de lluvia, o llegar al suelo por la caída de hojas o ramas (Smith, 1990).

Por otro lado, el CO₂ es uno de los polutos del aire que ha tenido mayor impacto a nivel mundial a través del calentamiento global aumentando rápidamente con el comienzo del uso de los combustibles fósiles. El panel intergubernamental de bosques (Colombia) ha tratado el tema del cambio de uso de las tierras y forestería, como uno de las formas de mitigar el efecto invernadero, al emplear la capacidad de los árboles de fijar el dióxido de carbono y estudiar la vulnerabilidad de los mismos ante los cambios climáticos. Sabido es que los árboles fijan CO₂ al realizar la fotosíntesis y se convierte el carbono en celulosa y libera el oxígeno, este carbono hace parte del 50% en promedio de la biomasa de los árboles (Herrera, 2006).

2.2.1.2. Conservación del agua y reducción de erosión

Los árboles ayudan a conservar el suelo, impidiendo deslizamientos en sistemas frágiles, con pendientes, escasa vegetación y fuertes lluvias estacionales, protegiendo así las vidas y hogares de los habitantes (Kuchelmeister, 2000), y absorben al menos 30% de las precipitaciones, dejando que se evapore de vuelta a la atmósfera, o reteniéndola en la estructura de sus raíces, para luego ser transpirada (Burden, 2006).

Los bosques urbanos pueden ayudar a proteger los sistemas de suministro de agua, tratamiento de aguas residuales y evacuación de aguas pluviales. Por ejemplo, una posibilidad para el tratamiento de aguas residuales, es crear un sistema de parques con estanques que permitan la reutilización en sistemas urbanos (Kuchelmeister, 2000). La gran superficie impermeable que existe en las ciudades evita que el agua percole y aumenten los riesgos de inundaciones (Gómez y Barton, 2013). Al interceptar y reducir el flujo de la precipitación que llega al suelo, los árboles juegan un papel determinante en los procesos hídricos en las ciudades. Pueden reducir la velocidad y volumen del caudal que escurre por las calles, reducir los daños por inundaciones y otros problemas relacionados con la calidad del agua (Nowak y Dwyer, 2007).

2.2.1.3. Reducción de la contaminación acústica

Uno de los factores que contribuye a deteriorar la calidad del ambiente de las ciudades es el ruido, que aparece como una de las consecuencias del aumento de la población, de los medios de transporte, del desarrollo industrial, entre otros. Por lo tanto, su disminución debe implicar tanto el control de sus fuentes y emisiones, como la implementación de barreras, las cuales pueden ser elementos artificiales o naturales como árboles y arbustos, con lo que se lograría adicionalmente que las personas encuentren estos espacios más agradables (Posada et al., 2009).

Los árboles urbanos pueden ser utilizados como barreras de sonido. Donde el espacio lo permite, fajas densas y anchas de vegetación pueden reducir el sonido considerablemente. El hecho de que los árboles absorben sonidos de alta frecuencia los convierte en buenas barreras contra el sonido. La reducción del sonido por parte de los árboles es lograda a través de la deflexión y/o absorción, por lo que para ser más efectivos deben posicionarse lo más cerca posible de la fuente de ruido (Green Blue Urban, 2015).

2.2.1.4. Aumento de la biodiversidad

Las ciudades modernas afectan fuertemente su entorno natural y la biodiversidad de sus áreas vecinas, agotando muchos recursos para abastecerse de alimentos, materiales y energía; depositando sus residuos sólidos y vertiendo sus aguas contaminadas en áreas agrícolas o naturales. La "huella urbana" o "huella ecológica" contribuye significativamente a la pérdida de biodiversidad. En numerosos países existen enfoques que intentan revertir, desde las propias ciudades, estos procesos, considerando por ejemplo a cualquier espacio verde de la ciudad (parques, jardines y arbolado) como un lugar de conservación de la biodiversidad (Santandreu, citado por Priego, 2002).

2.2.2. Beneficios sociales provistos por el arbolado urbano

Los beneficios del arbolado urbano en la sociedad son variados. Algunos de los mismos son los que se detallan a continuación:

- El arbolado urbano está relacionado con la interacción social en espacios exteriores de zonas residenciales. Esto se debe a que el número de personas haciendo uso de los espacios exteriores es mayor, por lo que se da una mayor interacción. También se prueba que la diferencia del uso de los espacios exteriores por parte de los niños en sitios con arbolado y sin arbolado es muy grande. Hay muchos más niños en espacios exteriores con arbolado que sin él (Coley et al., 1997).

- Los estudios sugieren que los residentes que viven en áreas más arboladas se sienten significativamente más seguros, además se sienten más adaptados al lugar donde viven que aquellos residentes que viven en áreas poco arboladas. Esto se debe en gran parte al mayor número de personas presentes en la calle, lo que lleva a un mayor control de la seguridad por parte de los vecinos. A su vez el vínculo entre individuos fomenta la adaptación de los individuos en su comunidad (Sullivan et al., 2004).

- La presencia del arbolado urbano está asociada a la reducción del estrés de los individuos y por tanto a una mejora en la salud física. También se encuentra que existe una relación positiva entre las áreas arboladas y la mejora en aprendizaje y comportamiento de los niños (Wells, 2000). Pacientes

hospitalizados con vista de árboles por la ventana, han mostrado tener una recuperación más rápida y con menores complicaciones que pacientes sin este tipo de vista (Ulrich, 1984). A su vez, la sombra proporcionada por los árboles disminuye la radiación ultravioleta lo cual ayuda con problemas de salud asociados a su exposición, tal como el cáncer de piel (Heisler, 1986).

2.2.3. Beneficios económicos provistos por el arbolado urbano

En conjunto con los beneficios sociales y medio ambientales, los árboles pueden aportar beneficios desde el punto de vista económico (Nowak y Dwyer, 2007). Los esfuerzos que hacen las comunidades para desarrollar los espacios verdes van ligados al retorno económico substancial que tienen estas inversiones (Nowak y Dwyer, 2007). Por ejemplo, el comportamiento de los consumidores está positivamente correlacionado con el verde de la calle, lo que hace que se establezcan asociaciones entre la comunidad de comerciantes y el organismo que se encargue del arbolado urbano público (Wolf, 2004). Se ha probado que negocios en calles arboladas pueden llegar a tener hasta un 20% más de ingresos (Burden, 2006).

Por otro lado, el asfalto de las calles puede hacer que la temperatura en la ciudad aumente hasta siete grados por encima de espacios verdes. Este aumento de la temperatura significa un costo más alto en energía en las ciudades en días calurosos. Un barrio arbolado de forma correcta, puede ayudar a ahorrar entre 15 y 35% los costos de climatización (Burden, 2006).

El arbolado además agrega valor a terrenos, estando en ellos o en su entorno (Burden, 2006). Los constructores han estimado que los hogares con lotes arbolados se venden en promedio un 7% más caro que aquellas casas equivalentes sin arbolado (Selia y Anderson, 1982).

2.3. ANTECEDENTES DE LA VALORACIÓN DEL ARBOLADO URBANO A NIVEL MUNDIAL

2.3.1. Antecedentes de la valoración a nivel mundial

La creciente preocupación por el patrimonio natural y la calidad del medio ambiente, unido a la necesidad de conservación del mismo, por los enormes

beneficios que representa para la sociedad, hace que los espacios naturales se alcen como verdaderos activos eco-sociales (Martínez, 2004).

Ante la problemática de cómo valorar árboles urbanos, surge como primera observación que no se le puede asignar el mismo valor a diferentes árboles, no solo por las diferencias en las características fácilmente visibles, sino también por los distintos usos y servicios que estos ofrecen. Según Caballer (1999), existen dos tipos de árboles: 1- aquellos que generan flujos de caja, a los cuales se les puede calcular un valor monetario con alta precisión según su valor de compraventa en el mercado, los que pueden generar flujos de caja periódicos, como es el caso de los árboles frutales o generar flujos de caja únicos como son los madereros; 2- aquellos árboles cuya valoración presenta dificultades por no generar flujos de caja en ningún momento de su vida, por lo que no producirían bienes o servicios intercambiables. Estos árboles tienen utilidades diferentes, como producir sombra, proteger de la contaminación acústica, adornar calles jardines y parques, simbolizar ideas, sentimientos e historia; dentro de esta clasificación se encuentra el arbolado urbano (Caballer, 1999).

La aplicación de la valoración del arbolado urbano puede tener distintos fines, como son valoraciones motivadas por la extracción debido a construcciones privadas y obras públicas (Vidal, 2012), por daños debidos a accidentes meteorológicos o daños físicos, por impacto ambiental por los servicios ecosistémicos proporcionados o bien por inventario del patrimonio público (Caballer, 1999).

2.3.2. Antecedentes de la valoración en Uruguay

La Intendencia de Montevideo cuenta con la comisión municipal de coordinación del arbolado y de áreas verdes. La ciudad de Montevideo se divide en ocho municipios. El servicio de áreas verdes de la Intendencia de Montevideo centraliza y coordina el trabajo de los municipios, además se encarga del mantenimiento de los parques urbanos de superficie mayor a una hectárea, varias plazas, bulevares y avenidas, de la actualización de inventarios, reglamentaciones y otras funciones. Además se autorizan los permisos de extracción de árboles y se realizan las valoraciones monetarias para estimar el costo de la extracción o multa por daños o muerte de árboles. Los municipios se ocupan de la gestión del arbolado de las calles que integran su territorio. ¹

Por otro lado existe una comisión de coordinación técnica (ad hoc) constituida por los Ing. agrónomos a cargo de los municipios, el director de arbolado del servicio de áreas verdes y el director del servicio de áreas verdes.

Existe también una comisión que trabaja sobre un plan director de arbolado de Montevideo nombrada por la dirección del departamento de acondicionamiento urbano.¹

En el artículo D.2226 del digesto municipal (IMM, 2006), se aclara que las especies vegetales ubicadas en la vía pública, son bienes cuya administración compete a la Intendencia de Montevideo. La oficina responsable del control de las obras de vía pública, junto con la comisión municipal de coordinación del arbolado, debe aplicar las sanciones que correspondan cuando se constatan intervenciones no autorizadas en las especies vegetales en el transcurso de dichos trabajos. Además, se especifica que los organismos públicos, las empresas contratistas, o las particulares que realicen intervenciones no autorizadas, serán directamente responsables de los daños que ellos o sus empleados realicen sobre aquellas (IMM, 2006).

Las infracciones pasibles de sanción (IMM, 2006) son: 1) daños graves, la realización de obras no autorizadas u obras mal realizadas, con zanjas que afecten el "terreno de protección de la especie vegetal"; 2) daños leves, pérdida de un ejemplar, es cuando se dañe una especie vegetal causando su muerte, su caída posterior o lesiones de tal gravedad que hicieran necesaria de extracción; o por cada metro cuadrado o fracción de superficie dañada, la empresa constructora deberá pagar una indemnización por cada especie vegetal dañada, valorada según la fórmula del índice de valoración de arbolado, ajustada por la unidad de áreas verdes. Dicha fórmula se basa en normas y catálogos del ICONA (ex Instituto para la Conservación de la Naturaleza del Ministerio de Agricultura), de España, teniendo en cuenta diversos factores como la edad, especie, situación, etc.

Con respecto a la replantación de árboles en la acera, se trabaja con licitaciones, por lo que la Intendencia contrata servicios de plantación a terceros, aunque existen, además, cuadrillas municipales. A su vez se provee de plantas en gran parte por su propio vivero, ubicado en la localidad de Toledo Chico, donde se producen especies como fresnos, plátanos, lapachos, arces, entre otros.¹

2.4. METODOLOGÍAS DE VALORACIÓN

El valor de los árboles en un extenso paisaje no es fácil de calcular. El costo de reemplazo es el costo más directo para determinar el valor de un árbol. A pesar de que es posible trasplantar árboles maduros de forma exitosa, hacerlo puede requerir un esfuerzo extraordinario, además del alto costo que esto

implica. La mayoría de los árboles alcanzan en determinado momento, un tamaño demasiado grande como para ser reemplazados por uno equivalente. Para estos casos existen alternativas para calcular el valor de los árboles (Watson, 2002).

Otra forma, aunque no suele ser lo más habitual, a veces se pueden obtener estimaciones del valor de ciertos bienes y servicios a partir de informaciones existentes en el mercado. Es decir, es posible inferir a través de ciertos precios de mercado, el valor de otros bienes y servicios (Prieto, 1999).

En algunos casos se pueden utilizar los precios de mercado de un bien o servicio para deducir los valores de otros bienes y servicios (FAO, 1997).

Algunos de los métodos más utilizados para valorar son: valor de los aumentos de producción. Se puede utilizar el aumento de valor de mercado que tiene un producto gracias al servicio del objeto a valorar. Por ejemplo, un cortaviento puede aumentar los valores de las cosechas que protege. Estos aumentos del valor pueden ser adoptados como medida substitutiva del valor mínimo de los beneficios originados por el cortaviento (FAO, 1997).

Costo de oportunidad: se estima el valor del objeto a tasar, calculando cuál es el valor de las oportunidades a las que se renuncia con esa inversión. (FAO, 1997). Por ejemplo, el valor mínimo de un parque natural se calcula sobre la base de los precios de mercado de los bienes y servicios a los que se renuncia, tales como extracción de madera, minería, pastos, etc. (Prieto, 1999).

Costo de reemplazo o costo evitado: se basa en el precio de mercado de un sustitutivo cercano para el cálculo indirecto del valor de los bienes y servicios a valorar. Por otro lado, si se quiere estimar el valor de la captura de carbono que realizan los bosques, se podría utilizar el impuesto a su emisión, o el costo de centrales térmicas para mejorar su tecnología y reducir así sus emisiones (Prieto, 1999).

