



UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

División de Ciencias Forestales
Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales

**“ANÁLISIS DE LA MONUMENTALIDAD DE ÁRBOLES
URBANOS EN MÉXICO”**

TESIS
QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA
NAZLY ABADI MEJORADO VELASCO

BAJO LA SUPERVISIÓN DE: M.C. JOSÉ LUIS ROMO LOZANO



OPCIÓN DE TESIS
DIPLOMA DE SEMINARIOS
INFORMACIÓN DE ESTUDIOS

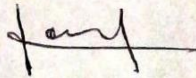
Chapingo, Estado de México, enero de 2020

ANÁLISIS DE LA MONUMENTALIDAD DE ÁRBOLES URBANOS EN MÉXICO

Tesis realizada por **NAZLY ABADI MEJORADO VELASCO** bajo la supervisión del Comité asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:



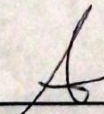
M.C. JOSÉ LUIS ROMO LOZANO

ASESOR:



M.C. MA. AMPARO MÁXIMA BORJA DE LA ROSA

ASESOR:



M.C. ANTONIO VILLANUEVA MORALES

Chapingo, Estado de México, enero de 2020

Contenido

1	INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1	Objetivos	3
1.1.1	Objetivo General:.....	3
1.1.2	Objetivos particulares:	3
1.2	Hipótesis.....	3
1.4	Literatura citada	5
2	REVISIÓN DE LITERATURA	7
2.1	Estado del arte	7
2.2	Análisis bibliométrico	7
2.3	Documentos fuera de Scopus	13
2.4	Aspectos de la legislación forestal mexicana relacionada con árboles especiales.....	18
	Programa Nacional Forestal 2014-2018.....	19
2.5	Legislación forestal extranjera.....	19
2.6	Literatura citada	20
3	CAPITULO III. ARTÍCULO CIENTÍFICO	23
3.1	Resumen	23
3.2	Abstract	24
3.3	Introducción	25
3.4	Materiales y métodos.....	28
3.5	Resultados.....	38

3.6 Discusiones	40
3.7 Conclusiones.....	42
3.8 Agradecimientos	42
3.9 Conflicto de intereses	42
3.10 Contribución por autor.....	43
3.11 Referencias.....	43
4 ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LOS ÁRBOLES EVALUADOS	46
5 CONCLUSIONES GENERALES	54

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Relación de autores por publicación y metodología	14
Cuadro 2. Estructura de la información sobre los árboles	34
Cuadro 3. Resultados de la evaluación	38
Cuadro 4. Flujos netos unicriterio	39
Cuadro 5. Flujos globales	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Documentos sobre el tema, por año de publicación	9
Figura 2. Documentos publicados y afiliación	10
Figura 3. Publicaciones científicas sobre el tema, por país	10
Figura 4. Documentos por área temática	11
Figura 5. Árbol del Tule y su localización.....	30
Figura 6. Árbol de los acuerdos y su localización	33

Figura 7. Función de preferencia usual.....35
Figura 8. Árboles con mejor calificación en monumentalidad41

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico con mucho amor, a mis padres Francisco y Josefa que gracias a su apoyo y comprensión veo concluido este objetivo y cada meta alcanzada como profesionista y persona.

A mi esposo Israel por su motivación y por brindar siempre palabras que me alentaron a continuar.

A mis hermanos: Alma, Blanca e Isaac por su paciencia y apoyo en todo momento.

Nagly

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para obtener este grado académico.

A la Universidad Autónoma Chapingo por la oportunidad de superarme a través de sus aulas y permitir integrarme a esta maravillosa casa de estudios y a cada uno de los virtuosos maestros que al enseñar transmitieron sabiduría y conocimiento para toda la vida.

Al Dr. José Luis Romo Lozano, Director de tesis, por ser guiada a través de su conocimiento; para lograr concretar este trabajo durante la maestría, con toda mi admiración y respeto.

Al Dr. Antonio Villanueva Morales por su total colaboración para llevar a cabo esta entrega.

A la Dra. Ma. Amparo Borja de la Rosa por su valiosa asesoría durante la investigación.

A mis compañeros de posgrado: Diana, Javier y Omar por compartir gratos momentos. Con dedicación especial a Luis y Alfredo por su amistad y ayuda en todo momento.

Agradezco a Dios por ser el conductor de mi vida y carrera.

DATOS BIOGRÁFICOS



I. Datos personales

Nombre Nazly Abadi Mejorado Velasco
Fecha de nacimiento 26 de Septiembre de 1991
Lugar de nacimiento Ciudad de México, Gustavo A. Madero
CURP MEVN910926MDFJLZ03
Profesión Ingeniera Química Petrolera
Cédula profesional 9863072

II. Desarrollo profesional

Bachillerato Técnico en diagnóstico y mejoramiento ambiental.
Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos N° 10.
"Carlos Vallejo Márquez"

Licenciatura Licenciada en Ingeniería Química Petrolera.
Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias
Extractivas.
Instituto Politécnico Nacional

Maestría Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales.
División de Ciencias Forestales
Universidad Autónoma Chapingo

¹RESUMEN GENERAL

ANÁLISIS DE MONUMENTALIDAD DE ÁRBOLES URBANOS EN MÉXICO

La evaluación de los árboles monumentales es una colaboración importante para promover su preservación. Según la revisión realizada en el presente trabajo, se encontró que actualmente no existe una legislación definida y suficiente en México para brindar protección a los árboles monumentales. Esta investigación consiste en una evaluación de la monumentalidad de ocho árboles urbanos en México, realizada con la participación de 15 expertos en el tema. Los árboles evaluados fueron: "El Tule"; "El Sabino"; "El Ahuehuete"; "El Centinela"; "La Higuera"; "El Baobab"; "El Ginkgo" y "El Árbol de los Acuerdos", todos ellos ubicados dentro de diferentes estados del territorio mexicano. Se definieron cinco criterios para la evaluación: tamaño del árbol, estado de conservación, importancia cultural, importancia del paisaje y rareza. El establecimiento de los criterios se basó en metodologías conocidas y utilizadas en la evaluación de los árboles. El método PROMETHEE se utilizó para evaluar la monumentalidad. Los resultados del estudio indicaron que el "El Tule" y el "Árbol de los Acuerdos", ubicados en el Estado de Oaxaca y el Estado de México, respectivamente, son los árboles que tienen características únicas que los hacen destacar sobre el resto de los árboles. El valor de monumentalidad más destacado de los árboles fue para "El Tule" debido a que las evaluaciones de los expertos mostraron las preferencias más altas a favor del conjunto de atributos que lo caracterizan.

