

TRABAJO CIENTÍFICO

## Evaluación de la fórmula que determina el valor monetario del arbolado urbano en Montevideo, Uruguay

*Testing the formula for determining the monetary value of urban trees in Montevideo, Uruguay*

Alonso M.<sup>1</sup>; C. Morales<sup>1</sup>; O. Vallejos-Barra<sup>2</sup>; G. Jolochin<sup>1</sup> y M. Ponce-Donoso<sup>2</sup>

Recibido en enero de 2019; aceptado en noviembre de 2019

### RESUMEN

La valoración monetaria del arbolado urbano es un campo de estudio a nivel mundial, donde se intenta resolver la problemática del justo valor. Montevideo no es ajeno a este desafío, siendo necesario comparar diferentes fórmulas y métodos de valoración existentes con la utilizada por su Intendencia. Se eligieron diez fórmulas para esta evaluación, métodos Helliwell, Estandar Tree Evaluation Method (STEM), Italiano, Francés, Council Tree Landscape Appraisal (CTLA), Norma Granada, Intendencia de Montevideo (IM), Valoración Monetaria del Árbol Urbano (VaMA), Suizo y Burnley, tasándose 31 árboles de 18 especies, trabajo realizado por dos evaluadoras. A partir de las 620 valoraciones, se analizó las fuentes de variación: fórmulas y evaluadoras. Se comprobó que no hubo diferencias significativas entre las evaluadoras, pero sí entre las fórmulas, organizándose en cuatro grupos. En el grupo A, las fórmulas N. Granada, CTLA, M. Suizo, M. Italiano y Helliwell, presentaron los valores más bajos. En el grupo B, con valores medios poco más bajos, se ubicó la fórmula de Intendencia, mientras que en el grupo C, con valores medios poco más altos, se hayan VaMA, M. Francés y Burnley, y en el grupo D, con valores promedios altos, está la fórmula STEM. Se concluye que la fórmula que actualmente utiliza la Intendencia de Montevideo no sería la más conveniente para determinar el valor monetario del arbolado urbano de Montevideo, ya que la fórmula de mejor aptitud para determinar el valor monetario del arbolado urbano en Montevideo es VaMA, siempre que se le realicen determinados ajustes que deben evaluarse.

**Palabras clave:** arbolado urbano, análisis no paramétrico, fórmula paramétrica, silvicultura urbana, valor del árbol.

### ABSTRACT

The monetary valuation of urban forests is a field of study worldwide by which the topic of their fair value is tried to be solved. Montevideo is not foreign to this challenge, being necessary to compare different existing formulas and valuation methods with that used by the local Town Hall. Ten formulas were chosen for the evaluation using methods such as the Helliwell, the Standard Tree Evaluation Method (STEM), the Italian, the French, the Council Tree Landscape Appraisal (CTLA), the Norma Granada, the Intendencia Montevideo (IM), the Valoración Monetaria del Árbol Urbano (VaMA), the Swiss and the Burnley for the appraisal of 31 trees from 18 species by two evaluators. From the 620 evaluations performed, the sources of variation were analyzed: formulas and evaluators. There were no significant differences by those obtained by the latter, but it did among the formulas. They were organized into four groups: group A including the lowest values obtained through the N. Granada, CTLA, Swiss M., Italian M. and Helliwell methods; group B comprising the values that were slightly lower than the mean ones estimated using the Town Hall formula; group C grouping the slightly higher than the mean values calculated using the VaMA, French M. and Burnley methods and group D with the high average values computed using the STEM formula. It can be concluded that the best formula to determine the monetary value of urban trees in Montevideo would not be the one used by the local Town Hall but that of the VaMA method provided that certain adjustments that should be evaluated are made.

**Key words:** urban forest, non parametric analysis, parametric formula, urban forestry, tree value..

<sup>1</sup> Departamento de Producción Forestal y Tecnología de la Madera, Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Avda. Garzón 980, Montevideo, Uruguay. E-mail: mponce@utalca.cl

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca. Avda. Lircay s/n, Talca, Chile.