Método hedónico: este método calcula el valor a partir de los valores conocidos de otros bienes y servicios que están técnicamente relacionados con el bien o servicio que debe ser evaluado (Prieto, 1999). Desglosa el precio de un bien privado, de mercado, en función de varias características, las que tienen un precio implícito cuya suma determina, en una proporción estimable, el precio del bien de mercado que se observa (FAO, 1999). Por ejemplo, dos casas idénticas, pero ubicadas en zonas de distinta polución ambiental, tienen distinto precio; la diferencia de precio entre las viviendas se considera el precio implícito de la variación en los niveles de contaminación atmosférica, que está pautado por lo que el consumidor esté dispuesto a pagar por esta ventaja (Riera, 1994).

Costo de viaje: este método se basa en el hecho de que aunque el precio de entrada a un espacio de interés natural sea cero, el costo de acceso es generalmente superior, dado que deben incluirse por lo menos los gastos ocasionados por el desplazamiento. Se supone que el valor para el consumidor es por lo menos equivalente a los costos del viaje que se está dispuesto a enfrentar para obtener el bien o servicio deseado (FAO, 1997).

Evaluación contingente: se trata de simular un mercado mediante encuesta a los consumidores potenciales. Se les pregunta por la máxima cantidad de dinero que pagarían por el bien si tuvieran que compararlo, como hacen con los demás bienes. De ahí se deduce el valor que para el consumidor medio tiene el bien en cuestión (Riera, 1994).

El método más común y difundido mundialmente para establecer el valor monetario de los árboles de gran tamaño es a través del uso de fórmulas. Actualmente existen dos tipos básicos de fórmulas utilizadas: 1) la primera establece un valor inicial basado en el tamaño del árbol, para luego ir ajustando este valor por factores tales como condición (vigor, estructura, sanidad, etc.), locación (valor de bienes raíces, función, visibilidad, etc.), entre otros; 2) el otro tipo de fórmula utiliza un sistema de puntuación, donde los puntos pueden ser sumados o multiplicados, con un factor monetario introducido. En este último acercamiento, el tamaño es usualmente uno de los muchos factores de igual peso en la fórmula y tiene menor influencia en la valoración. Otros factores que también están presentes son sanidad, posición en el paisaje o factores especiales, tienen distinto énfasis de acuerdo a la fórmula que se considere (Watson, 2002).

Según Espulga (1989) las fórmulas se pueden clasificar como multiplicativa o paramétrica: este método combina variables físicas, explicativas y objetivas con otras más subjetivas y difíciles de medir (valor estético, ubicación, significado histórico, etc.), relacionado con beneficios sociales de los árboles ubicados en un centro poblado. El valor final obtenido por este método está determinado en una ecuación (López y López, 2013).

Determinan un valor inicial en función del tamaño, y después se ajustan por variables como la condición, la ubicación y la calidad de la especie; el valor final se determina con la ecuación (López y López, 2013).

$$\text{Valor} = f(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n)$$

Capitalización o económico: basados en los diferentes procedimientos para la valoración de inversiones. Método que hace uso de la valoración de montes comerciales, tanto forestales como frutales. Se parte de las cuentas de resultado de las explotaciones, estimándose costos y rendimientos que, en el caso de la madera, se apoyan en el uso de la dasometría (Caballer, 1999).

En estos métodos, se distinguen las variables objetivas de las subjetivas, haciendo posible definir un valor monetario para elementos vivos como montes comerciales (López y López, 2013).

Los métodos económicos establecen un intervalo de puntos para diferentes variables, las cuales son ponderadas después por un factor monetario. El valor se establece mediante la ecuación (López y López, 2013):

$$\text{Valor} = f(t)$$

$$T = \text{edad o área basal del árbol}$$

Los países europeos, encabezados por Suiza, prefieren valorar los árboles urbanos desde un punto de vista arquitectónico, estético y significado cultural histórico. Introducen las ideas de “valor ornamental”, “árbol con significancia histórica” o “árbol distintivo”. Estas definiciones se han utilizado para demostrar a economistas, técnicos, políticos y administrativos urbanos, que los árboles en conglomeraciones urbanas son mucho más que activos fijos y su valor intrínseco va más allá de su uso funcional. Sin embargo, en su búsqueda por resaltar el valor ornamental de los árboles, los métodos europeos son reacios a conceder valor cero a árboles en peligro de caerse y representan un riesgo a las propiedades y las personas, o cuando se encuentra localizado en lugares inapropiados, o bien, cuando carece de valor funcional. Los métodos europeos tienden a incrementar el valor base de los árboles (Contato Carol et al., 2008).

Existen también otras aproximaciones a la valoración del arbolado urbano, como las asociadas a los beneficios ambientales y sociales que éste provee (Nowak y Dwyer, 2007).

2.4.1. Métodos internacionales de valoración monetaria

2.4.1.1. Método tedesco

En método tedesco fue desarrollado en Italia, se usa la siguiente fórmula para calcular el valor de los árboles (Bernatzkt, 1989):

$$\text{Valor (\$)} = V_b * I_D * I_P * I_C * I_{IA} * I_E * I_R$$

Donde, (V_b) es el precio de la misma especie en viveros locales (corresponde a la décima parte del precio de venta de la planta de la misma especie de 10 – 12 cm de circunferencia a 1 m altura); (I_D) sección de área basal; (I_P) variable que define posición (pradera 1,3; campo 1,5; ciudad 2; centro de la

ciudad 3); (IC) condición del árbol en una escala que va de 1, completamente saludable, a 0 en un espécimen muy enfermo o debilitado; (IIA) índice que refleja la compatibilidad ambiental del árbol en escala descendente, donde 1 es completamente compatible y 0 no compatible; (IE) índice que refleja la relación entre la expectativa de vida y edad del árbol; (IR) porcentaje de reducción del valor en función del daño (ver Anexo No. 1).

2.4.1.2. Método suizo

El método suizo ha sido aceptado y posteriormente desarrollado en Francia, Alemania e Italia. Utiliza la siguiente fórmula (Ferraris, 1984):

$$\text{Valor (\$)} = \text{Pb} * \text{ID} * \text{IP} * \text{IES} * \text{IR}$$

Toma en consideración cuatro índices básicos, donde: (Pb) Precio de mercado en vivero de la especie, (ID) índice de dimensión, (IP) índice de posición, (IES) índice estético y de condición sanitaria, (IR) índice de reducción del valor por daño. Estas variables se separan de forma cualitativa para evitar error de juicio. Este método también considera en su evaluación el daño en los árboles (Caballer, 1999, ver Anexo No. 1).

2.4.1.3. Método francés

En el método francés, Ferraris (1984) revisa la metodología suiza y la adapta, obteniendo la siguiente fórmula:

$$\text{Valor (\$)} = \text{Pb} * \text{B} * \text{U} * \text{D}$$

Este método intenta definir el costo de reemplazo más probable. El valor es obtenido por el uso de los mismos cuatro índices utilizados en el método suizo, donde:

(Pb) valor base relacionado al valor de la especie en vivero, (B) índice sanitario y de valor estético, (U) índice estético y de ubicación, (D) índice de tamaño, determinado por el tamaño de la circunferencia del fuste a la altura del pecho (ver Anexo No 1).

2.4.1.4. Método italiano

Para el cálculo del valor del árbol, el método italiano utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Valor (\$)} = P_b * I * S * C$$

Donde: (P_b) precio de vivero de las especies, (I) un índice que refleja el estado sanitario del árbol y su apariencia en una escala del 1 al 10, (S) un índice de ubicación con valores entre 2 y 10, teniendo en cuenta si el árbol se encuentra ubicado en la ciudad o un área rural, (C) factor indicando la dimensión del árbol con valores que varían entre 1 y 55 para circunferencias normales de entre 30 y 900 cm respectivamente (Fabbri, 1989, ver Anexo No. 1).

2.4.1.5. Método del Council of Tree Landscape Appraisers (CTLA) de los Estados Unidos

El método norteamericano o CTLA hace uso de la siguiente ecuación:

$$\text{Valor (\$)} = A * P_b * E * C * L$$

Este método da lugar a la idea de un “valor base” como expresión del precio unitario de la sección de un tronco, y considera que el precio máximo de un árbol es el producto de este valor base multiplicado por el área de la sección del tronco. Índices de corrección como especie, estado sanitario y posición mantienen o reducen el valor, pero nunca lo incrementan (CTLA, 1992).

Donde, (A) factor área del tronco es el área de la sección transversal del tronco a 1,4 m sobre el nivel del suelo en cm², (P_b) el precio base es un valor basado en el costo de la especie disponible en viveros regionales en \$/cm², (E) el factor especie relaciona atributos del árbol como crecimiento, expectativa de vida, adaptabilidad a las condiciones ambientales, requerimientos de mantención, amenidades y otras, (C) la condición se relaciona con las características de sanidad y vigorosidad del árbol, (L) la localización corresponde al emplazamiento que el árbol tenga en la ciudad (L, Ponce Donoso et al., 2013, ver Anexo No. 1).

2.4.1.6. Método finlandés

El método finlandés utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Valor (\$)} = S * P * L * E$$

Donde: (S) superficie del tronco del árbol medida en cm² a un metro de altura, (P) parámetro vinculado a la especie que toma valores desde 45 a 224, (L) variable que define posición (campo abierto 1,3; bosque 1,8; ciudad 2), (E) condición del árbol en escala descendente, desde 1 para completamente sano hasta 0,2 para muy enfermo (Caballer, 1999, ver Anexo No. 1).

2.4.1.7. Método Burnley

Burnley es un método australiano que realiza la valoración a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Valor (\$)} = V * P_b * E * FV * L$$

Donde: (V) tamaño del árbol (medido como el volumen de un cono invertido), (P_b) valor monetario (costo por metro cúbico en viveros minoristas) denominado valor base, (E) expectativa de vida (0,5 a 1,0), (FV) forma y vigor (0,0 a 1,0), (L) y localización (0,4 a 1,0) (Ponce Donoso et al., 2012, ver Anexo No. 1).

2.4.1.8. Método Helliwell

Este método fue desarrollado en Inglaterra y usa la siguiente fórmula

$$\text{Valor (\$)} = T * E * I * P * R * F * P_b$$

El método usa una tasa de 0 a 4,0 puntos para siete factores, donde:

(T) tamaño del árbol, (E) expectativa de vida, (I) importancia en el espacio, (P) presencia de otros árboles, (R) relación con el entorno, (F) forma y factores especiales, (P_b) valor determinado por precio en vivero. El tamaño del árbol se estima como el producto de la altura y el diámetro de la copa. La expectativa de vida útil se considera en función de la situación y localización del árbol. Los factores especiales son casos raros, árboles dignos de puntos extras, ejemplares históricos, interés botánico no usual, rareza o valor excepcional en el paisaje (Helliwell, 2008, ver Anexo No. 1).

El método se basa en los juicios de valor de los expertos de la evaluación de las amenidades visuales. En éste se argumenta que hay necesidad de un método de valoración que sea independiente, tanto del costo de mantenimiento como del costo de reemplazo (Sarajevs, 2011).

2.4.1.9. Standard Tree Evaluation Method, de Nueva Zelanda (STEM)

Valor (\$) = $\frac{\text{total puntos atribuidos (máximo 540 puntos)}}{(\text{CM} + \text{CP} + \text{CMA})} * \text{FCM}$

Total puntos atribuidos es la sumatoria de puntos obtenidos por distintas características de condición y amenidades.

Donde: (CM) costo de la especie en viveros mayoristas, (CP) costo de plantación, (CMA) costo de mantenimiento y (FCM) factor de conversión minorista.

El método STEM utiliza un sistema de puntos en base a veinte atributos (3 a 27 puntos para cada uno) en tres campos condición, amenidad y características especiales de notabilidad. Los atributos son: condición (forma, frecuencia, vigor y vitalidad, función, y edad); amenidades (estatura, visibilidad, presencia de otros árboles, papel, y clima); notabilidad, solo para los árboles que tengan más de 50 años de edad, estatura (aspecto y forma) historia (edad, asociación, conmemoración, remanente, y relicto) y científico (fuente, rareza, y riesgo). El total de puntos es multiplicado por el precio mayorista en vivero de un árbol de cinco años de edad preferiblemente, más el costo mayorista de plantación y de mantenimiento del árbol a la misma edad que éste se hubiera perdido, de esta manera, esto se multiplica por un factor de conversión desde mayorista a minorista, para lo cual se recomienda un valor 2 (Flook, 1996, ver Anexo No. 1).