Palabras clave: árboles monumentales, urbanos, catalogación, análisis multicriterio, método PROMETHEE, evaluación de árboles

¹ Tesis of Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales,
Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Nazly Abadi Mejorado Velasco
Director de tesis: Dr. José Luis Romo Lozano

²GENERAL ABSTRACT

ANALYSIS OF MONUMENTALITY OF URBAN TREE IN MEXICO

The evaluation of monumental trees is an important collaboration to promote their preservation. According to the review carried out in this work, it was found that there is currently no defined and sufficient legislation in Mexico to provide protection to monumental trees. This research consists of an evaluation of the monumentality of eight urban trees in Mexico, carried out with the participation of 15 experts in the field. The trees evaluated were: "El Tule"; "El Sabino"; "El Ahuehuete"; "El Centinela"; "La higuera"; "El Baobab"; "El Ginkgo" and "El árbol de los acuerdos", all of them determined within different states of the Mexican territory. Five criteria were defined for the evaluation: tree size, conservation status, cultural importance, landscape importance and rarity. The criteria were established based on methodologies recommended and used in the evaluation of trees. The PROMETHEE method is analyzed to assess monumentality. The results of the study indicated that the "El Tule" and the "El árbol de los acuerdos", specifically in the State of Oaxaca and the State of Mexico, respectively, are the trees that have unique characteristics that make them stand out from the rest of the Trees. The value of the most prominent monumentality of the trees was for "El Tule" due to the evaluations of the experts in the highest evaluations in favor of the set of attributes that characterize it.

Palabras clave: árboles monumentales, urbanos, catalogación, análisis multicriterio, método PROMETHEE, evaluación de árboles.

² Thesis of Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales,
Universidad Autónoma Chapingo
Author: Nazly Abadi Mejorado Velasco
Advisor: Dr. José Luis Romo Lozano

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

A nivel mundial se han estudiado árboles con características especiales. El interés por su estudio se debe, al valor que se les atribuye: patrimonial, artístico, cultural, comercial, recreativo y ecosistémico (Gutiérrez, 2016). Debido a su importancia se ha promovido su conservación, distintos expertos en el tema han definido diferentes conceptos para catalogarlos como árboles veteranos (Lonsdale, 2015); campeones (Ehrle, 2003); patrimoniales (Cortés y León, 2017); significativos (Pty, 2007), monumentales (Asan, 2017; Çağlar, 2014); entre otros.

Países como Chile y España proponen la creación de aspectos legislativos, como instrumento de protección a árboles monumentales o singulares. Existen estudios realizados en la península ibérica que mencionan salvaguardar genotipos de antiguos olivos en peligro de extinción (Zapponi *et al.* 2017).

La revisión documental arrojó la siguiente información. De acuerdo con Schmithüsen (2005), una educación ambiental amplia y accesible son los cimientos que permiten que las leyes puedan resultar efectivas. Por otro lado, se encontraron estudios sobre la monumentalidad de árboles con características especiales, entre ellos: (Asciuto *et al.* 2015) quienes realizaron una encuesta del Método de valoración contingente (CVM) entre los hogares residentes de Madonie Park (Sicilia, Italia) para evaluar el valor de existencia de árboles monumentales del sendero natural llamado "Piano Sempria-Piano Pomo", representado por una población de "Gigantes hollies" y por otros 7 árboles individuales. Otro estudio relevante es el de Reš (1998) quien realizó un estudio en La República Checa y menciona a los árboles monumentales como individuos que destacan por su crecimiento y edad.

Algunos autores como Meza (2015) mencionan que los estudios del arbolado y vegetación urbana en México son escasos, formando temas muy heterogéneos, y que además; la mayoría de trabajos se han realizado para la Ciudad de México.

A pesar de las aportaciones de los árboles monumentales, los mismos enfrentan retos de supervivencia ante el inminente desarrollo de proyectos urbanísticos mal planificados, tala indiscriminada, la falta de cuidados y mantenimiento de los árboles, vandalismo y turismo desmedido que los amenazan. Las amenazas que enfrentan hacen hincapié para su cuidado y conservación, como patrimonio natural y cultural. (Flores y Ledezma, 2013).

Con base a la revisión documental, se observa que la regulación de árboles especiales en México es limitada, por lo que se requiere regulación legislativa adecuada que promueva su preservación.

En México se tienen árboles que reúnen una serie de atributos únicos, razón por la que han sido materia de interés para su conservación. Aun cuando existe poca información al respecto, uno de los esfuerzos documentados es el de Vargas (1993), quien realizó un compendio de árboles históricos y notables de México a través de una consulta colectada con la participación de oficinas representantes del gobierno federal. En esa consulta se generó información sobre la presencia de árboles notables, que a su vez fueron clasificados en 8 categorías: árbol notable, árbol histórico, árbol notable e histórico, árbol indefinido, arboleda notable, arboleda histórica, arboleda notable e histórica y arboleda indefinida. Sin embargo, éstas no se describen ni se incluyen los criterios considerados para su definición.

En la presente investigación se revisaron distintos documentos que enlistan árboles especiales y se seleccionaron ocho de ellos (Vargas, 1993; INECC, 2007). Los árboles seleccionados reúnen un conjunto de atributos especiales para ser considerados como árboles monumentales y se encuentran distribuidos en la república mexicana, éstos son: Árbol del Tule, El Sabino, Ahuehuete, El Centinela (*Taxodium mucronatum* Ten.), Ginkgo (*Ginkgo biloba* Salisb), Higuera (*Ficus aurea* Nutt), Baobab del periférico (*Adansonia digitata* L), y el Árbol de los

acuerdos (*Fraxinus uhdei* (Wenz Ling.)). El objetivo fue analizar y calificar su monumentalidad. Para lo anterior, se incluyeron los siguientes criterios: tamaño del árbol, estado de conservación, significado cultural, significado paisajístico y rareza. Posteriormente, los árboles fueron evaluados en dichos criterios por un conjunto de expertos y la información obtenida fue analizada mediante el método PROMETHEE.