## 1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de la población mundial vive en áreas urbanas y lo seguirá haciendo en el futuro (Dye, 2008). Cerca del 61 % de la población mundial vivirá en las ciudades en 2025, un gran cambio comparado con el 37 % que había en 1990 (FAO, 1993). La tasa de urbanización, en algunos casos está teniendo impactos negativos, tanto ambiental, social como económicamente. Así el rol de los árboles en este aspecto cambia en los últimos años, reconociéndoles una amplia gama de beneficios (FAO, 1993).

El árbol en las ciudades desarrolla funciones ornamentales, paisajísticas y experienciales, constituyendo la expresión de necesidad psicológica de la naturaleza. Aporta equilibrio ecológico, ejerciendo funciones reguladoras y depuradoras de carácter ambiental, abrigo y protección a la fauna y flora, garantizando una mejora de la calidad de vida de los ciudadanos. El árbol forma parte de su patrimonio histórico, artístico e ingrediente inseparable de la puesta en valor y comprensión, configurando el derecho social al paisaje (Villota, 2015).

Jørgensen define arboricultura urbana como: “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” (Konijnendijk *et al.*, 2006); aunque las más ampliamente citada se refiere a “...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). Caballer (1999) señala que la valoración de los árboles urbanos presenta dificultades al no generar flujos de caja, ya que no producen bienes o servicios intercambiables. Estos árboles tienen utilidades diferentes, producen sombra, amortiguan la contaminación acústica, adornan calles, jardines y parques, simbolizan ideas, sentimientos e historia (Caballer, 1999).

La valoración monetaria del arbolado urbano se utiliza para distintos fines, tales como valoraciones motivadas por la extracción debido a construcciones privadas y obras públicas (Vidal, 2012), por daños ocasionados por accidentes meteorológicos o físicos, por impacto ambiental, por los servicios ecosistémicos proporcionados o bien por inventario del patrimonio público (Caballer, 1999).

El valor de los árboles en un extenso paisaje no es fácil de calcular, debido a la dificultad de asignar un valor a diferentes árboles, tanto por las características fácilmente visibles, como por los distintos usos y servicios que éstos ofrecen. Sin embargo, el costo de reemplazo es el método más directo para determinar el valor de un árbol; cuestión compleja cuando el árbol alcanza un tamaño tal como para ser reemplazados por uno equivalente. En estos casos existen otras alternativas para calcular su valor monetario (Watson, 2002), siendo el más común y difundido el uso de fórmulas. Actualmente existen dos tipos básicos de fórmulas: 1) La que establece un valor inicial basada en el tamaño del árbol, que se ajusta por factores como condición (vigor, estructura, sanidad, etc.), locación (valor de bienes raíces, función, visibilidad, etc.), entre otros; y 2) La que utiliza un sistema de puntuación, que pueden ser sumados o multiplicados, usando un factor monetario introducido para obtener el valor, que habitualmente corresponde al precio de la planta de un vivero comercial, ya sea mayorista o minorista (Watson, 2002; Cullen, 2002; Ponce y Piedrahita, 2009; Grande-Ortiz *et al.*, 2012; Ponce-Donoso *et al.*, 2012).

Espluga (1989) señala que las fórmulas se pueden clasificar como multiplicativa o paramétrica, combinando variables físicas, explicativas y objetivas, con otras más subjetivas, más complejas de medir, tales como valor estético o significado histórico, entre otras. El valor final se obtiene con un valor inicial, generalmente monetario, que se ajusta con el resto de las variables.

En países como Suiza, los árboles urbanos se valorizan desde un punto de vista arquitectónico, estético y significado cultural histórico, introduciendo ideas de valor ornamental, árbol con significancia histórica o árbol distintivo, demostrando a economistas, técnicos, políticos y administrativos urbanos, que los árboles urbanos son mucho más que activos fijos, y su valor

intrínseco va más allá de su uso funcional. Asimismo, 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, que representen un riesgo a las propiedades y las personas o cuando se ubica en lugares inapropiados, o bien, cuando carece de valor funcional, métodos que según Contato-Carol *et al.* (2008) tienden a incrementar el valor base de los árboles.