2.4.1.10. Valoración monetaria del arbolado urbano (fórmula propuesta para el arbolado urbano en Chile central)

Valor (\$) = $\text{UTM} * \text{T} * \text{U} * \text{S} * \text{A} * \text{E} * \text{FE} * \text{DS}$

Donde: (UTM) unidad tributaria mensual, correspondiendo a la del mes cuando se realiza la valoración, (T) tamaño, esta variable queda expresada como la relación entre el DAP (medido en centímetros a 1,3 metros desde el nivel de suelo) y el volumen de copa, medida como el volumen en metros cúbicos entre la altura de copa y su área de proyección (el promedio de la copa corresponderá al promedio aritmético entre la distancia más corta y la más larga), lo que es corregida de acuerdo su forma (palmiforme, columnar, extendida, pendular, piramidal, ovalada, esférica, irregular); (U) ubicación, por sitio correcto se debiera entender el lugar donde se encuentra plantado, considerando un adecuado suelo, alcorque y espacio a nivel de suelo; (S) condición sanitaria del árbol, trata de identificar la vigorosidad que presenta el árbol, tanto en la copa, fuste, ramas y raíces; (A) amenidades, representa la característica plástica del árbol, tanto de manera individual o en grupo, además de su de floración, fragancia y otras de

este tipo; (E) características ambientales, que se le relaciona como un aporte a la biodiversidad, reducciones del ruido, del material particulado, de gases con efecto invernadero, rayos ultravioletas y de la erosión, además de la mejora de la humedad ambiental; (FE) factores especiales, considera la aplicación de un factor de corrección o ponderador que se aplica de encontrarse una o más variables a destacar, subiendo proporcionalmente el valor en 5% por cada una de estas variables, tales como si se encuentra ubicado en un arboretum, es un árbol de componente histórico (debidamente documentado), es un relicto, está en peligro, es fuente de calidad genética, u otro, teniendo como máximo un 30%; (DS) dis-servicios, se considera la aplicación de un factor de corrección o ponderador que se aplica de identificarse alguna variable que sea reconocida como dis-servicio, descontando un máximo de 10% del total, entre estas variables se mencionan, especies alergénicas, caída de hojas, caída de frutos, rotura de infraestructura, otro (Ponce Donoso et al., 2017a).

Esta fórmula incluye una unidad reajutable que se utiliza en el país, la Unidad Tributaria Mensual (UTM), cuyo uso permitiría reducir los costos de su aplicación. Se establece un valor mínimo y máximo del valor monetario del árbol, el que es dado por el valor de la UTM (Ponce Donoso et al., 2017b, ver Anexo No. 1).

2.4.1.11. Norma Granada

Norma Granada es un método desarrollado por la asociación española de parques y jardines públicos, que utiliza la siguiente fórmula (AEPJP, 2007):

$$\text{Valor (\$)} = (Vb * Els) * (1 + Ele)$$

$$Vb = \text{valor básico de árbol} = \omega * \mu * (0.0059 * p^2 + 0.0601 * p - 0.324)$$

$$Els = (S1 + S2 + S3 + S4 + S5) / 5$$

$$Ele = (Ele1 + Ele2 + Ele3) / 3$$

Donde, (Vb) valor básico del árbol, (Els) refiere al estado sanitario del árbol, siendo (S) los factores intrínsecos, (Ele) es un factor estético y funcional, además de los factores extrínsecos, (ω) coeficiente actualizado correspondiente a la especie individualizada, que es fijado por una comisión para cada zona climática según la clasificación de Köppen, (μ) es un coeficiente corrector edafológico, (p) el perímetro a 1 m de altura.

El método distingue entre árboles sustituibles y no sustituibles como primer clasificación, centrándose mayormente en árboles no sustituibles que presentan una mayor problemática (Caballer, 1999).

En segundo lugar, según Caballer (1999), el concepto fundamental del método es el valor básico de un árbol que se calcula con mayor rigor que el resto de los conceptos. Depende de la especie, la edad y el tamaño. Posteriormente, se calcula el valor final mediante la corrección del valor básico por la consideración de dos grupos de factores: factores intrínsecos (referidos al propio árbol) y factores extrínsecos (referidos al contexto externo donde el árbol está ubicado, ver Anexo No. 2).

2.4.1.12. Método ICONA

El método ICONA fue desarrollado en España por este organismo y cuenta con la siguiente fórmula:

$$\text{Valor (\$)} = V_b * E * I * EV * C$$

Donde: (V_b) valor básico del árbol, (E) edad, (I) índice de situación, (EV) estado vegetativo y (C) índice de crecimiento (edad/DAP)².

La fórmula de ICONA se trata de un índice desarrollado que permite calcular tanto pérdidas totales como el valor a pagar por daños, mutilaciones o heridas. Dicha fórmula fue tomada como modelo para crear la fórmula que usa la Intendencia de Montevideo que es usada hoy en día (López Arce y Del Álamo, 1975).

Cuando se produce una pérdida total del ejemplar, el valor de la indemnización se calcula a través de 6 índices: clasificación por especies, valor estético y funcional y estado sanitario, situación, rareza, singularidad, relación e²/d, el valor final se obtiene multiplicando los 6 índices (López Arce y Del Álamo, 1975).

La clasificación por especies toma como valor los precios que las distintas especies tienen en sus centros de producción; el valor estético y funcional y estado sanitario toma en cuenta características lo más objetivas posibles, como funcionalidad, ubicación, valor estético y sanitario; la situación pretende tener en cuenta el valor que tiene el árbol, según su situación relativa y el entorno que lo rodea; la rareza o singularidad no solo toma en cuenta la mayor o menor abundancia de la especie, sino también su valor histórico o cultural, que le dan un mayor valor; finalmente, la relación e²/d, está determinada por la lentitud de crecimiento del árbol, y admite que para la sustitución de un árbol, se

necesitaría un tiempo directamente proporcional al cuadrado de la edad, e inversamente proporcional al diámetro (López Arce y Del Álamo, 1975).

2.4.1.13. Fórmula utilizada por la Intendencia de Montevideo

$$\text{Valor (\$)} = Vb * E * S * EV * C$$

Donde: (Vb) es el precio de venta de la especie en viveros, (E) corresponde a la edad, (S) es el índice de situación (avenida, calle común, zona de difícil reposición, alineación, etc), (EV) es el estado vegetativo, (C) índice de crecimiento expresado como el cociente edad/dap.

La fórmula que utiliza la Intendencia es una modificación de la fórmula española ICONA.¹

2.4.2. Otros modelos de valoración

Aunque los beneficios que produce el arbolado urbano en general están bien documentados, se hace necesario cuantificar con un número específico beneficios, como el secuestro de carbono (ICLEI, 2006).

Hoy en día, existen paquetes de programas que sirven de herramientas para calcular el costo y beneficio que brindan estos seres vivos. Entre ellos se encuentran iTree, STRATUM, Urban Forest Effects (UFORE) Model, CITYgreen (ICLEI, 2006).

iTree es un programa diseñado para integrar un inventario del arbolado de la ciudad y herramientas de análisis y predicción. El programa está diseñado para Windows ® y requiere el uso de Sistemas de Información Geográfica (GIS por su abreviatura en inglés) como el Arc Geographic Information Program. El programa es capaz de estimar, a través de información satelital, cual es el dosel estimado del árbol y analizar sus beneficios y costos (ICLEI, 2006).

Street Tree Resource Analysis Tool for Urban Forest Managers es una herramienta que estudia el efecto que tiene el arbolado urbano sobre el ecosistema. El programa analiza la estructura del arbolado urbano y la utilidad que puede tener en términos de uso energético, contaminación del aire, los desagües de la ciudad, emisiones y reducciones de dióxido de carbono y el valor de propiedades privadas (ICLEI, 2006).

UFORE es un modelo que trabaja en ambiente Windows®, que también se basa en sistemas de información satelital y está diseñado para usar información estandarizada de ciertos puntos de muestreo, información local de contaminación del aire y datos meteorológicos, además de cuantificar la estructura del arbolado urbano y sus diferentes beneficios (ICLEI, 2006).

CITYgreen es una aplicación que también está basado en los Sistemas de información geográfica. Fue elaborada por American Forests, una organización sin fines de lucro que trabaja para crear un arbolado urbano saludable en diversas comunidades. La aplicación es capaz de calcular los beneficios del arbolado en dólares, concernientes beneficios como desagües, calidad de aire, ahorro de energía en verano y secuestro de carbono (ICLEI, 2006).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo se llevó a cabo en la ciudad de Montevideo, capital, ubicada al Sur del Uruguay, a una latitud de 34° Sur y longitud. Cuenta con 1.330.400 habitantes, con una distribución administrativa de ocho Municipios y un área urbanizada de 192 km².

Las áreas verdes de uso público ocupan 9.565 ha en la ciudad y están compuestas de parques (1.599 ha), plazas y plazuelas (600 ha), otros espacios verdes (5.340 ha), playas (123 ha) y veredas (2.000 ha), con un total de 211.400 árboles en total, según el censo de 2005, con lo cual la relación general es de 1 árbol cada 6 personas.

3.1. FÓRMULAS SELECCIONADAS PARA EVALUAR

Para seleccionar las fórmulas utilizadas en la evaluación del arbolado de Montevideo, se tuvo en cuenta la disponibilidad de información sobre el correcto uso de las fórmulas. Las fórmulas seleccionadas se detallan a continuación.

Burnley

$$\text{Valor (\$)} = IV * Pb * E * FV * L$$

IV= índice volumen del árbol

Pb=valor base

E=expectativa de vida

FV=forma y vigor

L=localización

Método suizo (M. suizo)

$$\text{Valor(\$)} = Pb * ID * IP * IES * (IR)$$

Pb= precio de mercado en vivero de la especie

IES=índice de estado sanitario y valor estético

IP= índice de posición

ID= índice de dimensión

IR=Índice de reducción del valor por daño

Método francés (M. francés)

Valor (\$) = $P_b * B * U * D$

P_b = 1/10 del precio de venta en viveros

B = índice sanitario y de valor estético

U = índice estético y de ubicación

D = índice de tamaño

Helliwell

Valor (\$) = $T * E * I * P * R * F * V_b$

T = tamaño del árbol

E = expectativa de vida

I = importancia en el espacio

P = presencia de otros árboles

R = relación de especies con lo local, adaptación

F = forma

V_b = precio de venta en viveros

STEM

Valor (\$) = total puntos atribuidos * (CM + CP + CMA) * FCM

Total puntos atribuidos = sumatoria de puntos obtenidos por distintas características de condición y amenidades.

CM= costo de especie en viveros mayorista

CP= costo de plantación

CMA= costo de mantención

FCM= factor de conversión minorista

Método italiano (M. italiano)

Valor (\$) = $P_b * I * S * C$

P_b = precio de venta en viveros

I = estado de salud

S = índice de ubicación (la ubicación del árbol dentro de la ciudad)

C = índice de tamaño

Norma Granada (N. Granada)

Valor (\$) = $(V_b * E_{I_s}) * (1 + E_{E_e})$

V_b = valor básico = $\omega + \mu * (0.0059 * p^2 + 0.0601 * p - 0.324)$

E_{I_s} = factor intrínseco, estado sanitario del árbol.

E_{E_e} = factor extrínseco, estético y funcional.

ω = coeficiente actualizado por especie, según clasificación de Köppen.

μ = coeficiente corrector edafológico

p = perímetro a 1 metro de altura

CTLA

Valor (\$) = $A * P_b * E * C * L$

A = área sección transversal del tronco a 1,4m de altura

P_b = precio de venta en viveros

E= especie: atributos del árbol como crecimiento, expectativa de vida, adaptabilidad a las condiciones ambientales, requerimientos de mantención, amenidades y otras.

C= condición: estado sanitario

L= localización: según zona donde está ubicado

Valor monetario del arbolado urbano (fórmula para el arbolado urbano en Chile central - VaMa)

$$\text{Valor (\$)} = \text{UTM} * \text{T} * \text{U} * \text{S} * \text{A} * \text{E} * \text{FE} * \text{DS}$$

UTM: correspondiendo la del mes cuando se realiza la valoración.

T= tamaño: obtenido a partir de la relación entre el DAP (en cm a 1,3 m desde el nivel de suelo) y el volumen de copa (VC), medido como el volumen en metros cúbicos entre la altura de copa y su área de proyección

U= ubicación: teniendo en cuenta lugar donde se encuentra y si el sitio es apropiado.

S= condición sanitaria del árbol

A= amenidades

E= características ambientales, aportes al medio ambiente

FE= factores especiales, solamente cuando existen variables a destacar

DS: dis-servicios, se considera la aplicación de un factor de corrección que se aplica de identificarse alguna variable que sea reconocida como dis-servicio, descontando un máximo de 10% del total.

Fórmula utilizada por la Intendencia de Montevideo (IM)

$$\text{Valor (\$)} = \text{Vb} * \text{E} * \text{S} * \text{EV} * \text{C}$$

Vb= precio de venta en viveros

E= edad

S= índice situación, considerando ubicación (avenida, calle común, zona de difícil reposición, alineación, etc)

EV= estado vegetativo (muy bueno, bueno, regular, etc)

C= índice de crecimiento (edad/dap)

3.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Como segunda etapa, a través de la comunicación personal, se recopiló información acerca de la metodología ya existente en la Intendencia para la valoración y gestión del arbolado urbano de Montevideo, la que está a cargo del ingeniero agrónomo Alfonso Arcos. También se realizaron visitas a viveros, como el Vivero Municipal, Semillero Municipal y “Viveros Monza”.

Como tercer paso, para elegir las especies a evaluar, a partir de la información analizada en base al censo del arbolado urbano de Montevideo en el período de 2005 - 2008 (Terrani, 2014), se realizó una lista de las especies más frecuentes en el arbolado urbano de Montevideo. Se seleccionaron un total de 31 individuos, siendo evaluados uno o dos individuos por especie de diferentes edades, localización y otros atributos contenidos en las fórmulas. En total se realizaron 620 valoraciones (Cuadro No. 1).

Cuadro No. 1. Listado de árboles evaluados según ubicación, especies y edad.