Una de las aportaciones del trabajo es brindar información valiosa a diversos profesionales en el área de paisaje y conservación de árboles monumentales.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General:

- Evaluar la monumentalidad aplicando el método PROMETHEE y el procedimiento univariante.

1.1.2 Objetivos particulares:

- Analizar y calificar la monumentalidad de 8 árboles urbanos distribuidos en la República Mexicana

1.2 Hipótesis

Debido a la falta de regulación legislativa en árboles monumentales presentes en México los árboles singulares se encuentran amenazados por diversos factores, tal es el caso del abandono u olvido, desconocimiento de su existencia, plagas, tala indiscriminada, incendios, nuevas construcciones, proyectos urbanísticos y factores meteorológicos que ocasionan deterioro y en el mayor de los casos su extinción. Lo anterior conlleva a la desaparición de tan importantes árboles.

1.3 Estructura del documento de titulación

En el capítulo 1, se presenta la introducción del trabajo, la importancia de la evaluación de la monumentalidad de árboles con características especiales, el alcance de la presente investigación, también se encuentran los objetivos, planteamiento del problema e hipótesis.

En el capítulo 2, se integra un análisis bibliométrico que indica los trabajos más relevantes en materia de árboles monumentales.

Se puede apreciar en el capítulo 3 la descripción de los árboles objeto de estudio, resultados y discusión (artículo científico derivado de la investigación)

En el capítulo 4, las estadísticas descriptivas de los árboles evaluados

Y en el capítulo 5, se tienen las conclusiones generales.

1.4 Literatura citada

- Asan Ü. (2017). Mystical and holistic aspect of the monumental trees, and their importance for ecotourism. In *International Symposium on New Horizons in Forestry* (pp. 50–58). Retrieved from <http://ormanweb.isparta.edu.tr/isfor2017/documents/pdf/50.pdf>
- Asciuto, A., Borsellino, V., D'Acquisto, M., Di Franco, C. P., Di Gesaro, M., & Schimmenti, E. (2015). Monumental trees and their existence value: Case study of an Italian natural park. *Journal of Forest Science*, 61(2), 56–61. <https://doi.org/10.17221/86/2014-JFS>
- Çağlar, Y. (2014). “Thoughts on “Monumental Trees” management. <Http://www.yew2015.duzce.edu.tr/Dokumanlar/2a0910a0-0330-4f4f-89fd-cfae766d5c48.pdf> (6 de enero de 2018).
- Cortés, Y., & León, N. (2017). Valoración Económica Ambiental para los árboles patrimoniales de Bogotá. *International Bussiness and Economics Reviex*, 8, 504–533.
- Ehrle, E. B. (2003). THE CHAMPION TREES AND SHRUBS OF MICHIGAN. *The Michigan Botanist*, 42, 3–46.
- Flores, G., & Ledezma, A. (2013). Sobre árboles monumentales o notables. *CiENCI AUANL*, 16(64), 20–25.
- Gutiérrez, Á. (2016). Árboles monumentales: un patrimonio natural no reconocido en Chile. *Bosque (Valdivia)*, 37(3), 445–449. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002016000300001>
- Lonsdale, D. (2013). *Árboles veteranos: Guía avanzada para su gestión*. Londres: Lifelong Learning Programme.
- Meza, M. del C. (2015). Los árboles de la Ciudad de México. Guardianes de su imagen y calidad ambiental. *Bitácora Arquitectura*, 31, 96–103. Retrieved from <file:///C:/Users/DR DIONISIO/Downloads/56652-162004-1-PB.pdf>
- Pty. (2007). *Register of Significant Trees. Randwick City Council* (Vol. 1). Avalon NSW.
- Reš, B., & Štěrba, P. (2010). *Památné stromy. aopk ČR*. Praha.
- Schimithusen, F. (2005). *El papel de la legislación forestal y ambiental en países de América Latina para la Conservación y Gestión de los recursos Naturales Renovables. IUFRO World Series* (Vol. 16). Viena.

- Vargas, G. (2017). Estrategias mecánicas de las plantas arborescentes : enseñanzas estructurales de los árboles. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 25(3), 510–523. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77252700013>
- Villanueva, J., Cerano, J., Stahle, D. W., Constante, V., Lorenzo, V., Estrada, J., & Benavides, J. (2010). Árboles longevos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(2), 7–29.
- Zapponi, L., Mazza, G., Farina, A., Fedrigoli, L., Mazzocchi, F., Roversi, P. F., ... Mason, F. (2017). The role of monumental trees for the preservation of saproxylic biodiversity : re-thinking their management in cultural landscapes. *Nature Conservation*, 243, 231–243. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.19.12464>

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Estado del arte

Para este apartado se muestra el análisis bibliométrico del tema de árboles singulares con su diversa sinonimia (monumental, longevo, campeón, etc.). Además, se revisa documentalmente la definición de árbol monumental, la importancia de los mismos; así como las especies de interés, sus beneficios y peligros a los que se enfrentan.

2.2. Análisis bibliométrico

El presente análisis bibliométrico se realizó con la búsqueda de dos palabras clave en la plataforma de Scopus®, tales palabras fueron “monumental” y “trees”, la razón por la que se utilizaron dichas palabras en inglés se debió a que en idioma español “árboles monumentales” arrojaba insuficientes publicaciones; ocasionando que el análisis bibliométrico estuviera muy limitado. Por tal motivo se eligieron las palabras clave en idioma inglés. Cabe destacar que se utilizaron sinónimos de la palabra monumental siendo el caso de “singular trees” y “ancient trees”. Sin embargo se apreció que las publicaciones encontradas con los sinónimos eran las mismas que para el uso de “monumental trees”.

De la búsqueda de “monumental trees” se encontraron 31 documentos a partir del año 1999 al 2017, se observó que en el periodo de 2015 – 2017 se publicaron el mayor número de documentos relacionados con el tema de árboles monumentales.

Los autores principales que han realizado publicaciones referentes a árboles monumentales son Dreslerová, J. de República Checa; Altay, V. de Turquía; y Arnan, X. de Italia.