El arbolado urbano en la ciudad de Montevideo se distribuye a lo largo de los ocho municipios, donde cada uno cuenta con una sección encargada del arbolado urbano. La de Intendencia de Montevideo presenta dos líneas de trabajo en arbolado público que no se ubican en parques: 1) arbolado alineado en aceras y 2) coordinaciones de políticas de trabajo con los demás municipios. En el Artículo D.2226 del Digesto Municipal, señala que las especies vegetales ubicadas en la vía pública son bienes públicos cuya administración compete a la Intendencia de Montevideo, debiendo aplicar sanciones cuando se constaten intervenciones no autorizadas en las especies vegetales. Las infracciones posibles de sanción se vinculan a daños debido a obras no autorizadas o mal realizadas. Al haber daños se deberá pagar una indemnización, valorada según la fórmula del Índice de Valoración de Arbolado, ajustada por la Unidad de Áreas Verdes, fórmula basada en la desarrollada por el ICONA de España (ex Instituto para la Conservación de la Naturaleza del Ministerio de Agricultura) (IMM, 2006).

El objetivo de este trabajo es comparar la fórmula de valoración monetaria del árbol urbano que aplica la Intendencia de Montevideo, con un grupo de fórmulas presentes en la literatura y praxis en otros países.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en la ciudad de Montevideo capital, al sur de Uruguay, latitud Sur 34° 50' 00'' y longitud Oeste de 56° 10' 02''. La ciudad tiene 1.330.400 habitantes, y una distribución administrativa de ocho Municipios en un área urbanizada de 192 km<sup>2</sup>. Las áreas verdes de uso público ocupan 9.565 ha 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, según el censo de 2005.

Los 31 especímenes evaluados se seleccionaron con base en el censo del arbolado urbano de Montevideo en el período de 2005 - 2008 (Terrani, 2014), siendo tasados por dos evaluadoras, totalizando 620 valoraciones (Tabla 1).

El costo de mantenimiento anual por árbol se estimó en US\$ 25 y el costo de plantación US\$ 285 por planta, de acuerdo a datos obtenidos en la Intendencia de Montevideo y un vivero local, considerando una planta de 4 cm de diámetro de cuello.

A cada árbol se le midieron variables dendrométricas: circunferencia a 1 m; 1,3 m y 1,4 m de altura desde el suelo; altura total y altura de copa. Las valoraciones fueron realizadas en diciembre de 2016.

**Tabla 1.** Listado de árboles evaluados según ubicación, especies y edad

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>Tipua natipu</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 Csinoni 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 bignonioides</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	Américo Ilaria 6642	<i>Catalpa bignonioides</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

Los métodos para determinar el valor monetario se resumen a continuación:

a) Método Helliwell, desarrollado en Inglaterra, usa una tasa de 0 a 4,0 puntos en siete factores (Helliwell, 2008). El método se basa en los juicios de valor del experto en relación a las amenidades visuales. La fórmula se expresa como:

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

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, (Vb) valor monetario, equivalente al valor base, que es de £ 14, equivalente a US\$ 21,2. 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.

b) Standard Tree Evaluation Method (STEM) de Nueva Zelanda (Flook, 1996). Método que utiliza un sistema de puntos en base a veinte atributos (3 a 27 puntos para cada uno). Los atributos son: condición (forma, frecuencia, vigor y vitalidad, función, y edad); amenidades (estatura, visibilidad, presencia de otros árboles, papel, y clima); notabilidad 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, 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.

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

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

c) Método Francés. Ferraris (1984) revisa la metodología Suiza y la adapta, intentando definir el costo de reemplazo más probable. El valor es obtenido por el uso de los mismos cuatro índices utilizados en el método Suizo. Su expresión es:

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

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

d) Método Italiano (Fabbri, 1989). Para el cálculo del valor se utiliza la siguiente ecuación

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

Donde: (Pb) precio de vivero de las especies, (I) estado sanitario del árbol y su apariencia en una escala del 1 al 10, (S) índice de ubicación, con valores entre 2 y 10, considerando si el árbol se encuentra ubicado en la ciudad o un área rural, (C) factor dimensión del árbol, con valores que varían entre 1 y 55 para circunferencias normales de entre 30 cm y 900 cm.

e) Método del Council of Tree Landscape Appraisers (CTLA) de los Estados Unidos (CTLA, 1992). 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.