Tabla de árboles			
No. árbol	Ubicación	Especie	Edad (años)
1	Palmar 25	<i>Melia azedarach</i>	80
2	Simón Bolívar 1443	<i>Melia azedarach</i>	10
3	Simón Bolívar 1433	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	60
4	Brito de Pino 1442	<i>Platanus x acerifolia</i>	80
5	Francisco Soca 1427	<i>Ceiba speciosa</i>	80
6	Francisco Soca 1389	<i>Peltophorum dubuim</i>	80

7	Av. Brasil 2823			<i>Tipuana tipu</i>	100
8	Francisco Soca 1209			<i>Liriodendron tulipifera</i>	16
9	Oscar Gestido 2629			<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	60
10	Oscar Gestido 2613			<i>Tilia x viridis</i>	30
11	Bv. Artigas 1141			<i>Tipuana tipu</i>	100
12	Canelones 2312			<i>Platanus x acerifolia</i>	100
13	Dr. Mario Cossinoni 1136			<i>Ulmus procera</i>	100
14	Hugo Prato 2316			<i>Jacaranda mimosifolia</i>	80
15	Plaza Varela			<i>Grevillea robusta</i>	100
16	Ing. Luis P. Ponce 1530			<i>Populus deltoides</i>	100
17	Ing. Luis P. Ponce 1557			<i>Jacaranda mimosifolia</i>	60
18	Simón Bolívar 1542			<i>Catalpa bigonioides</i>	15
19	Bv. España y Luis de la Torre			<i>Phytolacca dioica</i>	150
20	Copacabana 6808			<i>Liriodendron tulipifera</i>	10
21	Pedro Figari 1668			<i>Tilia x viridis</i>	50
22	Viña del mar 6776			<i>Liquidambar styraciflua</i>	30
23	Cartagena 1637			<i>Grevillea robusta</i>	60
24	Américollaria 6642			<i>Catalpa bigonioides</i>	30
25	Cartagena 1623			<i>Liquidambar styraciflua</i>	25
26	Eduardo Blanco Acevedo 1713			<i>Acer saccharinum</i>	60
27	Eduardo Blanco Acevedo 1722			<i>Acer negundo</i>	20

28	Milington Drake 1826	<i>Taxodium distichum</i>	80
29	Almirante Harwood 6545	<i>Taxodium distichum</i>	50
30	Pedro Figari 1607	<i>Ulmus procera</i>	50
31	Viña del mar 1655	<i>Ceiba speciosa</i>	60

Cada árbol fue seleccionado con el objetivo de cubrir tanto grandes avenidas, como calles secundarias y plazas. La ubicación y características específicas de cada individuo se puede observar en el sistema de información geográfica de la Intendencia de Montevideo, colocando la dirección correspondiente:

<http://intgis.montevideo.gub.uy/pmapper/map.phtml?&config=default&me=548000,6130000,596000,6162000>.

Las edades en la mayoría de los casos eran conocidas ¹, en otros casos fueron estimadas preguntado a vecinos para estimar su fecha de plantación.

3.3. TOMA DE DATOS

Se organizaron las fórmulas en planillas para realizar las mediciones correspondientes de los árboles a evaluar (Cuadro No. 1).

La toma de datos necesarios para la valoración se realizó en dos etapas. En primer lugar, se recopiló información con el personal encargado de áreas verdes de la Intendencia de Montevideo sobre costos de plantación, mantenimiento y producción de plantines. El costo de mantenimiento anual se calculó haciendo una relación entre el presupuesto que destina la Intendencia a tales fines y la cantidad de árboles en la ciudad. El costo se estimó en USD 25 por año por árbol y el costo de plantación promedio en USD 285 por planta. Los precios promedio por plantas que se llevan a acera fueron obtenidos de viveros Monza (Cuadro No. 2).

La Intendencia de Montevideo exige plantas de un tamaño determinado para llevar a plantación final (Cuadro No. 3). A los efectos de homogeneizar, para los cálculos se tomó como estándar que todas las plantas salidas de vivero tienen 4 cm de diámetro de cuello a 1m del suelo.

Cuadro No.2. Precios de valor base (\$U/planta) en vivero minorista por especie

Especie	Valor base (\$U/planta)
<i>Melia azedarach</i>	950
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	650
<i>Platanus x acerifolia</i>	1.000
<i>Ceiba speciosa</i>	1.100
<i>Peltophorum dubuim</i>	1.500
<i>Tipuana tipu</i>	1.000
<i>Liriodendron tulipifera</i>	1.500
<i>Tilia xviridis</i>	2.200
<i>Ulmus procera</i>	1.500
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	1.500
<i>Grevillea robusta</i>	1.200
<i>Populus deltoides</i>	500
<i>Catalpa bigonioides</i>	1.200
<i>Phytolacca dioica</i>	1.500
<i>Liquidambar styraciflua</i>	1.500
<i>Acer saccharinum</i>	1.500
<i>Acer negundo</i>	1.000
<i>Taxodium distichum</i>	1.500

Cuadro No. 3. Dimensiones de árboles producidos en vivero

Altura	Diámetro a 1m del suelo	Dimensiones del terrón	Envase
2,53,0 m	2,5-3,5cm	Diámetro 40cm altura 30cm	50 L
3,0 -3,5m	3,0 4,0 cm	Diámetro 45cm altura 35cm	90 L
3,5-4m	3,5-4,5cm	Diámetro 50cm altura 40cm	90L

Para cada árbol se midió en primer lugar variables dendrométricas: la circunferencia a 1 m, 1,3 m y 1,4m de altura desde el suelo; la altura total y la altura de copa, que corresponde a la diferencia entre altura total y la altura desde donde se insertan las ramas principales. Los materiales utilizados fueron cinta métrica y clinómetro de Blume-Leiss. La medición de cada árbol se hace a partir de dos evaluadoras sin experiencia previa, denominadas eval 1 y eval 2. Las valoraciones fueron realizadas en diciembre de 2016.

Los datos obtenidos en el relevamiento fueron transferidos a una planilla de cálculo electrónico donde se calculó el valor de cada árbol según las variables de cada una de las fórmulas usadas, de acuerdo a cada evaluadora.

3.4. MANEJO DE DATOS

En el análisis estadístico se estudiaron dos fuentes de variación: las fórmulas y las evaluadoras.

Antes de realizar el análisis fue necesario verificar la distribución normal de las variables, por lo que se analizaron los residuos de cada variable con el objetivo de establecer el tipo de distribución. Se establecieron los siguientes supuestos por cada variable: que los residuos de las variables provengan de una distribución normal.

Se obtuvo los residuos para cada variable y se los sometió a un análisis de datos no censurados, haciendo uso de Statgraphics Centurion XV.II a través

de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, con un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0,05$). Las hipótesis fueron:

H0: los residuos provienen de una distribución normal.

H1: los residuos no provienen de una distribución normal.

El supuesto de normalidad es rechazado, si el valor-p del test es menor a 0,05, mientras que el supuesto se cumple si el valor-p es mayor a 0,05.

Que exista homocedasticidad entre los residuos.

Se utilizó la prueba de verificación de varianza de Levene para evaluar la hipótesis que la varianza en cada nivel de los factores sea la misma y si presentan homocedasticidad, utilizando un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0,05$), para lo cual se realizó un ANAVA simple de los residuos de cada variable para los distintos factores. La hipótesis fue:

H0: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$

H1: al menos una varianza difiere

A su vez, el supuesto de homogeneidad de varianzas se cumple si el valor-pes mayor a 0,05, mientras que es rechazado si el valor-p es menor a 0,05.

Cuando no se cumplen los supuestos de normalidad, es necesario trabajar con datos no-paramétricos, para lo cual se construye un ranking para cada variable que presente diferencias significativas, de menor a mayor. Posteriormente se realiza la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar si las medianas del ranking, en cada nivel de los factores, son iguales, con un nivel de 95% de confianza.

Para las diferencias estadísticamente significativas, se realizó la prueba de múltiples rangos de Tukey HSD, utilizándose un nivel de confianza de un 95%, con una probabilidad de que existan diferencias significativas de un 0,05.

4. RESULTADOS

De los valores monetarios finales obtenidos mediante cada fórmula para cada árbol (Cuadro No. 4), se observa que el valor más alto corresponde a USD 162.814 del árbol número 19 (*Phytolacca dioica*), con la fórmula de la Intendencia de Montevideo (IM). Este individuo obtuvo además el mayor valor promedio. El valor mínimo fue USD 0 obtenido por esta misma fórmula para el árbol número 14 (*Jacaranda mimosifolia*), debido a que la fórmula otorga valor cero a los individuos que sean considerados como no viables y que deberían ser removidos. El árbol que obtuvo el menor valor promedio fue el número 9 (*Fraxinus pennsylvanica*) con USD 6.490. La fórmula que obtuvo el mayor valor promedio fue STEM con USD 68.718 y la que obtuvo el menor fue el M. suizo con USD 4.114.

Los resultados de las mediciones fueron sometidos a una verificación de varianza y pruebas de normalidad para residuos, a partir de lo cual se rechaza la hipótesis nula, por lo que los datos no presentan homocedasticidad y no siguen una distribución normal, por lo que se continúa el análisis haciendo uso de estadística no paramétrica.

El análisis de varianza de Kruskal-Wallis determinó que las fórmulas de valoración usadas presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las medianas del ranking, cuyo estadígrafo fue de 340,57 ($P = 0$), mientras que para las evaluadoras no hubo diferencia estadísticamente significativa y el estadígrafo fue de 0,301 ($P > 0,58$).

Una vez aplicada la prueba de Tukey, las fórmulas se agruparon en cuatro grupos homogéneos (A a la D) de acuerdo a las diferencias significativas mostradas (Cuadro No. 5), mientras que sólo se formó un grupo para las evaluadoras, dado que no se encontró diferencias (Cuadro No. 6).

Las fórmulas N. Granada, CTLA, M. suizo, M. italiano y Helliwell se encuentran en el grupo homogéneo A, con los valores promedio más bajos del ranking. Los grupos homogéneos que se ubican en la medianía del ranking son los grupos B, conformado únicamente por la fórmula de Intendencia, seguido por el grupo C, conformado por VaMa, M. francés y Burnley. Por último en el grupo homogéneo D, con el valor medio más alto, se encuentra la fórmula STEM (Figura No. 1).

Cuadro No. 4. Valor monetario final de cada árbol por fórmula (promedio, USD)

No. de árbol	Helliwell	STEM	Francés	Italiano	CTLA	Burnley	Suizo	Vama	Intendencia	N. Granada	
1	2.470	57.960	9.975	3.732	6.854	15.082	2.858	13.467	8.553	4.250	12.520
2	1.283	47.283	2.660	679	1.669	38.474	709	3.607	2.624	452	9.944
3	2.340	57.638	7.429	2.612	5.020	8.380	1.751	10.183	4.434	1.476	10.126
4	5.200	56.727	12.857	5.089	8.973	20.872	4.715	18.063	10.459	2.037	14.499
5	2.640	85.192	25.929	5.971	15.950	17.857	5.257	64.128	32.582	3.983	25.949
6	9.600	82.217	24.750	7.071	15.911	24.690	6.269	36.339	34.915	6.292	24.805
7	5.733	85.857	21.214	4.821	13.018	15.539	3.300	37.408	20.463	6.434	21.379
8	14.850	77.381	13.714	2.679	8.196	54.674	3.040	24.048	17.189	1.792	21.756
9	347	45.199	4.086	1.213	2.649	5.237	896	2.685	1.912	675	6.490
10	6.600	79.241	12.571	2.986	7.779	67.949	2.647	19.773	8.553	1.057	20.916
11	5.200	90.456	28.500	5.464	16.982	21.486	4.617	65.732	26.431	7.540	27.241
12	12.600	98.122	42.857	7.589	25.223	10.820	6.386	106.881	37.472	5.917	35.387
13	750	61.260	19.286	6.616	12.951	27.625	4.856	8.323	14.664	2.281	15.861
14	150	48.363	10.286	2.411	6.348	4.144	1.505	2.316	0	1.675	7.720

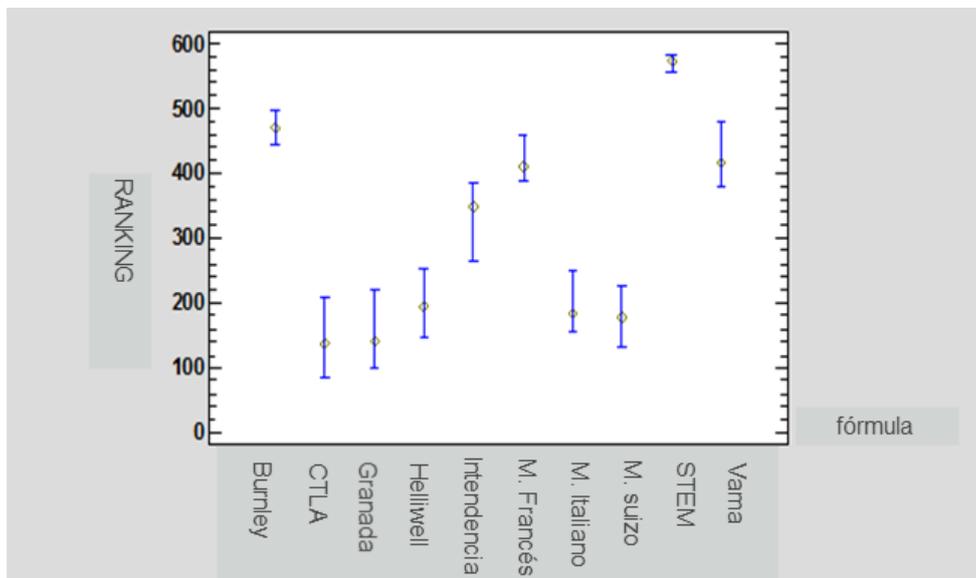
No. de árbol	Helliwell	STEM	Francés	Italiano	CTLA	Burnley	Suizo	Vama	Intendencia	N. Granada	
15	9.360	89.190	60.000	9.257	34.629	27.625	8.460	109.553	20.340	9.991	37.840
16	3.600	87.253	13.393	2.902	8.147	4.834	2.286	33.846	15.714	3.319	17.529
17	125	41.915	12.054	2.652	7.353	16.920	908	3.741	7.610	1.426	9.470
18	2.400	43.813	5.049	1.020	3.034	35.298	1.008	12.398	3.547	280	10.785
19	57.600	145.089	135.000	22.902	78.951	38.272	19.575	140.281	162.814	50.035	85.052
20	7.500	53.199	4.800	857	2.829	63.946	800	5.277	2.558	611	14.238
21	7.920	79.241	44.000	8.046	26.023	57.023	5.955	29.841	12.005	3.883	27.394
22	3.600	56.424	31.875	3.461	17.668	46.617	5.890	13.111	6.262	6.414	19.132
23	2.400	50.072	11.571	2.880	7.226	29.006	2.229	7.214	6.541	2.325	12.146
24	720	35.989	7.329	1.509	4.419	13.198	1.110	2.975	1.074	512	6.883
25	2.400	58.036	9.257	1.607	5.432	43.164	1.400	8.871	2.592	1.840	13.460
26	3.000	64.484	36.161	6.964	21.563	27.337	4.640	18.437	8.475	4.046	19.511
27	3.150	49.061	7.086	1.214	4.150	17.841	1.133	8.337	2.489	460	9.492
28	8.775	88.666	46.286	8.743	27.514	34.531	8.208	69.829	18.417	10.540	32.151