Hallé (2005), menciona que un árbol es una planta con larga duración de vida, que posee un tronco de gran altura, autoportante, vertical y de gran diámetro, aquel cuya estructura y anatomía le confiere una rigidez suficiente para elevar un follaje sobre las demás plantas que compiten por la luz, frecuentemente, pero no siempre (refiriéndose a las palmeras), el tronco del árbol lleva ramas. Los aspectos cuantitativos –altura, diámetro del tronco, longevidad- son para evaluar en relación con la dimensión y la duración de la vida de las personas. De ahí emerge la necesidad de evaluar y estudiar los especímenes arbóreos singulares que sostienen complejos hábitats de especies. En el caso de los árboles urbanos son una fuente de servicios ecosistémicos que contribuyen al aumento de la calidad de vida de muchas comunidades y sus residentes.

Existen consecuencias al no preservar dicho arbolado que ocasionan la desaparición de éstos y el desaprovechamiento de los servicios ecosistémicos que brinda el árbol. (Tomao et al., 2015). Por otra parte, generalmente estos árboles se encuentran amenazados globalmente por los usos intensivos de la tierra y falta de reclutamiento. Su desaparición implicaría no solo la pérdida de organismos majestuosos con alto valor intrínseco, también puede resultar en la desaparición de especies raras y en peligro de extinción.

La atención y abordaje del tema de árboles especiales ha sido tratado con poca frecuencia en la literatura. Durante las últimas dos décadas la frecuencia de publicaciones científicas que contienen este tema como principal se muestra en la Figura 1. Podemos observar que este tema es reciente, y la mayoría de las publicaciones fueron publicadas en el periodo del año 2015 al 2017.

Por otra parte, uno de los países que está actualmente implementando una nueva lista de árboles antiguos es Italia. Su caso se ha tomado como una iniciativa nacional de importancia. (Zapponi et al., 2017).

En la medida que se investiga sobre los árboles se ha encontrado que en muchos casos tienen que transcurrir miles de años para lograr sus condiciones funcionales, haciendo frente a todo tipo de adversidades. Desde ese enfoque al árbol se le debe apreciar y estudiar en varios campos de la ciencia. (Vargas, 2017). Las publicaciones encontradas se muestran en la Figura 2, las cuales están distribuidas por autor y afiliación. En la Figura 2, también se indica que la principal investigadora es Dreslerová, J. de República Checa con dos publicaciones, el resto solo reporta una publicación

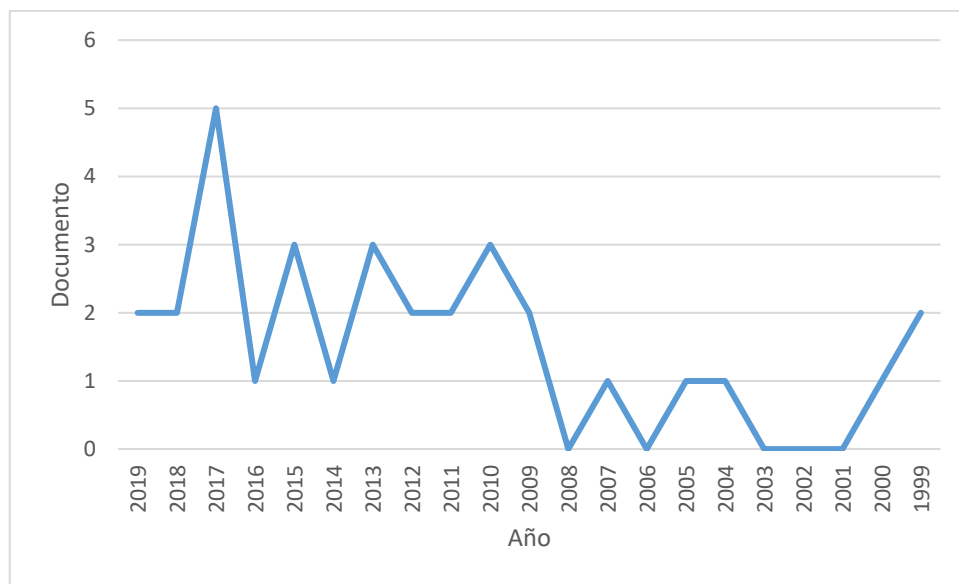


Figura 1. Documentos sobre el tema, por año de publicación

Fuente: Scopus, 2019. <https://www.scopus.com/freelookup/form/author.uri>

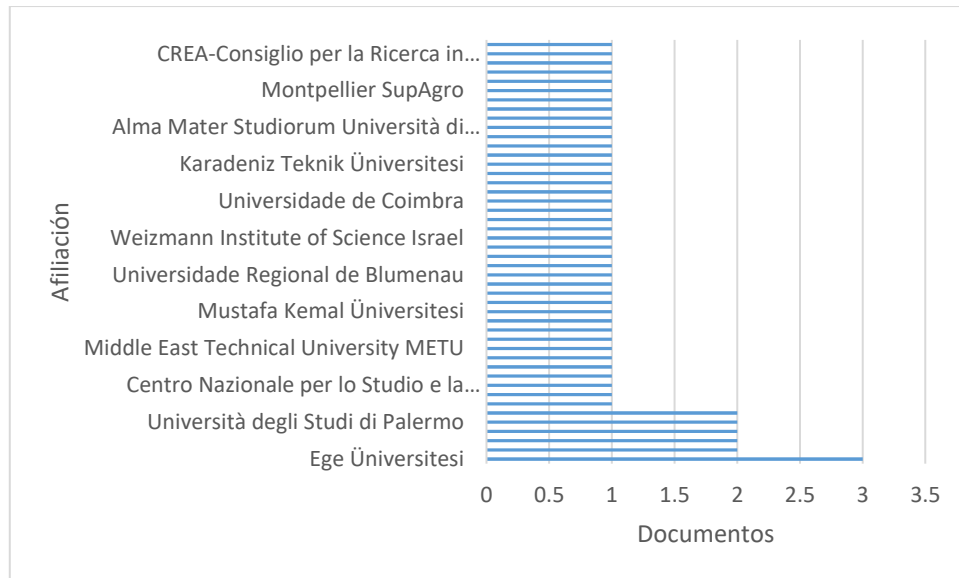


Figura 2. Documentos publicados y afiliación

Fuente: Scopus, 2019

De acuerdo con las publicaciones identificadas, los países que destacan en publicaciones referentes al tema de árboles especiales son: Turquía, con ocho documentos; Italia, con siete; y República Checa con cinco (Figura 3).