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

Donde: (A) área del tronco es el área de la sección transversal del tronco a 1,4 m sobre el nivel del suelo en  $\text{cm}^2$ , (Pb) precio base es un valor basado en el costo de la especie disponible en

viveros regionales en  $\$/\text{cm}^2$ , (E) factor especie relacionada con los atributos del árbol: crecimiento, expectativa de vida, adaptabilidad a las condiciones ambientales, requerimientos de mantenimiento, amenidades y otras. (C) condición se relaciona con las características de sanidad y vigorosidad del árbol, (L) localización vinculada al emplazamiento que el árbol tenga en la ciudad (L).

f) Método Burnley. Desarrollado en Australia, realiza la valoración a través de la siguiente fórmula (Moore y Arthur, 1992):

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

Donde: (V) tamaño del árbol (medido como el volumen de un cono invertido) siendo éste el volumen, (P<sub>b</sub>) 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), y (L) localización (0,4 a 1,0).

g) Método Suizo. Método aceptado y posteriormente desarrollado en Francia, Alemania e Italia. Utiliza la siguiente fórmula (Ferraris, 1984):

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

Toma en consideración cuatro índices básicos, siendo: (P<sub>b</sub>) 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.

h) Valoración Monetaria del Arbolado Urbano (propuesta para el arbolado urbano en Chile central) (Ponce-Donoso *et al.*, 2017b).

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

Donde: (UTM) Unidad Tributaria Mensual (valor monetario que se reajusta con el Índice de Precios al Consumidor, IPC) del mes cuando se realiza la valoración, (T) tamaño, 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 corresponde al promedio aritmético entre la distancia más corta y la más larga), que se corrige de acuerdo su forma (palmiforme, columnar, extendida, pendular, piramidal, ovalada, esférica o 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 defloración, 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, que es 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 ubicación en un arboretum, árbol de componente histórico (debidamente documentado), relicto, en peligro, fuente de calidad genética, u otro, teniendo

como máximo un 30 %; (DS) dis-servicios, se aplica un factor de corrección o ponderador al identificar alguna variable que sea reconocida como dis-servicio, descontando un máximo de 10 % del valor total, entre estas variables están, especies alergénicas, caída de hojas, caída de frutos, rotura de infraestructura u otro.

i) Intendencia de Montevideo. Es una modificación de la fórmula desarrollada en España por el ICONA (López Arce y del Álamo, 1975).

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

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

j) Norma Granada. Método desarrollado por la Asociación Española de Parques y Jardines Públicos (AEPJP, 2007). El método distingue entre árboles sustituibles y no sustituibles como primera clasificación, centrándose en árboles no sustituibles que presentan una mayor problemática (Caballer, 1999).

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

Siendo Vb = 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) estado sanitario del árbol, siendo (S) los factores intrínsecos, (Ele) factor estético y funcional, además de los factores extrínsecos, ( $\omega$ ) coeficiente actualizado de la especie, fijado por una comisión para cada zona climática según la clasificación de Köppen, ( $\mu$ ) coeficiente corrector edafológico, (p) perímetro a 1 m de altura.

En el análisis de los datos se utilizó el promedio y la mediana de la valoración, tanto para árbol como fórmula; este último estadígrafo ayuda a reducir el impacto de los valores extremos. Se plantearon las siguientes hipótesis para las fórmulas de valoración y evaluadores:

- $H_0: \omega_i = \omega_j / i \neq j$ ; (es decir, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las fórmulas y de las evaluadoras).
- $H_1: \omega_i \neq \omega_j / i \neq j$ ; (es decir, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las fórmulas y de las evaluadoras).

Se usó análisis de varianza para determinar si existen diferencias significativas entre las fórmulas y entre evaluadoras. Debido a que los supuestos de homocedasticidad y normalidad no se cumplieron, se recurrió al análisis de varianza no paramétrico de Kruskal–Wallis (Conover, 1999), ya que es menos sensible a la presencia de valores atípicos. Para ello, los valores fueron ubicados en un ranking, ordenándolos de manera ascendente, siendo el 1 la menor valoración (US\$ 0) y 620 la mayor valoración (US\$ 162.814) en lugares intermedios se distribuyeron las demás valoraciones. Dada la existencia de diferencias significativas entre las diferentes fuentes de variación, se usó la prueba de múltiples rangos de Tukey HSD para identificar cómo se agrupan estas diferencias. En el análisis de los datos se utilizaron los programas Microsoft Excel v.2003 y Statgraphics Centurion vXVI, ambos para Windows.