No. de árbol	Helliwell	STEM	Francés	Italiano	CTLA	Burnley	Suizo	Vama	Intendencia	N. Granada	
29	7.875	85.442	50.625	7.714	29.170	43.483	7.940	55.863	8.910	6.621	30.364
30	4.500	62.872	22.500	4.286	13.393	40.286	3.500	14.986	2.726	1.350	17.040
31	3.960	66.605	22.275	2.239	12.257	28.699	3.696	22.046	6.690	4.913	17.338
Prom edio	6.408	68.718	24.367	4.748	14.557	29.062	4.114	31.276	16.420	4.981	

Cuadro No. 5. Grupos homogéneos por fórmulas

Fórmula	Casos	Media	Grupos homogéneos
Granada	62	176,209677	A
CTLA	62	181,983871	A
suizo	62	184,879032	A
italiano	62	205,927419	A
Helliwell	62	207,862903	A
IM	62	314,435484	B
VaMa	62	405,274194	C
francés	62	410,153226	C
Burnley	62	451,677419	C
STEM	62	566,596774	D

Figura No. 1. Mediana, error estándar y ranking para las fórmulas de valoración utilizadas.



Cuadro No. 6. Grupos homogéneos por evaluadoras

Evaluadora	Casos	Media	Grupos homogéneos
Evaluadora 1	310	306,554839	A
Evaluadora 2	310	314,445161	A

5. DISCUSIÓN

En relación a los valores monetarios obtenidos, las variables particulares de cada árbol que están contempladas en las fórmulas, son las que generarían las principales diferencias en la valoración, distinguiendo a los árboles por sus diferentes propiedades cuantitativas y cualitativas.

Fue posible encontrar variaciones para un mismo árbol al aplicar las fórmulas. Teniendo en cuenta que se encontraron diferencias significativas entre las medianas de los valores finales, no es indistinta la elección de una fórmula u otra, mientras que en el análisis fue posible identificar que las fórmulas se organizaron en cuatro grupos.

Los mayores valores monetarios de los árboles están dados por la fórmula STEM, coincidente con el análisis estadístico, ya que se ubicó en el primer lugar del ranking. Este resultado se observó también en los trabajos de Watson (2002), Ponce Donoso et al. (2012). Esto podría ser, en parte, consecuencia de la existencia del factor de conversión minorista, el cual multiplica el valor final por 1,5, además ésta es la única fórmula que incluye en el valor base el costo de plantación y mantención.

En el grupo C se ubicaron las fórmulas Burnley, M. francés y VaMa. A diferencia de lo que señalaron Ponce Donoso et al. (2012), la fórmula Burnley obtuvo una posición relativa alta de los valores promedio, similar a lo señalado en los estudios realizados por Watson (2002), Ponce Donoso y Vallejos-Barra (2015), Ponce Donoso et al. (2017a). Lo anterior podría explicarse por el índice de volumen, ya que los árboles de menor tamaño obtienen un mayor valor para este índice. Como consecuencia se sobreestimaron los árboles de porte pequeño, tal como el árbol No.8 (*Liriodendron tulipifera*), que presenta un valor final mayor al del árbol No. 19 (*Phytolacca dioica*) que es un árbol de gran porte.

El M. francés tomó valores altos en el análisis estadístico realizado, a diferencia de Ponce Donoso y Vallejos Barra (2015), Ponce Donoso et al. (2017a) para quienes esta fórmula se posicionó como uno de los valores promedio del ranking más bajos. A su vez el M. suizo, siendo una derivación del M. francés, presentó valores promedio mucho más bajos, ubicándolos en grupos separados (Ponce Donoso y Vallejos Barra, 2015).

La fórmula de la Intendencia de Montevideo integra su propio grupo B, presentando valores intermedios en el promedio del ranking.

Dentro del grupo homogéneo A, la fórmula de la N. Granada presentó el menor promedio del ranking, esto difiere de los resultados obtenidos por los estudios de Watson (2002), Ponce Donoso et al. (2015, 2017a) donde esta fórmula está entre los valores más altos del ranking. Dicha diferencia se podría explicar por el coeficiente actualizado, correspondiente a la especie

individualizada, donde no se encuentran algunas especies del hemisferio sur, por lo que se utilizó un promedio de las demás especies en estos casos, lo que habría subestimado las valoraciones. El valor base del árbol se calcula a partir del coeficiente actualizado de Köppen, coeficiente corrector edafológico y el perímetro a 1m de altura, es el único caso donde el precio base no se ajustó a los precios de mercado y además existen en su cálculo coeficientes de origen no explicado, tal vez locales, que generan el valor base de la fórmula. Cuando es usada fuera de España, con condiciones de crecimiento y situación económica diferente, podría ser necesario un ajuste para realizar una valoración completamente válida. Lo anterior señala que para su uso en países latinoamericanos debería ajustarse algunos de sus parámetros a las condiciones locales (Watson, 2002).

En el mismo grupo homogéneo (A) se encuentra el método Helliwell, que a diferencia de los trabajos de Ponce Donoso (2012), Ponce Donoso, Vallejos Barra (2015), Ponce Donoso et al. (2017a), presentó valores que lo ubican entre los más bajos del ranking.

El valor promedio del ranking para CTLA se encuentra entre los más bajos, al igual que en el trabajo de Watson (2002), sin embargo en los trabajos de Ponce Donoso et al. (2012, 2013, 2017a), Ponce Donoso y Vallejos Barra (2015), ésta toma valores intermedios en el ranking. Al igual que la fórmula Helliwell, se ha cuestionado el método CTLA debido a su subjetividad, lo cual puede tener como consecuencia estas diferencias en el ranking (Cullen, 2007).

Las fórmulas que presentaron la más alta dispersión de valores en el ranking fueron CTLA, N. Granada e Intendencia de Montevideo (Figura No. 1). También presentaron una amplia distribución Helliwell, M. italiano, M. suizo y VaMa, lo que mostraría un mejor desempeño de estas fórmulas, ya que serían capaces de discriminar las diferencias entre individuos y sus propias características, tal como lo señala Ponce Donoso et al. (2013). En cambio, Burnley, el M. francés y STEM tuvieron dispersiones menores (Figura No. 1). Según Ponce Donoso y Vallejos Barra (2015), las fórmulas que presentan la más alta dispersión de los valores son: CTLA, N. Granada, M. francés, M. italiano y M. suizo, coincidiendo en gran medida con los resultados obtenidos en esta tesis.

La posición de la mediana en el rango de dispersión de los datos para cada fórmula, como indicador de la distribución de los datos, señala que cuanto más centrada se encuentre, los datos se distribuirían de manera más uniforme (Figura No. 1). En este sentido, dado que los individuos evaluados fueron seleccionados al azar, se esperaría que los valores obtenidos deberían distribuirse de manera uniforme; así, las fórmulas que presentan dicha característica tendrían una valoración más cercana a la realidad de su selección al azar, como Burnley, Helliwell, CTLA y M. suizo (Ponce Donoso et

al.,2017a). Las fórmulas que obtuvieron menor dispersión (Figura No. 1) fueron las fórmulas de Intendencia, M. francés, M. italiano y STEM.

En cuanto a las evaluadoras no se observaron diferencias estadísticamente significativas, lo cual coincide con los resultados de Ponce Donoso y Vallejos Barra (2015), sugiriendo que esto no influiría en la agrupación de las fórmulas cuyas diferencias radican en sus características propias. Esto podría deberse a que ambas tienen niveles de experiencia parecidos y recibieron similar inducción del uso de las fórmulas. Sin embargo, a fin de corroborar estos resultados, se deberían realizar las mediciones con un mayor número de evaluadores. Como en los trabajos realizados por Watson (2002), Ponce Donoso y Vallejos Barra (2015), Ponce Donoso et al. (2017a, 2017b)

Respecto a observaciones realizadas de la aplicabilidad de las fórmulas, se destaca la facilidad de uso en su gran mayoría. Es importante que evaluadores sin o con poca experiencia sean capaces de aplicarla. Sin embargo, generan dificultad de uso aquellas fórmulas que consideran valores entre clases, como es el caso de Helliwell, que en el factor tamaño de árbol, se estima deja algunos valores fuera de las clases definidas.

Otros casos que generan dificultades de uso son las fórmulas que tienen uno o más factores y que dentro de su descripción no contemplan todos los casos; esto dificulta al evaluador, que ante una situación particular puede no encontrar un valor que se adecúe. Un ejemplo es el índice de vigor en Burnley, donde los descriptores son muy específicos, por ejemplo aludiendo a bifurcaciones o madera muerta, dejando fuera otras situaciones como el estado del follaje, raíces u otras. Además presentan este tipo de factores las fórmulas M. francés, M. suizo e Intendencia.

Por otro lado, la fórmula que resultó más compleja al momento de realizar las mediciones fue N. Granada, debido al hecho de tener que cambiar de escala según el factor que se estuviera midiendo, lo que podría aumentar la probabilidad de cometer errores o ampliar la variabilidad.

La dificultad de obtención de los datos requeridos para la fórmula es otra limitante a considerar. El dato más comúnmente utilizado que se considera de difícil obtención o estimación, es la edad del árbol. Éste no está registrado para muchos de los ejemplares de árboles en Montevideo, por lo que en la mayoría de los casos se deberían realizar estimaciones. En consecuencia, para esta aplicación particular, fue poco preciso en la mayoría de los casos. Aunque la edad puede ser importante a la hora de valorar los árboles en algunas fórmulas, se puede prescindir de ella al darle mayor importancia al tamaño y estado vegetativo, como es el caso de VaMa.

Otro caso donde existen datos de difícil obtención es en la N. Granada, ya que el coeficiente para zona climática de Köppen no está

disponible para todas las especies evaluadas. A su vez, en esta fórmula se contempla un coeficiente corrector edafológico, donde para árboles en alcorque no implica un problema, de lo contrario este coeficiente es difícil de estimar. En todo caso, los árboles en alcorque no siempre se desarrollan de buena forma, dado que este espacio es a veces insuficiente para las características de crecimiento de la especie.

5.1. INFLUENCIA INDIVIDUAL POR FACTORES

5.1.1. Tamaño

Las diferentes fórmulas pueden o no tener en cuenta el factor tamaño, y lo miden de formas diferentes, ya sea calculando un volumen a partir del diámetro de copa y altura (Helliwell, Burnley y VaMA) o a partir de la circunferencia, área basal o altura, como es el caso de las fórmulas del M. italiano, M. francés, N. Granada, STEM, CTLA y M. suizo.

En el caso de Helliwell, se asignan puntos al índice tamaño, calculados a partir del diámetro de copa, que se multiplica por la altura del árbol (valor dado en m³). Este puntaje va del 0 al 4, al igual que los otros seis factores que componen la fórmula. Los rangos de las clases de tamaño son muy amplios, por lo que se subestiman los árboles de gran porte, al caer la gran mayoría de los árboles en las clases 3 o 4. Un ejemplo de esto es el árbol No. 8, (*Liriodendron tulipifera*) con 81 m³, que comparado con el (*Platanus x acerifolia*) árbol No. 12, de 386 m³, a pesar de tener un tamaño mayor, el valor final promedio es más alto para el árbol más pequeño, siendo en este caso el factor que presentó mayor diferencia entre los árboles el valor base, el cual explica el mayor valor para *Liriodendron tulipifera*.

La fórmula de la Intendencia no utiliza un factor relacionado al tamaño del árbol directamente, sino que utiliza el factor edad/DAP. Sin embargo, no tiene demasiado peso dentro de la fórmula, siendo el factor de mayor peso el de situación, teniendo en cuenta que todos los factores de la fórmula se multiplican y el índice de situación es el que alcanza valores más altos.

A la hora de evaluar los árboles según el tamaño, se considera conveniente la utilización de un factor que considere no solamente la circunferencia o DAP del fuste, sino que el volumen que ocupa la copa, ya que al considerar solamente los primeros, se tiende a subestimar el espacio que ocupa la copa y eventualmente algunas de sus funciones ambientales como sombra y captación de material particulado, entre otras. La única fórmula que considera ambas variables es VaMa.