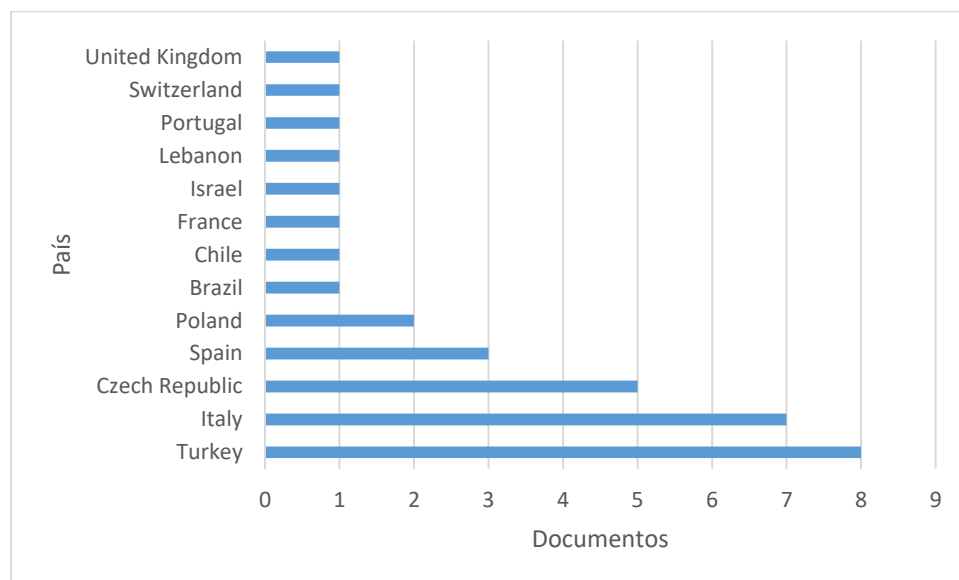


Figura 3. Publicaciones científicas sobre el tema, por país

Fuente: Scopus, 2019

Desde la perspectiva temática observamos que existen principalmente dos revistas que han publicado acerca de árboles de características especiales: Agricultural and Biological (41 %) y Environmental Science (26 %) (Figura 4).

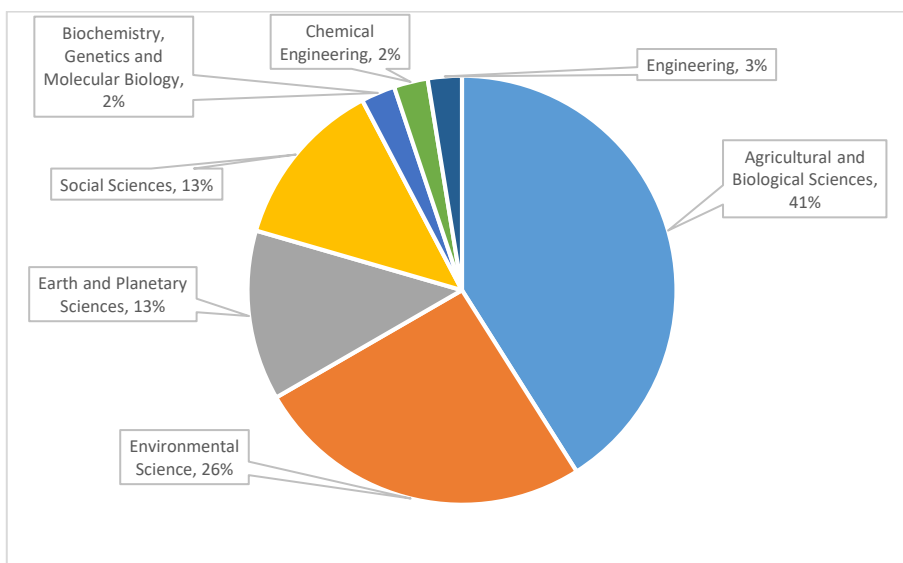


Figura 4. Documentos por área temática

Fuente: Scopus, 2019

Entre las publicaciones encontradas, destaca el de Dreslerová (2017), el cual evaluó una base de datos de los árboles conmemorativos de la República Checa, y se determinó la ocurrencia y abundancia de los árboles más monumentales en unidades biogeográficas elegidas.

Ninot et al. (2018), en su artículo abordan la conservación de los olivos centenarios en granja. Argumentan que es una prioridad que permite salvaguardar su genética, valor natural y agrícola; así como proteger genotipos antiguos en peligro de extinción. Sus estudios se realizan en el "Taula del Sénia" área noreste de la Península Ibérica. Otros autores que estudiaron a los olivos centenarios fueron (Chalak, Haouane, Essalouh, Besnard, & Khadari, 2015) y

mencionan que hoy en día los árboles monumentales sobreviven a través de la cuenca mediterránea. Los olivos pueden alcanzar edades que en algunos casos ascienden a miles de años. En la región mediterránea, se han considerado tradicionalmente como una especie particularmente longeva. (Arnan, López, Martínez, Estorach, y Poyatos, 2012)

Dentro de la provincia italiana de Trento, se sitúa el parque escultórico de Arte Sella, donde se articula un recorrido que combina las creaciones medio ambientales de distintos artistas en simbiosis con la naturaleza. El parque contiene individuos arbóreos antiguos y es visto como nuevo activo patrimonial que además funciona como un marco favorable para el desarrollo sostenible. (Sarriugarte, 2017)

(Ozturk, Uysal, Yucel, Altay, y Karabacak, 2017) Estudiaron las características ecológicas de árboles monumentales, a través de una evaluación entre las interacciones de la planta con el suelo y el estado de nutrición mineral del árbol elegido de 150 a 800 años. Encontraron que en los árboles monumentales se acumulaba una cantidad excesiva de Hierro y Calcio.

Debido a que existen varios factores que alteran el clima mundial. Uno de los mismos es el aumento de las emisiones de dióxido de carbono en las zonas urbanas (CO₂). Recientemente estudios realizados en América del Norte y Asia han informado que los árboles urbanos se pueden utilizar para mitigar estas emisiones. (Russo, Escobedo, Timilsina, y Zerbe, 2015).