### 3. RESULTADOS

Los valores monetarios (Tabla 2) muestran que el más alto fue US\$ 162.814 (árbol 19, *P. dioica*), con la fórmula Intendencia de Montevideo (IM), que también arrojó el mayor valor promedio. El valor mínimo fue US\$ 0, usando la misma fórmula (árbol 14, *J. mimosifolia*), dado que la fórmula da este valor a los individuos que son considerados no viables y que deberían ser removidos. El menor valor promedio fue US\$ 6.490 (árbol 9, *F. pennsylvanica*). La fórmula que obtuvo el mayor valor promedio fue STEM con US\$ 68.718 y la de menor valor fue el Método Suizo con US\$ 4.114.

**Tabla 2.** Valor monetario por árbol y fórmula (promedio, US\$)

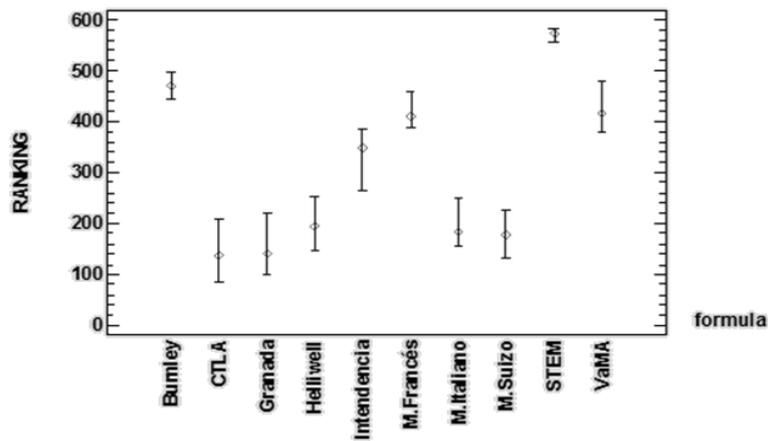
Nº de árbol	Helliwell	STEM	Francés	Italiano	CTLA	Burnley	Suizo	VaMA	Intendencia	Granada	Promedio
1	2.470	57.960	9.975	3.732	6.854	15.082	2.858	13.467	8.553	4.250	12.520
2	1.283	47.283	2.660	679	1.669	38.474	709	3.607	2.624	452	9.944
3	2.340	57.638	7.429	2.612	5.020	8.380	1.751	10.183	4.434	1.476	10.126
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
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
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
<b>Pro.</b>	<b>6.408</b>	<b>68.718</b>	<b>24.367</b>	<b>4.748</b>	<b>14.557</b>	<b>29.062</b>	<b>4.114</b>	<b>31.276</b>	<b>16.420</b>	<b>4.981</b>	

El análisis de varianza de Kruskal-Wallis determinó que las fórmulas presentaron diferencias significativas entre las medianas del ranking ( $P = 0$ ), mientras que para las evaluadoras no hubo diferencias ( $P > 0,58$ ). Aplicada la prueba de Tukey, las fórmulas se agruparon en cuatro grupos homogéneos (A, B, C y D) (Tabla 3), mientras que las evaluadoras formaron un solo grupo (Tabla 4).

**Tabla 3.** Grupos homogéneos por Fórmulas

<b>Fórmula</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
N. Granada	62	176,209677	A
CTLA	62	181,983871	A
M. Suizo	62	184,879032	A
M. Italiano	62	205,927419	A
Helliwell	62	207,862903	A
IM	62	314,435484	B
VaMA	62	405,274194	C
M. Francés	62	410,153226	C
Burnley	62	451,677419	C
STEM	62	566,596774	D

Las fórmulas N. Granada, CTLA, M. Suizo, M. Italiano y Helliwell se ubicaron en el grupo A, con los valores promedio más bajos del ranking. La fórmula que se localiza en la medianía del ranking (grupo B) es la fórmula de Intendencia; le sigue el grupo C, conformado por las fórmulas VaMA, M. Francés y Burnley. Por último en el grupo D, con el valor medio más alto, la fórmula STEM (Figura 1).