5.1.2. Especie

El factor especie no tiene gran influencia en las fórmulas, ya que la mayoría no contemplan un factor donde se la tenga en cuenta, sino que se basan en las características individuales de cada árbol en particular.

La única fórmula que contiene un factor relacionado a la especie es la N. Granada, que se vincula a un coeficiente de especies para zona climática particular. Sin embargo, como se expresara, éste tendría limitaciones cuando se trata de zonas climáticas que no están debidamente relacionadas con la especie.

En las demás fórmulas, el único factor donde se puede observar una diferencia entre especies corresponde al valor base, el cual varía según su precio en vivero. En este punto hay que advertir que el precio en vivero obedece, en la mayoría de los casos, a la ley de oferta y demanda, por lo que especies de moda, podrán tener precios relativos más altos que especies que pudieran ser más complejas de producir.

5.1.3. Ubicación

La ubicación varía en importancia en las distintas fórmulas. Algunas utilizan un índice donde se les atribuye el mismo valor a todos los árboles dentro de la ciudad, sin distinguir la zona donde se encuentran, como áreas céntricas y muy transitadas o residenciales menos transitadas, por lo que los individuos no se distinguen por este índice. Es importante que la fórmula tenga un factor específico para ubicación, ya que en lugares con mayor población, las funciones y amenidades provistas por los árboles son aprovechadas por un mayor número de personas. En este sentido, la fórmula debería no sólo contemplar si el árbol se encuentra dentro de la ciudad o su periferia, sino que también destaque que el árbol se encuentre en el lugar más transitado de la ciudad, como avenidas, arboreto, plazas céntricas, así como también alineación o conveniencia del ejemplar en ese sitio. El índice de ubicación de la fórmula CTLA, presenta un valor de 0,8 para todos los individuos, ya que este valor abarca un amplio rango de ubicaciones dentro de la ciudad (área residencial, áreas públicas y áreas comerciales). El método italiano y el M. suizo, tienen un efecto similar con respecto al índice ubicación, ya que solo consideran dos valores, muy cercanos para las mediciones realizadas, centro de la ciudad (10) o periferia (8).

En algunas fórmulas la ubicación tiene gran importancia, como Helliwell y STEM, que tienen más de un factor relacionado. En Helliwell tres de siete factores refieren a la ubicación, mientras que en STEM, cinco de veinte están de alguna manera vinculados (Watson, 2002).

En las fórmulas como Intendencia, VaMA o Burnley el factor ubicación tiene la capacidad de distinguir un mayor número de situaciones. Además de tener en cuenta la ubicación, dentro o fuera de la ciudad, distingue árboles que están mejor adaptados, en sitios correctos, que no generan ningún inconveniente, en lugares de difícil reposición y ubicaciones destacadas dentro de la ciudad, como avenidas o calles principales.

Un caso especial es el M. francés, donde el descriptor de los factores hace referencia sólo a árboles que formen parte de una alineación, siendo una limitante para individuos que no se encuentren en esta condición. En el caso de los árboles No. 15 (*Grevillea robusta*) y No. 19 (*Phytolacca dioica*) que se encontraban en plazas, no se tomó en cuenta la descripción de impacto en el paisaje dada por la fórmula ya que hacen referencia a alineaciones, sino que se tomó la escala del 1 al 4 (obviando los descriptores) para adjudicarle un valor de impacto en el paisaje.

5.1.4. Condición sanitaria

Este es un factor que aparece en todas la fórmulas, ya sea de forma directa o indirecta. Casos como Helliwell, STEM o la fórmula de Intendencia se refieren a la condición sanitaria del árbol de manera indirecta. Por ejemplo, asociándose con el estado vegetativo, la relación de las especies con la adaptación local y el vigor.

El M. francés, M. italiano, N. Granada, CTLA, Burnley, M. suizo y VaMA presentan uno o más factores que se relacionan directamente con la condición sanitaria, por ejemplo índice sanitario y de valor estético en el M. francés, estado de salud en el M. italiano, factores intrínsecos (estado sanitario del árbol) en la N. Granada, entre otros.

Un caso a destacar de esta variable se dio en la medición del árbol No. 14 (*Jacaranda mimosifolia*), que tenía un estado sanitario pobre. La fórmula de Intendencia contempla la posibilidad de extracción del árbol, asignándole valor cero (0) a aquellos ejemplares que presenten un pobre estado sanitario. Con las demás fórmulas, si bien el valor del árbol fue bajo, en ningún caso se sugería su extracción, aspecto que diferencia a la fórmula de Intendencia.

Al comparar dos árboles de características similares, pero con condiciones sanitarias contrastantes, como son el árbol No. 8 (*Liriodendron*

tulipifera), que tiene condiciones sanitarias muy buenas y el árbol No. 14 (*Jacaranda mimosifolia*), el cual se encuentra en un estado sanitario malo. Todas estas fórmulas entregan valores más altos para el árbol No. 8, lo cual indica que para todas las fórmulas el estado sanitario del árbol es un factor capaz de disminuir el valor del árbol.

5.1.5. Factores especiales

Cuatro de las diez fórmulas aplicadas incorporan factores especiales, como estar ubicados en un arboretum, lugar destacable, también por ser individuos protegidos, ejemplares históricos, o tener atributos excepcionales.

De los árboles evaluados, el árbol que presentó factores especiales destacables fue el No. 19 por su gran tamaño, edad y significancia histórica.

Fórmulas que destacan el alto valor obtenido en el ranking son STEM e Intendencia. La fórmula de Intendencia genera el valor más alto para el árbol No. 19 (*Phytolacca dioica*) a pesar que en esta fórmula no están contemplados factores especiales, como los reseñados precedentemente, el alto valor monetario se debería al índice de situación, donde árboles destacados o en alineación valiosa, se les asigna un índice muy alto, lo cual tiene un gran peso en la fórmula.

La fórmula STEM cuenta con diez de veinte factores dedicados a factores especiales, los que serían raramente utilizados por los evaluadores (Watson, 2002), sólo en casos especiales se utiliza uno o algunos de ellos, dándole un valor extra al árbol.

Otro caso es la fórmula VaMa, que además de tener factores especiales que agregan valor, tiene índices que hacen referencia a éstos de forma indirecta, como son la ubicación y las amenidades. Por otro lado, también presenta un índice de dis-servicios, cuyo fin es reducir el valor final de la valoración monetaria, lo que se vincula con ser una especie alergénica, que tenga espinas, presente caída de frutos, entre otras.

La existencia de factores especiales es útil cuando nos encontramos con ejemplares que presentan características a destacar, por ello la fórmula a utilizar debería contemplarlos, aunque no sean utilizados para la mayoría de los casos. Las fórmulas Helliwell, STEM, N. Granada, VaMa e Intendencia los tienen en cuenta, tanto de forma directa o indirecta. Otros como el M. francés, CTLA, Burnley y M. suizo, no incorporan factores especiales en sus ecuaciones.

5.1.6. Amenidades y servicios ambientales

Cabe destacar que algunas de las fórmulas usadas presentan un factor que considere las amenidades y servicios ambientales. Las fórmulas, M. italiano, CTLA, Burnley y M. suizo no hacen referencia a ningún tipo de amenidad. Las fórmulas del M. francés y VaMa sí lo hacen, pero sólo desde el punto de vista estético, no teniendo en cuenta otras, como podrían ser pantalla sonora o visual, el control de la reflexión solar, contribución a la mejora ambiental, entre otras de este tipo.

Las fórmulas más completas con respecto a las amenidades son STEM y N. Granada. Esta última es más específica en la descripción de amenidades.

5.1.7. Valor base

El valor base es un componente que se encuentra en todas las fórmulas utilizadas. Esta variable tiene gran influencia en la aplicación de las fórmulas. Es importante incorporar las condiciones del mercado local y resulta ser un elemento de importancia para la determinación del valor final (Cullen 2002, Ponce Donoso et al. 2012).

Como observación de diferencias entre fórmulas cabe mencionar que la mayoría de las fórmulas utilizan un valor base basado en precios de vivero con precios en moneda local, sin embargo, la N. Granada y VaMa generan valores usando otras divisas, que no utilizan el precio de vivero de cada especie en el país donde realiza la evaluación. En este caso, la ventaja que ofrece la VaMa es que, a pesar de usar otra divisa, tiene en cuenta el aumento anual de los precios medios de la economía ya que utiliza la UTM que incorpora la inflación. Sin embargo, para caso del uso en Uruguay debería adscribirse uno de los indicadores que reflejen el índice de precios del país.

6. CONCLUSIONES

La evaluación de las diez fórmulas permitió comparar los valores monetarios, determinar si había diferencia significativa entre evaluadores, e identificar las fórmulas que poseen las mejores características para su aplicación en Montevideo.

Las fórmulas mostraron un buen comportamiento para distinguir entre las diversas características de los árboles tasados, dándole mayor valor a aquellos árboles que se observaron con rasgos distintivos o superiores.

Mediante el análisis estadístico se demostró que hay diferencias significativas entre los valores monetarios resultantes de las fórmulas aplicadas. A su vez no se observaron diferencias significativas entre evaluadores.

Si tomamos como referencia factores como la amplia dispersión de los valores obtenidos, posición media de la mediana, ubicación, amenidades, valor base en moneda local, facilidad de uso, subjetividad, factores especiales y facilidad de obtención de datos, ninguna fórmula resultó completamente adecuada para su aplicación en Montevideo.

La fórmula Intendencia presentó valores medios en el ranking lo que se puede considerar como una ventaja, ya que no presenta valores extremos, pero tiene un importante sesgo. Deja de lado criterios importantes como amenidades, sanidad, factores especiales, tamaño y además utiliza la edad.

La fórmula que mejor se ajustaría a las necesidades en Montevideo es VaMa, debido a la facilidad de aplicación, forma de abordar la ubicación, amenidades y tamaño, además por no considerar la edad e incorporar factores especiales. Para su factible utilización en Uruguay, deberían realizarse algunos ajustes como la adaptación de las UTM a un equivalente en el país.

Se recomienda seguir estudiando el comportamiento de éstas y otras fórmulas, así como también incorporar más evaluadores que permitan incorporar otras fuentes de variación.

Finalmente, para cualquier fórmula utilizada en la valoración del arbolado urbano con fines de fiscalización, se deberían incorporar los costos de extracción de los árboles, disposición de residuos, mantención y plantación, aspectos que ninguna fórmula incorpora.

7. RESUMEN

La valoración monetaria del arbolado urbano es un campo de estudio a nivel mundial, donde se intenta resolver la problemática de su justo valor monetario. A diferencia de la producción de árboles comerciales que producen flujos de caja, el arbolado urbano no provee de servicios intercambiables en un mercado tradicional. A pedido de la IM, surge la propuesta de tesis para comparar diferentes fórmulas y métodos de valoración utilizados a nivel mundial, incluyendo la fórmula utilizada actualmente por la Intendencia, evaluando la conveniencia de su uso. Con este fin se realizó una revisión bibliográfica que permitió obtener un panorama de los métodos de valoración internacional. Se eligieron diez fórmulas para esta evaluación (Helliwell, STEM, M. italiano, M. francés, CTLA, N. Granada, Intendencia, VaMa, M. suizo y Burnley) con las que se tasaron 31 árboles, de 18 especies de la ciudad de Montevideo, trabajo realizado por dos evaluadoras sin experiencia. A partir de los 620 valores monetarios obtenidos, se hizo un análisis estadístico sobre dos fuentes de variación, fórmulas y evaluadoras. Se comprobó que no hubo diferencias significativas entre las evaluadoras, pero sí entre las fórmulas, diferenciándose cuatro grupos homogéneos. Las fórmulas que quedaron dentro del grupo A, aquellas que presentaron los valores más bajos fueron: N. Granada, CTLA, M. suizo, M. italiano y Helliwell. En el grupo B, con valores medios poco más bajos, se encontró la fórmula de Intendencia, mientras que en el grupo C, con valores medios poco más altos, se ubicaron VaMa, M. francés y Burnley; en el grupo D, con valores promedios altos, quedó conformado por la fórmula STEM. A partir de los resultados y del análisis de las fórmulas, se concluye que la fórmula de Intendencia no sería la de mayor conveniencia para determinar el valor monetario del arbolado urbano de Montevideo. La fórmula que se considera de mayor aptitud para la valoración del arbolado urbano en Montevideo es VaMa siempre que se le realicen determinados ajustes pertinentes, los que en todo caso, deberían evaluarse, para lo cual se sugiere seguir la metodología aquí propuesta, incorporando evaluadores con experiencia.

Palabras clave: Arbolado urbano; Valoración; Métodos de valoración;
Tasación de árboles.

8. SUMMARY

The urban trees appraisal is a worldwide field of study, where it is intended to solve the issue of a fair appraisal. In contrast to commercial tree production that generates cash flow, the urban trees do not produce interchangeable services. As a request from Montevideo's city council, arises the thesis proposal of analyzing different formulas and appraisal methods used worldwide, and compare them between each other and with the formula used nowadays by the city council, evaluating the convenience of using the actual formula. To this end, a bibliographic revision was done allowing to obtain an outlook of the international appraisal methods. Following this, ten formulas were chosen (Helliwell, STEM, italian, french, CTLA, Granada, city council formula, swiss, Burnley), with which 31 trees of 18 species were measured in Montevideo's city, by two evaluators with no previous experience in urban tree appraisal. From the 620 monetary values obtained, a statistic analysis was made, over two variation sources, formulas and evaluators. With the analysis results, it was proved that there is no significant difference between evaluators, but there was between formulas, differentiating into four homogeneous groups. The formulas within group A, the ones who presented the lowest values, are: N. Granada, CTLA, sweden, italian and Helliwell. Group B is formed only by the city council formula, while in group C, VaMa, french and Burnley methods can be found. Finally, group D is composed only by the STEM formula with the highest values of the ranking. In the light of the results, and of an individual analysis of the formulas, it is concluded that the city council formula is not the most convenient one, given that there are formulas that comply with more important criteria. The formula that is considered more suited for the urban tree appraisal in the city of Montevideo is the VaMa formula, provided that the appropriate adjustments are made.