Un tema preocupante es que existen plagas dominantes como la “*Altica quercetorium*” y la “*Erannis defoliaris*” (Polyakova, Gamayunova, Zhurova, y Litvinenko, 2015) y aquella bacteria de reacción negativa “*Chryseobacterium formosus*” encontrada en un tronco de árbol antiguo en la República de Corea (Akter et al., 2015) que deterioran al árbol. El trabajo subraya la importancia de

realizar estudios que permitan aislar, mitigar y si es posible eliminar a la plaga resulta de vital importancia.

2.3 Documentos fuera de Scopus

De acuerdo a las evidencias descritas en la Sección anterior, encontramos que son pocas las referencias científicas que se reportan en la literatura, sin embargo, hay que agregar que existen una amplia variedad de documentos, distintos de los científicos, es decir fuera de la base de datos de Scopus que, por la importancia de su contribución, conviene considerarlos en esta investigación.

Villota (2017) En su trabajo se profundizó en el conocimiento del patrimonio arbóreo. El estudio se basó en los sistemas de catalogación, reconocimiento, localización y selección de ejemplares.

Cuadro 1. Relación de autores por publicación y metodología

Nombre de los autores, Año de publicación	Título del artículo	Resumen	Palabras clave	Nombre del Journal	Repositorio
(Zapponi et al., 2017)	Artículo: El papel de los árboles monumentales para la preservación de la biodiversidad saxoalpinas: replanteamiento de su gestión en paisajes culturales	Los árboles antiguos presentan características estructurales y funcionales fundamentales para sostener complejos y ensamblajes únicos de especies. Criterios monumentales: 1. Edad y tamaño, 2. Forma peculiar, 3. Valor ecológico, 4. Rareza botánica y 5. Arquitectura de la planta	Árbol antiguo; microhabitat ; saxoalpinas; árbol veterano	Nature Conservation	ResearchGate
<p>Metodología:</p> <p>Para evaluar el progreso del nuevo inventario, se comparó con los datos recopilados en la encuesta de 1982 realizada por el Servicio Forestal. La base de datos de 1982 está disponible en la página web. de árboles monumentales italianos (http://www.corpoforestale.it/Alberi Monumentali) mientras que los resultados preliminares del nuevo inventario se almacenan en un diseño específico Geoportal (Geoalberimonumentali) con acceso restringido. (Zapponi et al., 2017)</p>					

(Villota, 2016)	Los árboles singulares en el paisaje. Propuesta de un modelo para su evaluación: El caso del territorio histórico de Álava	En el trabajo de tesis se profundizó en el conocimiento del patrimonio arbóreo. El estudio se basa en los sistemas de catalogación, reconocimiento, localización y selección de ejemplares. En la tesis se presenta una figura titulada "Árbol singular", que se extrajo de la ley 16/1994, de Conservación de la naturaleza de la región Vasca		Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. Soc. Esp. Cienc. For	Google Académico
-----------------	--	---	--	--	------------------

Metodología:

“Para la evaluación de árboles se optó por un *sistema de valoración multiplicativo* que resulta en un cálculo sumatorio de productos. El método es mixto por que aborda un método directo al evaluar subjetiva y cualitativamente. (Bruschi, 2007). Se aplica el método directo al definir los criterios en la evaluación y los parámetros para establecer la jerarquía de los mismos. Los criterios definidos se basan en una selección de elementos del árbol identificables (altura, diámetro de tronco y ancho de copa, distribución territorial, estructura, rareza de la especie) y de estimación subjetiva (significado paisajístico, valor histórico o patrimonial, importancia visual). Dichos criterios se gradúan en una escala del 0 al 4, entendiéndose al 0 como el de valor indiferente. Después se establecen pesos o coeficientes de ponderación para los parámetros obteniendo el valor final o “valor de singularidad”. El árbol es calificado como singular al exceder índices de 2.4” (Villota, 2016).

(Ozturk, Uysal, Yücel, Altay, & Karabacak, 2017)	Interacciones planta-planta en el plano de árboles monumentales (Platanus orientalis) grove-Çanakkale-Turkey	Estudiar las características ecológicas de los planos monumentales. Evaluar las interacciones suelo-planta y el estado de nutrición mineral de los árboles elegidos de 150 a 800 años de edad.	conservación, ecología, árboles monumentales, Platanus orientalis	Journal of Environmental Biology	ResearchGate
Metodología: Se recogieron y analizaron muestras de suelo y plantas usando Kjeldahl, espectrofotómetro, fotómetro de llama e ICP-OES.					
(Arnan, López, Martínez-Vilalta, Estorach, & Poyatos, 2012)	La edad de los olivos monumentales (Olea europaea) en el noreste de España	El objetivo principal de este estudio fue evaluar la edad de los grandes olivos considerados milenarios y clasificados como árboles monumentales en el noreste de España.	Árboles longevos, Mediterráneo, Edad del árbol, árbol de olivo, anillo del árbol	Dendrochronología	Sciencedirect
Metodología: La edad de los olivos muestreados se evaluó contando el número de anillos de crecimiento.					
(Besnard et al., 2013)	La compleja historia del olivo: desde la diversificación cuaternaria	Aquí, desentrañamos la historia de las aceitunas silvestres (oleasters), y luego inferimos los	Datación molecular a base de coalescencia; Recursos genéticos de los cultivos;	Proceedings of the Royal Society B: Biological	ResearchGate

	a tardía de los linajes mediterráneos hasta la domesticación primaria en el norte del Levante	orígenes primarios de la aceituna domesticada.	Refugio a largo plazo; Clima mediterráneo; Domesticación de plantas; Modelo de distribución de especies.	Science s	
<p>Metodología: se realizaron análisis de filogeografía y datación molecular bayesiana basados en el perfil del genoma plastídico de 1263 oleasters y 534 genotipos cultivados donde se revelan tres linajes principales de origen pre-Cuaternario.</p>					

Fuente: Elaboración propia, 2018

2.4 Aspectos de la legislación forestal mexicana relacionada con árboles especiales.

- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.

Se menciona en su ARTÍCULO 2. Los objetivos generales de la Ley:

“I. Contribuir al desarrollo social, económico, ecológico y ambiental del país, mediante el manejo integral sustentable de los recursos forestales, así como de las cuencas y ecosistemas hidrológico-forestales, sin perjuicio de lo previsto en otros ordenamientos”. (LGDFS,2018).