**Figura 1.** Mediana, error estándar y ranking para fórmulas

**Tabla 4.** Grupos homogéneos por Evaluadoras

<b>Evaluadora</b>	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Evaluadora 1	310	306,554839	A
Evaluadora 2	310	314,445161	A

#### 4. DISCUSIÓN

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, ya que fue posible encontrar variaciones para un mismo árbol al aplicar las diferentes fórmulas. Teniendo en cuenta que se encontraron diferencias significativas entre las medianas de los valores finales para algunas de ellas, no sería indistinta la elección y uso de una fórmula u otra.

Los mayores valores monetarios se obtuvieron con STEM, coincidente con el análisis estadístico, ya que se ubicó en el primer lugar del ranking. Este resultado se observó también en Watson (2002) y Ponce-Donoso *et al.* (2012), lo que podría deberse a la existencia del factor de conversión minorista, el cual multiplicó el valor final por 1,5, además de ser la única fórmula que incluye en el valor base el costo de plantación y mantenimiento.

En el grupo C se ubicaron las fórmulas Burnley, M. Francés y VaMA. A diferencia de lo que observaron Ponce-Donoso *et al.* (2012), la fórmula Burnley obtuvo una posición relativa alta de los valores promedio, similar a lo señalado por Watson (2002), Ponce-Donoso y Vallejos-Barra (2016) y Ponce-Donoso *et al.* (2017a). Las diferencias en las posiciones de esas fórmulas podrían explicarse debido al índice de volumen, ya que los árboles de menor tamaño obtienen un mayor valor para este índice. Como consecuencia se sobreestimarían los árboles de porte pequeño, tal como el árbol N° 8 (*L. tulipifera*) que presenta un valor final mayor al del árbol N° 19 (*P. dioica*), que es un árbol de gran porte.

El Método Francés tomó valores altos en el análisis estadístico realizado, a diferencia de Ponce-Donoso y Vallejos-Barra (2016) y 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 Método Suizo, siendo una derivación del Método Francés, presentó valores promedio mucho más bajos, ubicándolos en grupos separados (Ponce-Donoso y Vallejos-Barra, 2016).

La fórmula IM se ubica sola en el grupo B, presentando valores intermedios en el promedio del ranking.

Dentro del grupo homogéneo A, la fórmula de la Norma Granada presentó el menor promedio del ranking, esto difiere de los resultados obtenidos por los estudios de Watson (2002) y Ponce-Donoso *et al.* (2013; 2017a) cuya fórmula estuvo 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 utilizadas en el arbolado urbano del hemisferio Sur, por lo que para esos casos se utilizó un promedio de las demás especies, lo que podría haber subestimado las valoraciones. El valor base del árbol se calculó a partir del coeficiente actualizado de Köppen, coeficiente corrector edafológico y el perímetro a 1 m de altura, y es el único caso donde el precio base no se ajustó a los precios de mercado. Además, existen en su cálculo coeficientes de origen local, que dieron el valor base de la fórmula, lo que podría afectar las valoraciones cuando es usada fuera de España, en condiciones de crecimiento y situación económica diferente, por lo que podría ser necesario un ajuste para realizar una valoración completamente válida. Así, estas fórmulas y su comportamiento deberían ajustarse para su uso en países latinoamericanos, en algunos de sus parámetros para 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 y Vallejos-Barra (2016) y Ponce-Donoso *et al.* (2017a), presentó valores que lo ubican entre los más bajos del ranking.

El valor promedio del ranking obtenido para CTLA se encuentra entre los más bajos, similar al trabajo de Watson (2002), sin embargo en los trabajos de Ponce-Donoso *et al.* (2012; 2013; 2017a), Ponce-Donoso y Vallejos-Barra (2016), ésta toma valores intermedios en el ranking. Al igual como ocurre con 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), aspecto que estaría afectando su valor monetario.