Key words: Urban trees; Appraisal; Appraisal methods; Evaluation.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. AEPJP (Asociación Española de Parques y Jardines Públicos, ES). 2007. Norma Granada; método para valoración de árboles y arbustos ornamentales. 3ª. ed. Madrid, España. 53 p.
2. Bernatzky, A. 1989. Tree ecology and preservation; development in agricultural and management forest ecology. 3rd. ed. Amsterdam, Elsevier. 366 p
3. Burden, D. 2006. 22 benefits of urban street trees (en línea). Washington, Walkable Communities. 21 p. Consultado 14 jul. 2016. Disponible en http://www.walkable.org/download/22_benefits.pdf
4. Caballer, V. 1999. Valoración de árboles frutales, forestales medioambientales y ornamentales. Madrid, Mundi-Prensa. 247 p.
5. Coley, R. L.; Kuo, F. E.; Sullivan, W. C. 1997. Where does community grow? The social context created by nature in urban public housing. *Environment and Behavior*. 29 (4): 468-492.
6. Contato Carol, M. L.; Ayuga Téllez, E.; Grande Ortiz, M. A. 2008. A comparative analysis of methods for the valuation of urban trees in Santiago del Estero, Argentina. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 6(3): 341-352.
7. CTLA (Council of Tree and Landscape Appraisers, US). 1992. Guide for plant appraisal. 8th. ed. Savoy, USA. 103 p.
8. Cullen, S. 2002. Tree appraisal; can depreciation factors be rated greater than 100%? *Journal of Arboriculture*. 28(3):153-158.
9. _____. 2007. Putting a value on trees – CTLA guidelines and methods. *Arboricultural of Journal*. 30(1): 21–43.
10. Dye, C. 2008. Health and urban living. *Science*. 319(5864): 766-769.
11. Espluga, A. P. 1989. Valoración de árboles ornamentales; modelo para la determinación de un valor básico en función del tamaño. Tesis Doctorado. Madrid, España. Universidad Politécnica de Madrid. 137 p.
12. Fabbri, M. 1989. Metodi di stima del valore delle piante ornamentali. *Acer*. 2:15-19.
13. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 1993. The potential of urban forestry in developing countries; a concept paper. (en línea). Rome. s.p.

Consultado 20 abr. 2016. Disponible en
<http://www.fao.org/docrep/005/t1680e/T1680E00.htm#TOC>

14. _____. 1997. Valoración de los bosques; contexto, problemas y directrices. (en línea). Roma. s.p. Consultado 19 oct. 2016. Disponible en
<http://www.fao.org/docrep/005/t1680e/T1680E00.htm#TOC>
15. Ferraris, P. 1984. Note sulla valutazione del soprasuolo arbóreo di parchi e giardini. *Flortécnica*. 11: 11-15.
16. Flook, R. 1996. A Standard Tree Evaluation Method – STEM. *Journal of the New Zealand Institute of Horticulture*. 1: 29-35.
17. Gómez Baggethun, E.; Barton, D. N. 2013. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*. 86: 235-245.
18. Grande Ortiz, M. A.; Ayuga Téllez, E.; Contato Carol, M. L. 2012. Methods of tree appraisal; a review of their features and application possibilities. *Arboriculture and Urban Forestry*. 38(4): 130-140.
19. Green Blue Urban. 2015. Trees as sound barriers. (en línea). New York. s.p. Consultado 14 jul. 2016. Disponible en
<http://www.greenblue.com/gb/trees-as-sound-barriers/?loc=gb>
20. Heisler, G. M. 1986. Energy saving with trees. *Journal of Arboriculture*. 12(5): 113-125.
21. Helliwell, D. R. 2008. Amenity valuation of trees and woodlands. *Arboricultural Journal*. 31: 161-168.
22. Helms, J. 1998. *The dictionary of forestry*. 2nd. ed. Maryland, USA, Society of American Foresters. 210 p.
23. Herrera, L. 2006. Fijación de CO₂ por parte de los árboles urbanos. Propuesta para un programa de captura para Bogotá D.C. *In: Encuentro Internacional de Arborización (1^o., 2005, Bogotá). Trabajos presentados*. Bogotá, s.e. pp. 1-12.
24. ICLEI (local governments for sustainability, US). 2006. *Talking trees; an urban forestry toolkit for local governments*. New York, USA. 88 p.
25. IMM (Intendencia Municipal de Montevideo). 2006. *Digesto departamental*. Montevideo. s.p.
26. Konijnendijk, C. C.; Ricard, R. M.; Kenney, A.; Randrup, T. B. 2006. Defining urban forestry; a comparative perspective of North America and Europe. *Urban Forestry & Urban Greening*. 4(34): 93-103.

27. Kuchelmeister, G. 2000. Árboles y silvicultura en el medio urbano. *Unasylva*. 51(200): 49-56.
28. Ledesma, M. 2008. Arbolado público; conceptos, manejo. Córdoba, Argentina, INTA. 75 p.
29. López, R.; López, M. 2013. Evaluación y comportamiento paisajístico de especies nativas en Linares, n. l., 16 años de evaluación. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 4 (17): 165-173.
30. López Arce., M.; Del Alamo, C. 1975. El cálculo de indemnizaciones derivadas de la pérdida de árboles ornamentales. Madrid, I.C.O.N.A. pp. 37-52.
31. Martínez, C. E. 2004. Valoración económica de áreas verdes urbanas de uso público en la comuna de la Reina. Tesis Maestría en Gestión y Planificación Ambiental. Santiago de Chile, Chile. Universidad de Chile. 131 p.
32. Miller, R. W. 1997. *Urban forestry; planning and managing urban greenspaces*. 2nd ed. New Jersey, Prentice Hall. 502 p.
33. Nowak, D. J.; Dwyer, J. F. 2007. *Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems*. New Jersey, Springer. pp. 25-41.
34. Ponce Donoso, M.; Vallejos Barra, O.; Daniluk Mosquera, G. 2012. Comparación de fórmulas chilenas e internacionales para valoración del arbolado urbano. *Bosque*. 33(1): 69-81.
35. _____.; _____.; Daniluk Mosquera, D.; Avilés Palacios, C. 2013. Comparación de siete fórmulas chilenas para la valoración del arbolado urbano. *Agrociencia*. 47(7):723-737.
36. _____.; _____. 2015. Valoración de árboles urbanos, comparación de fórmulas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 48: 195-208.
37. _____.; _____.; Escobedo, F. J. 2017a. Appraisal of urban trees using twelve valuation formulas and two appraiser groups. *Arboriculture & Urban Forestry*, 43(2):72-82
38. _____.; _____.; _____. 2017b. Fórmula para la valoración monetaria del árbol urbano en Chile central. *Bosque*. 38(1): 67-78
39. Posada, M. I.; Arroyave, M. P.; Fernández, C. 2009. Influencia de la vegetación en los niveles de ruido urbano. *EIA*. 12: 79-89.
40. Priego, C. 2002. Beneficios del arbolado urbano. (en línea). Madrid, s.e. pp. 1-24. Consultado 20 jul. 2016. Disponible en

<http://digital.csic.es/bitstream/10261/24578/1/Beneficios%20del%20arbolado%20urbano.pdf>

41. Prieto, A. 1999. Valoración de montes arbolados. (en línea). Madrid, Ministerio de Hacienda y Función Pública. Dirección General de Catastro. pp. 37-52. Consultado 20 oct. 2016. Disponible en http://www.catastro.meh.es/documentos/publicaciones/ct/ct36/ct3%206_3.pdf.
42. Riera, P. 1994. Manual de valoración contingente. Madrid, Instituto de Estudios Fiscales. 112 p.
43. Sarajevs, V. 2011. Street tree valuation system. (en línea). Bristol, Forestry Commission. 6 p. Consultado 10 ago. 2016. Disponible en [http://www.forestry.gov.uk/pdf/FCRN008.pdf/\\$FILE/FCRN008.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/FCRN008.pdf/$FILE/FCRN008.pdf)
44. Selia, A. F.; Anderson L. M. 1982. Estimating costs of tree preservation on residential lots. *Journal of Arboriculture*. 8(7): 182-185.
45. Smith, W. H. 1990. Air pollution and forests; interaction between air contaminants and forest ecosystems. 2nd. ed. New York, Springer. 618 p.
46. Souch, C. A.; Souch, C. 1993. The effect of trees on summertime below canopy urban climates; a case study Bloomington, Indiana. *Journal of Arboriculture*. 19(5): 303-212.
47. Sullivan, W. C.; Kuo, F. E.; DePooter, S. F. 2004. The fruit of urban nature. *Environment and Behaviour*. 36: 678-700
48. Terrani, E. 2014. Evaluación de la estructura y comportamiento del arbolado urbano en Montevideo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 135 p.
49. Tumini, I. 2010. Estrategias para reducción del efecto isla de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicado al caso de Madrid. (en línea). In: Sustainable Building Conference (10th., 2010, Madrid). Ponencias. Madrid, s.e. p.irr. Consultado 14 ago. 2016. Disponible en <http://www.sb10mad.com/ponencias/archivos/a/A033.pdf>
50. UANL. FCF (Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales, MX). 2013. Evaluación y comportamiento paisajístico de especies nativas en Linares, N.L., 16 años de evaluación. México. 8 p.
51. Ulrich, R. S. 1984. View through a window may influence recovery from surgery. *Science*. 224: 420-421.

52. Vidal, F. 2012. La valoración del arbolado en España; una revisión. *Economía Agraria y Recursos Naturales*. 12 (1): 115-140.
53. Villota, M. 2015. El árbol en la ciudad como elemento de identidad urbana. (en línea). Vitoria Gasteiz, Ayuntamiento de Vitoria Gasteiz. s.p. Consultado 28 set. 2016. Disponible en http://www.vitoriagasteiz.org/wb021/http/contenidosEstaticos/adjuntos/eu/10/46/610_46.pdf.
54. Voogt, J. A. 2008. Islas de calor en zonas urbanas; ciudades más calientes (en línea). McLean, Virginia, American Institute of Biological Science (AIBS). s.p. Consultado 24 ene. 2017. Disponible en <http://www.actionbioscience.org/esp/ambiente/voogt.html>.
55. Watson, G. 2002. Comparing formula methods of tree appraisal. *Journal of Agriculture*. 28(1): 11-18.
56. Wells, N. M. 2000. Effects of greenness on children's cognitive functioning. *Environment and Behavior*. 32(6): 775-795.
57. Wolf, K. L. 2004. Trees and business district preferences; a case study of Athens, Georgia US. *Journal of Arboriculture*. 30(6): 336-346.

10. ANEXOS

Anexo 1. Tablas de criterios de medición para los métodos utilizados en la evaluación.

Criterios de medición, M. suizo

Pb	Precio base , para una latifoliada corresponde al 1/10 del precio de mercado de una planta con una circunferencia de 10 a 12 cm medida a 1 metro del suelo. Para una conífera es el 1/10 de precio de mercado de una planta cuya altura sea 150 a 170 cm
-----------	---

ID	Índice de dimensión , depende de la circunferencia del tronco a 1 metro de alto
-----------	--

IP	índice de posición	
(10); centro de la ciudad	(6); en la periferia	(2): en zona rural
(8): en el medio de la periferia (8)	(4): parque a las afueras	

IES	Índice estético y de condición sanitaria	
(10): planta sana, vigorosa, solitaria ejemplar	(6): planta sana, media vigorosa, en fila	(0.5): planta sin vigor, enferma
(9): planta sana, vigorosa, en fila	(5): planta sana, media vigorosa, en grupo	(0.1): lanta sin o con escaso valor
(8): planta sana, vigorosa, en grupo	(3): planta poco vigorosa, al fin del ciclo vegetativo, en hilera	
(7): planta sana, media vigorosa, solitaria ejemplar	(2): planta poco vigorosa, al final del ciclo vegetativo o malformada, en grupo o solitaria	

IR Índice de reducción del valor por daño. Se aplica sólo en el caso de daño entre un 10 y 50% respecto de la circunferencia

Criterios de medición, método francés

Pb Índice de especie y variedad. Está basado sobre el precio de venta promedio de referencia de un árbol, cuyo tronco sea 10/12, según la Federación Nacional de Productores de Viveros y según precios en el catálogo de viveros en el área de París. El precio de referencia corresponde al año en que se hace la valoración. El valor del índice corresponde a un décimo de este precio de referencia. Este índice permite expresar la rareza de la especie, las dificultades de reproducción, el tiempo de crecimiento y la adaptación al área.

B Índice sanitario y valor estético. Este índice considera el estado general del árbol, sus partes aéreas, las heridas y su cicatrización, la sanidad del tronco, la presencia de elementos patógenos y en general el grado de desarrollo y vigor del árbol.

8: clase A: muy buen estado (árbol sano y vigoroso)

6: clase B: con características poco alteradas (medianamente sano y vigoroso, presenta heridas y alteraciones menores de cicatrizado).

4: clase C: con características alteradas (árbol de vigor débil, heridas no bien cicatrizadas).

2: clase D: con características decadentes.