- NOM_059_SEMARNAT_2010

Tiene por Objetivo y campo de aplicación:

“Esta Norma Oficial Mexicana tiene por objeto identificar las especies o poblaciones de flora y fauna silvestres en riesgo en la República Mexicana, mediante la integración de las listas correspondientes, así como establecer los criterios de inclusión, exclusión o cambio de categoría de riesgo para las especies o poblaciones, mediante un método de evaluación de su riesgo de extinción y es de observancia obligatoria en todo el Territorio Nacional, para las personas físicas o morales que promuevan la inclusión, exclusión o cambio de las especies o poblaciones silvestres en alguna de las categorías de riesgo, establecidas por esta Norma.”

Programa Nacional Forestal 2014-2018

Tiene por objetivo:

Promover el aprovechamiento sustentable de los recursos forestales del país, reactivar la economía del sector forestal y mejorar la calidad de vida de los habitantes de las zonas forestales; así como, mantener e incrementar la provisión de bienes y servicios ambientales a la sociedad y reducir las emisiones de Carbono generadas por la deforestación y degradación forestal.

En el caso de la legislación extranjera:

2.5 Legislación forestal extranjera.

- Ley 1/2014, de 15 de abril, de Conservación de la Naturaleza del país Vasco.

Se menciona en su Artículo 21:

“Artículo 21. La declaración de biotopo protegido o árbol singular incluirá la delimitación geográfica que se considere necesaria para su adecuada protección, así como la normativa de regulación de los usos y actividades que incidan sobre los mismos. El procedimiento de elaboración del decreto de declaración incluirá la audiencia del público interesado y la consulta a las personas titulares de intereses sociales e institucionales afectados, cuya colaboración se procurará.”

- Ley 14/2016 de 7 de noviembre, de patrimonio arbóreo monumental de la región de Murcia.

Artículo 1. Objeto.

1. El objeto de esta ley es garantizar la protección, conservación, difusión, fomento, investigación y acrecentamiento del patrimonio arbóreo monumental de la Región de Murcia.

2. Se considera patrimonio arbóreo monumental el conjunto de árboles cuyas características botánicas de monumentalidad o circunstancias extraordinarias de edad, porte u otros tipos de acontecimientos históricos, culturales, paisajísticos, científicos, de recreo o ambientales ligados a ellos y a su legado, los haga merecedores de protección y conservación.

Por otra parte, hay muchos antecedentes sobre las regulaciones en materia de conservación y gestión de los diferentes árboles en el mundo. En el Reino Unido, ha habido algún tipo de protección legal para los árboles desde la década de 1940, Cowan (2004) indica que en la ley forestal de 1877 de Italia aparece el primer signo de la diferencia entre el patrimonio y territorio árbol. En Eslovenia, la primera política de protección del árbol se remonta desde el siglo XIX (Hribar y Lisec 2011).

2.6 Literatura citada

- Akter, S., NGO, H. T. T., Du, J., Won, K. H., Singh, H., Yin, C. S., Yi, T. H. (2015). *Chryseobacterium formosus* sp. nov. a bacterium isolated from an ancient tree trunk. *Archives of Microbiology*, 197(8), 1011–1017. <https://doi.org/10.1007/s00203-015-1137-9>
- Arnan, X., López, B. C., Martínez-Vilalta, J., Estorach, M., & Poyatos, R. (2012). The age of monumental olive trees (*Olea europaea*) in northeastern Spain. *Dendrochronologia*, 30(1), 11–14. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2011.02.002>
- Asciuto, A., Borsellino, V., D'Acquisto, M., Di Franco, C. P., Di Gesaro, M., & Schimmenti, E. (2015). Monumental trees and their existence value: Case study of an Italian natural park. *Journal of Forest Science*, 61(2), 56–61. <https://doi.org/10.17221/86/2014-JFS>

- Besnard, G., Khadari, B., Navascués, M., Fernández-Mazuecos, M., Bakkali, A., El, Arrigo, N., ... Savolainen, V. (2013). The complex history of the olive tree: From late quaternary diversification of mediterranean lineages to primary domestication in the northern Levant. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1756). <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.2833>
- Chalak, L., Haouane, H., Essalouh, L., Besnard, G., & Khadari, B. (2015). Extent of the genetic diversity in Lebanese olive (*Olea europaea* L .) trees : a mixture of an ancient germplasm with recently introduced varieties Extent of the genetic diversity in Lebanese olive (*Olea europaea* L .) trees : a mixture of an ancient germ, (June). <https://doi.org/10.1007/s10722-014-0187-1>
- Cowan, A. (2004). Protecting our ancestors legacy for the generations of the future. *A & E Arbor Ecology*, (12), 1–10.
- Gutiérrez, Á. (2016). Árboles monumentales: un patrimonio natural no reconocido en Chile. *Bosque (Valdivia)*, 37(3), 445–449. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002016000300001>
- Hallé, F. (2005). Plaidoyer pour l'arbre, Arles, ed. 2012, p. 162
- Hribar, M., y Lisec, A. (2011). Protecting trees through an inventory and typology : heritage trees in the karavanke mountains , slovenia. *Acta Geographica Slovenica*, 51(1), 169–189. https://doi.org/10.3986/AGS51108Ley_14/2016, de 7 de noviembre, de Patrimonio Arbóreo Monumental de la Región de Murcia. Disponible: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2016/BOE-A-2016-11095-consolidado.pdf>
- Ley 1/2014, de 15 de abril Ley de Conservación de la Naturaleza del País Vasco. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2014/BOE-A-2014-5595-consolidado.pdf>
- LGDFS (2018) Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Disponible: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgdfs/LGDFS_orig_05jun18.pdf
- Ninot, A., Howad, W., Aranzana, M. J., Senar, R., Romero, A., Mariotti, R., ... Belaj, A. (2018). Survey of over 4, 500 monumental olive trees preserved on-farm in the northeast Iberian Peninsula, their genotyping and characterization. *Scientia Horticulturae*, 231, 253–264. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.025>
- NOM–059–SEMARNAT–2010.Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091