Las fórmulas que presentaron la más alta dispersión de valores en el ranking fueron CTLA, N. Granada e IM (Figura 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 (Ponce-Donoso *et al.*, 2013). En cambio Burnley, Método Francés y STEM tuvieron dispersiones menores (Figura 1). Según Ponce-Donoso y Vallejos-Barra (2016), las fórmulas que presentaron la más alta dispersión de los valores fueron CTLA, N. Granada, M. Francés, M. Italiano y M. Suizo, coincidiendo en gran medida con los resultados obtenidos en este trabajo.

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 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 mejor capacidad de discriminar las características del árbol, una valoración más cercana a la realidad de su selección al azar, como Burnley, Helliwell, CTLA y M. Suizo (Ponce-Donoso *et al.*, 2017a).

En cuanto a las evaluadoras no se observaron diferencias estadísticamente significativas, lo cual coincide con los resultados de Ponce-Donoso y Vallejos-Barra (2016), sugiriendo que esto no influiría en la agrupación de las fórmulas cuyas diferencias radican en sus propias características. 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 ocurrió en los trabajos de Watson (2002), Ponce-Donoso y Vallejos-Barra (2016) y Ponce-Donoso *et al.* (2017a, 2017b).

Respecto a observaciones realizadas de la aplicabilidad de las fórmulas, se destacó la facilidad de uso en su gran mayoría, revelando que evaluadores sin o con poca experiencia sean capaces de aplicarla. Sin embargo, generaron dificultades 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 generaron dificultades de uso son las fórmulas que tienen uno o más factores y que dentro de su descripción no contemplan todos los casos; esto dificultó 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, respecto a bifurcaciones o madera muerta, dejando de lado otras situaciones como el estado del follaje, raíces u otras. Presentan este tipo de factores las fórmulas M. Francés, M. Suizo e IM.

Por otro lado, la fórmula que resultó más compleja al momento de realizar las mediciones fue Norma 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. 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 la fórmula VaMA. Otro caso donde existen datos de difícil obtención es en la Norma 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 implicó un problema, de lo contrario este coeficiente fue 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. CONCLUSIONES

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.

El análisis estadístico mostró que hay diferencias significativas entre las fórmulas aplicadas. A su vez no se observaron diferencias significativas entre evaluadoras.

Ninguna fórmula resultaría completamente adecuada para ser aplicada en Montevideo, debido a la amplia dispersión de los valores obtenidos, la existencia de cuatro grupos, la posición media de la mediana, la ubicación, las amenidades, el valor base en moneda local, la facilidad y factibilidad de uso, la subjetividad, los factores especiales y la facilidad de obtención de datos. Aspectos que deben ser considerados al momento de elegir una posible fórmula a aplicar.

La fórmula de Intendencia, presentó buen comportamiento en el ranking, generando un único grupo en un valor medio, pero tiene un importante sesgo, ya que 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 ubicación, amenidades y tamaño, además no considera la edad, incorpora factores especiales y muestra una dispersión de los valores del ranking adecuada. Para su factible utilización en Uruguay, deberían realizarse algunos ajustes como la adaptación de las UTM a un equivalente en el país.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Intendencia de Montevideo, Uruguay, por el apoyo para la realización de esta investigación, especialmente al Ingeniero Agrónomo Alfonso Arcos.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asociación Española de Parques y Jardines Públicos (AEPJP). 2007. *Norma Granada. Método para valoración de árboles y arbustos ornamentales*. 3ª ed. Madrid, España. AEPJP. 53 p.
- Caballer, V. 1999. *Valoración de árboles frutales, forestales medioambientales y ornamentales*. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa. 247 p.
- Conover, W. 1999. *Practical nonparametric statistics*, third edition. John Wiley & Sons Inc., New York, New York, U.S. 584 pp.
- Contato-Carol, M. L.; E. Ayuga-Téllez y M. A. Grande-Ortiz. 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.
- Council of Tree and Landscape Appraisers (CTLA). 1992. *Guide for plant appraisal*. 8ª Ed. Savoy, USA. 103 p.
- Cullen, S. 2002. Tree appraisal: can depreciation factors be rated greater than 100%? *Journal of Arboriculture* 28(3):153-158.
- Cullen, S. 2007. Putting a value on trees - CTLA guidelines and methods. *Arboricultural of Journal* 30(1):21-43.
- Dye, C. 2008. Health and urban living. *Science* 319(766):766-769.
- 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.