U Índice estético y de ubicación. Éste se calcula con la suma de 3 criterios (Impacto del paisaje + Homogeneidad de la alineación + Interés patrimonial)

Impacto en el paisaje **4:** alineación notable gracias a la estatura, el desarrollo de los árboles, el carácter histórico, la amplitud

3: impacto significativo en el paisaje producto de una importante alineación, composición y puesta en relieve del paisaje o sitio

2: impacto significativo en el paisaje producto de la alineación que contribuye a mejorar la estructura del

paisaje y la integración con la red de calles (ej. alineación en un sitio más o menor poblado de árboles)

1: impacto en el paisaje poco significativo, debido a la que la alineación presenta un interés menor en el paisaje

Homogeneidad **1:** alineación homogénea (más del 80% de los árboles) **2:** alineación heterogénea (menos del 80% de los árboles)

Interés patrimonial **1:** alineación no protegida de manera específica **2:** alineación protegida por las leyes o reglamentos

D Índice de tamaño (con valores determinados de acuerdo con el rango normal de circunferencia de la especie, medida a 1 m sobre el nivel de suelo).

Índice de circunferencia, M. francés

Circunferencia	Índice	Circunferencia	Índice	Circunferencia	Índice
10 a 14 cm	0.5	131 a 140 cm	14	321 a 340 cm	27
15 a 22 cm	0.8	141 a 150 cm	15	341 a 360 cm	28
23 a 30 cm	1	151 a 160 cm	16	361 a 380 cm	29
31 a 40 cm	1.4	161 a 170 cm	17	381 a 400 cm	30
41 a 50 cm	2	171 a 180 cm	18	401 a 420 cm	31
51 a 60 cm	2.8	181 a 190 cm	19	421 a 440 cm	32
61 a 70 cm	3.8	191 a 200 cm	20	441 a 460 cm	33
71 a 80 cm	5	201 a 220 cm	21	461 a 480 cm	34
81 a 90 cm	6.4	221 a 240 cm	22	481 a 500 cm	35

91 a 100 cm	8	241 a 260 cm	23	501 a 600 cm	49
101 a 110 cm	9.5	261 a 280 cm	24	601 a 700 cm	45
111 a 120 cm	11	281 a 300 cm	25		
121 a 130 cm	12.5	301 a 320 cm	26		

Criterios de medición, M. italiano

Pb Precio de la misma especie en viveros locales (corresponde a la décima parte del precio de venta de la planta de la misma especie de 10 – 12 cm de circunferencia).

I Refleja el estado de salud y apariencia del árbol en una escala de 1 a 10. Siendo 10 para completamente sano hasta 1 para especie débil y enferma. La escala decrece de 1.0

S índice ubicación,

10: centro de la ciudad 8: centro-periferia 6: periferia
 4: exteriores 2: zonas rurales

C Índice de tamaño, con valores de 1 a 55 para circunferencias normales entre 30 y 900 cm respectivamente.

Índice de circunferencia, método italiano

Circunferencia	índice	Circunferencia	índice
30	1	240	22
40	1.4	260	23
50	2	280	24

60	2.8	300	25
70	3.8	320	26
80	5	340	27
90	6.4	360	28
100	8	380	29
110	9.5	400	30
120	11	420	31
130	12.5	440	32
140	14	460	33
150	15	480	34
160	16	500	35
170	17	600	40
180	18	700	45
190	19	800	50
200	20	900	55
220	21		

Criterios de medición, CTLA

Área del tronco	área de la sección transversal del tronco a 1,4 m sobre el nivel del suelo (cm²)
Precio básico	valor basado en el costo de la especie disponible en viveros regionales (\$ cm⁻²)

Especie	<p>características de crecimiento, expectativa de vida, adaptabilidad al medio ambiente, como tolerancia a la sequía, al frío o al calor, resistencia a las tempestades, al viento y al hielo, adaptabilidad a las condiciones del suelo como drenaje, estructura, textura, pH y presencia o ausencia de nutrientes, resistencia a plagas y enfermedades, requerimientos de mantención, resistencia de la madera, provisión de sombra, características estéticas, incremento de la privacidad, cualidades estructurales y propiedades alérgicas. Los factores aplicados son:</p>		
	<table border="0"> <tr> <td data-bbox="634 663 1089 768">1.0: características descritas en su máximo potencial</td> <td data-bbox="1227 663 1549 873">0.4: características descritas en un potencial intermedio con limitantes considerables</td> </tr> </table>	1.0: características descritas en su máximo potencial	0.4: características descritas en un potencial intermedio con limitantes considerables
1.0: características descritas en su máximo potencial	0.4: características descritas en un potencial intermedio con limitantes considerables		
	<table border="0"> <tr> <td data-bbox="634 905 1089 1010">0.8: características descritas en un potencial elevado</td> <td data-bbox="1227 905 1549 1052">0.2: características descritas en su mínimo potencial</td> </tr> </table>	0.8: características descritas en un potencial elevado	0.2: características descritas en su mínimo potencial
0.8: características descritas en un potencial elevado	0.2: características descritas en su mínimo potencial		
	0.6: características descritas en potencial intermedio		

Condición	<p>Tronco y corteza saludable, sin pudriciones, copa con buena estructura y equilibrio, sin necesidad de poda correctiva o de mantención, follaje con buena coloración, ausencia de plagas y enfermedades, excelente crecimiento</p> <p>Similar a las anteriores características excepto que los árboles presentan pequeños problemas con plagas o enfermedades y necesita de mínimas medidas correctivas de mantención</p> <p>Tronco y corteza saludable, razonable estructura de copa, con presencia de ramas quebradas; moderada necesidad de mantención, presencia de problemas con plagas o enfermedades, razonable tasa de crecimiento y del color de las hojas</p> <p>Similar a las anteriores características, con evidencias de cicatrices en el tronco e inicio de pudrición</p>
------------------	--

Estado avanzado de declinación con mayores problemas en las raíces, tronco, ramas y follaje.

Localización	1.0: arboretum o lugar histórico	0.4: área industrial y Calles fuera de áreas urbanas
	0.8: área residencial, Áreas públicas y comerciales	0.2: bosques (nativas)
	0.6: parque y recreación, Campos de golf, Arborización de calles y Barrera ambiental	

Criterios de medición, método finlandés.

S sección del área del tronco (cm²)

P valor establecido y tabulado por cm² de la sección, que varía de acuerdo con la especie

L índice de ubicación

1.3: campo abierto

1.8: bosque

2.0: ciudad

E Representa la **condición de salud y conservación aparente del árbol** en escala descendente, siendo 1 para completamente sano hasta 0.2 para especie débil y enferma. La escala decrece de 0.1

Criterios de medición, Helliwell

Factores	Puntos					
	0	0.5	1	2	3	4
Tamaño del árbol (h* diámetro de copa)		Muy pequeño (2 – 5)	Pequeño (5 – 10)	Medio (25 – 50)	Grande (100 – 150)	Muy Grande (+ 200)
Expectativa de vida útil (años)				5 – 40	40 – 100	100
Importancia en el espacio	Ninguna	Muy poca	Poca	Algunas	Considerable	Grande
Presencia de otros árboles		Bosque	Muchos	Algunas	Pocas	Ninguna
Relación de especies con lo local	Totalmente inadecuada	Moderadamente inadecuada	Poco adecuada	Adecuada	Muy adecuada	Especialmente adecuada
Forma		Fea	Ruinosas	Media	Buena	Especialmente buena
Factores especiales: son casos raros, árboles dignos de puntos extras, ejemplares			Ninguno	Uno	Dos	Tres

históricos,
interés
botánico no
usual, rareza o
valor
excepcional
en el paisaje.

Criterios de medición, Burnley.

Volumen del árbol	volumen de un cono invertido
Valor base	costo por metro cúbico en viveros minoristas, de la misma especie
Índice del volumen	(0.1) > 4000 m ³ , (0.2) 3000 – 4000 m ³ , (0.3) 2000 – 3000 m ³ , (0.4) 1500 – 2000 m ³ , (0.5) 1000 – 1500 m ³ , (0.6) 750 – 1000 m ³ , (0.7) 500 – 750 m ³ , (0.8) 250 – 500 m ³ , (0.9) 100 -250 m ³ y (1.0) 0 – 100 m ³
Expectativa de vida (años)	(0.5) 10 años, (0.6) 10 – 20 años, (0.7) 20 – 30 años, (0.8) 30 – 40 años (0.8), (0.9) 40 – 50 años y (1.0) > 50 años
Vigor	(0.0) Muerta, (0.1) Excesiva madera muerta, cavidades y mala forma, (0.2) Poco vigor forma media, (0.3) Mala forma, vigor medio, (0.4) Bifurcación en el tronco y mal vigor, (0.5) Bifurcación en el tronco y vigor medio, (0.6) Bifurcación en el tronco y vigor excesivo, (0.7) Buena forma y vigor medio, (0.8) Leves imperfecciones en la forma y vigor, (0.9) Leves imperfecciones en la forma y vigor y (1.0) Perfecta forma y excelente vigor
Localización	(0.4) Totalmente inconveniente, (0.5) Especie inconveniente generadora de problemas mayores, (0.6) Especie inconveniente generadora de problemas mayores, (0.7) Especie inconveniente generadora de problemas mayores,

(0.8) Problemas menores, (0.9) Podría estar mejor localizada, pero no tiene problemas y (1.0) Perfectamente conveniente

Criterios de medición, STEM.

Atributos		3	9	15	21	27	Atributos		3	9	15	21	27
Condición	Forma	Pobre	Moderada	Buena	Muy Buena	Ejemplar	Estatura	Excepcionalmente grande / interés visual especial	Local	Comunal	Regional	Nacional	Internacional
	Presencia	Predominante	Común	No frecuente	Rara	Muy rara		Forma					
	Vigor/vitalidad	Pobre	Algo	Buena	Muy buena	Excelente	Edad + 100						
	Función	Secundaria	Útil	Importante	Significativa	Muy importante	Asociación						
	Edad (años)	+ 10	+ 20	+ 40	+ 80	+ 100	Comemorativa						
Cualidades notables							Histórico						

Amenidades	Altura	3 – 8	9 – 14	15 – 20	21 – 26	+ 27	Científico	Remanente (ecosistema nativo)					
	Visibilidad (km)	0.5	1	2	4	8		Relicto					
	Presencia de árboles	Bosque	Parque	Grupo + 10	Grupo + 3	Solitaria		Fuente de calidad genética					
	Papel	Secundario	Moderado	Importante	Significante	Muy Importante		Rareza (especie)					
	Clima	Secundario	Moderado	Importante	Significante	Muy Importante		En peligro					

Criterios de medición, método VaMa

Condición sanitaria del árbol	Índice	Características ambientales	Índice	Amenidades	Índice
Espécimen sano, vigoroso y con copa alineada	3	El árbol presenta las características descritas en su máximo potencial	3	El árbol representa un propuesta plástica del lugar por la composición en la que se encuentra, tales como alineación, silueta, fragancia, floración, color de corteza u otra	3
Espécimen sano pero con alteraciones menores de producto de heridas, malas podas o presencia leve de problemas sanitarios, fáciles de corregir	2,4	El árbol presenta las características descritas en un potencial elevado	2,4	Al árbol se le reconoce que aporta individualmente por su silueta, fragancia, floración, color de corteza u otra	2,4
Espécimen con características de sanidad alteradas, árbol debilitado y puede presentar heridas no bien cicatrizadas	1,8	El árbol presenta las características descritas en un potencial intermedio	1,8	Al árbol no se le reconoce que aporte alguna amenidad destacable al entorno	1,5

Espécimen con características de sanidad y vigorosidad muy alteradas, tales como fuerte decaimiento, heridas importantes, hongos, madera muerta, los que comprometen la salud del árbol	1,2	El árbol presenta las características descritas en un potencial intermedio con algunas de ellas con limitaciones considerables	1,4
Espécimen con características de sanidad muy alteradas, previsiblemente irreversibles que comprometen su viabilidad en el corto plazo	0,6	El árbol presenta las características descritas en su mínimo potencial	1

Criterios de medición, método intendencia.

Factor		Índice
Situación	Calle común	2
	Calle importante del barrio	3
	Alineación en calle	4
	Alineación en calle jerarquizada y de difícil reposición (no alineado, en avenida)	5

Zona de reposición difícil, calle común	6,7
Alineación en avenida o árbol destacado de zona de difícil reposición alineación destacada calle	8
Árbol destacado en zona de difícil reposición alineación calle	9
Árbol destacado en zona de difícil reposición, alineación avenida	10
Árbol destacado en zona de difícil reposición	10
Alineación valiosa o única (en avenida)	12

Índice de crecimiento	Relación entre edad en años y DAP en cm	
------------------------------	---	--

Estado vegetativo	Muy bueno	1,5
	Bueno	1
	Regular	0,75
	Malo (sacar)	0
	Seco	0

Anexo 2. Fotos



Árbol No. 1



Árbol No. 2



Árbol No. 3



Árbol No. 4



Árbol No. 5



Árbol No. 6



Árbol No. 7



Árbol No. 8



Árbol No. 9



Árbol No. 10



Árbol No. 11



Árbol No. 12



Árbol No. 13



Árbol No. 15

Árbol No. 14



Árbol No. 16



Árbol No. 17



Árbol No. 18



Árbol No. 19



Árbol No. 20



Árbol No. 21



Árbol No. 22



Árbol No. 24

Árbol No. 23



Árbol No. 25



Árbol No. 26



Árbol No. 27



Árbol No. 28



Árbol No. 30

Árbol No. 29



Árbol No. 31