- Fabbri, M. 1989. Metodi di stima del valore delle piante ornamentali. *Acer* 2:15-19.
- Ferraris, P. 1984. Note sulla valutaciones del soprasuolo arbóreo di parchi e giardini. *Journal Flortécnica* 11:11-15.
- Flook, R. 1996. A Standard Tree Evaluation Method - STEM. *Journal of the New Zealand Institute of Horticulture* 1:29-35.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1993. The potential of urban forestry in developing countries: a concept paper. [en línea] Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/005/t1680e/T1680E00.htm#TOC>
- Grande-Ortiz, M. A.; E. Ayuga-Téllez y M. L. Contato-Carol. 2012. Methods of tree appraisal: A review of their features and application possibilities. *Arboriculture and Urban Forestry*, 38(4):130-140.
- Helliwell, D. R. 2008. Amenity Valuation of Trees and Woodlands. *Arboricultural Journal* 31:161-168.
- Intendencia Municipal de Montevideo (IMM). 2006. *Digesto Departamental*, Volumen VII, Obras. Montevideo. s.p.
- Konijnendijk, C. C.; R. M. Ricard; A. Kenney and T. B. Randrup. 2006. Defining urban forestry – A comparative perspective of North America and Europe. *Urban Forestry & Urban Greening* 4(34):93-103.
- López Arce, M. y C. del Álamo. 1975. *El cálculo de indemnizaciones derivadas de la pérdida de árboles ornamentales*. I.C.O.N.A. Madrid.
- Miller, R. W. 1997. *Urban forestry; planning and managing urban greenspaces*. 2da ed. Nueva Jersey. Prentice Hall. 502 p.
- Moore, G. M. and T. Arthur. 1992. Amenity tree evaluation: A revised method. In: T. Arthur (Ed.). *The Scientific Management of Plants in the Urban Environment*. Proceedings of the Burnley Centenary Conference. Centre for Urban Horticulture. Melbourne, Australia. pp. 166-171.
- Ponce, M. y P. Piedrahita. 2009. Valoración económica del arbolado urbano en 28 comunas de Chile. *Quebracho* 17(1, 2):89-101.
- Ponce-Donoso, M.; O. Vallejos-Barra and F. J. Escobedo. 2017a. Appraisal of urban trees using twelve valuation formulas and two appraiser groups. *Arboriculture & Urban Forestry* 43(2):72-82.
- Ponce-Donoso, M.; O. Vallejos-Barra y F. J. Escobedo. 2017b. Fórmula para la valoración monetaria del árbol urbano en Chile central. *Bosque* 38(1):67-78
- Ponce-Donoso M. y O. Vallejos-Barra. 2016. Valoración de árboles urbanos, comparación de fórmulas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 48(2):195-208.
- Ponce-Donoso, M.; O. Vallejos-Barra; G. Daniluk-Mosquera y C. Avilés-Palacios. 2013. Comparación de siete fórmulas chilenas para la valoración del arbolado urbano. *Agrociencia* 47(7):723-737.
- Ponce-Donoso, M.; O. Vallejos-Barra y G. Daniluk-Mosquera. 2012. Comparación de fórmulas chilenas e internacionales para valoración del arbolado urbano. *Bosque* 33(1):69-81.
- Terrani, E. 2014. *Evaluación de la estructura y comportamiento del arbolado urbano en Montevideo*. Tesis Ing. Agr. Montevideo. Universidad de la República, Facultad de Agronomía Uruguay.
- Vidal, F. 2012. La valoración del arbolado en España. Una revisión. *Economía Agraria y Recursos Naturales* 12(1):115-140.
- Villota, M. 2015. El árbol en la ciudad como elemento de identidad urbana. Campaña para poner el arbolado urbano en valor de Victoria Gasteiz. [en línea] Disponible en: <http://www.vitoriaagasteiz.org/wb021/contenidosEstaticos/adjuntos/eu/10/46/61046.pdf>
- Watson, G. 2002. Comparing formula methods of tree appraisal. *Journal of Arboriculture* 28(1):11-18.