- Ozturk, M., Uysal, I., Yücel, E., Altay, V., & Karabacak, E. (2017). Soil-plant interactions in the monumental plane trees (*Platanus orientalis*) grove-Çanakkale-Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 38(5(SI)), 1129–1137. [https://doi.org/10.22438/jeb/38/5\(SI\)/GM-33](https://doi.org/10.22438/jeb/38/5(SI)/GM-33)
- Polyakova, L. V., Gamayunova, S. G., Zhurova, P. T., & Litvinenko, V. I. (2015). Biochemical specifics of English oak trees with dry crown. *Contemporary Problems of Ecology*, 8(7), 885–891. <https://doi.org/10.1134/S1995425515070100>
- Programa Nacional Forestal (2018). Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/25918/3.3.2.5._Programa_Nacional_Forestal_PRONAFOR_7oct15.pdf
- Russo, A., Escobedo, F. J., Timilsina, N., & Zerbe, S. (2015). Transportation carbon dioxide emission offsets by public urban trees: A case study in Bolzano, Italy. *Urban Forestry and Urban Greening*, 14(2), 398–403. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.04.002>
- Sariugarte, I. (2017). El parque escultórico de Val di Sella : Nuevos patrimonios culturales y medio ambientales para la demanda turística. *PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 15(4), 1017–1031. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2017.15.05268>
- Tomao, A., Secondi, L., Corona, P., Giuliarelli, D., Quatrini, V., & Agrimi, M. (2015). Can composite indices explain multidimensionality of tree risk assessment? A case study in an historical monumental complex. *Urban Forestry and Urban Greening*, 14(3), 456–465. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.04.009>
- Vargas, G. (2017). Estrategias mecánicas de las plantas arborescentes : enseñanzas estructurales de los árboles. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 25(3), 510–523. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77252700013>
- Villota, M. (2015). Los árboles singulares en el paisaje. propuesta de un modelo para su evaluación: el caso del territorio histórico de Álava.
- Zapponi, L., Mazza, G., Farina, A., Fedrigoli, L., Mazzocchi, F., Roversi, P. F., ... Mason, F. (2017). The role of monumental trees for the preservation of saproxylic biodiversity : re-thinking their management in cultural landscapes. *Nature Conservation*, 243, 231–243. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.19.12464>

3 CAPITULO III. ARTÍCULO CIENTÍFICO

EVALUACIÓN DE MONUMENTALIDAD DE ÁRBOLES URBANOS EN MÉXICO

ASSESSMENT OF MONUMENTALITY OF URBAN TREES IN MEXICO

IQP. Nazly A. Mejorado-Velasco¹;

M.C. José L. Romo Lozano*¹;

M.C. Antonio Villanueva Morales¹;

M.C. Ma. Amparo Máxima Borja De la Rosa¹

¹ División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo.
Km. 38.5 Carretera México – Texcoco. Chapingo, Estado de México,
C.P. 56230. MÉXICO.

*Autor de correspondencia: jlromo@aya.yale.edu

3.1 Resumen

La evaluación de los árboles monumentales es una actividad importante para promover su preservación. Según la revisión realizada, se encontró que actualmente no existe una legislación clara y suficiente en México para brindar protección a los árboles monumentales. Esta investigación consiste en una evaluación de la monumentalidad de los árboles urbanos en México, realizada con la participación de 15 expertos en el tema. Los árboles evaluados fueron: "El Tule"; "El Sabino"; "El Ahuehuete"; "El Centinela"; "La Higuera"; "El Baobab"; "El Ginkgo" y "El Árbol de los Acuerdos", todos ellos ubicados dentro de diferentes estados del territorio mexicano. Se definieron cinco criterios para la evaluación: tamaño del árbol, estado de conservación, importancia cultural, importancia del paisaje y rareza. El establecimiento de los criterios se basó en metodologías conocidas y utilizadas en la evaluación de los árboles. El método

PROMETHEE se utilizó para evaluar la monumentalidad. Los resultados del estudio indicaron que el "El Tule" y el "Árbol de los Acuerdos", ubicados en el Estado de Oaxaca y el Estado de México, respectivamente, son los árboles que tienen características particulares que los hacen destacar sobre el resto de los árboles. El valor de monumentalidad más destacado de los árboles fue para "El Tule" debido a que las evaluaciones de los expertos mostraron las preferencias más altas a favor del conjunto de atributos que lo caracterizan.

Palabras clave: árboles monumentales, árboles urbanos, catalogación de árboles singulares, análisis multicriterio, método PROMETHEE, evaluación de árboles.

3.2 Abstract

The assessment of monumental trees is an important activity to promote their preservation. According to the review carried out, it was found that there is currently no clear and enough legislation in Mexico to provide protection for monumental trees. This research consists of an assessment of the monumentality for urban trees in Mexico, carried out with the participation of 15 experts in the subject. The trees evaluated were: "El Tule"; "El Sabino"; "El Ahuehuete"; "El Centinela"; "La Higuera"; "El Baobab"; "El Ginkgo" and "El Árbol de Los Acuerdos", all of them located within different States of the Mexican territory. Five criteria were defined for the assessment: tree size, state of conservation, cultural significance, landscape significance, and rarity. The establishment of the criteria was based on methodologies known and used in the tree assessment. The PROMETHEE method was used to assess the monumentality. The results of the study indicated that the "El Tule" and the "Árbol de Los Acuerdos", located in the State of

Oaxaca and State of Mexico respectively, are the trees that have particular characteristics that make them stand out above the rest of the study trees. The most prominent monumentality value of the trees was for "El Tule" due to the experts assessments showed the highest preferences in favour of the set of attributes that characterize it.

Keywords: monumental, trees, urban, multi - criteria analysis, PROMETHEE method, tree assessment.

3.3 Introducción

Los árboles con características especiales han sido objeto de estudio en la mayor parte de los países del mundo. El interés que se tiene en ellos se debe a que una parte importante de la sociedad los considera como de gran valor patrimonial, artístico, cultural, comercial, recreativo y ecosistémico (Gutiérrez, 2016). Dada la importancia e interés por su conservación, distintos expertos en el tema han definido diferentes conceptos para su catalogación. Tal es el caso de árboles veteranos (Lonsdale, 2015); campeones (Ehrle, 2003); patrimoniales (Cortés y León, 2017); significativos (Pty, 2007), monumentales (Asan, 2017; Çağlar, 2014); entre otros.

En la actualidad existen países como Chile y España que proponen la búsqueda y creación de aspectos legislativos como instrumento de protección a árboles monumentales o singulares, otros estudios en la península ibérica se encargan de salvaguardar genotipos de antiguos olivos en peligro de extinción (Zapponi *et al.* 2017). La preocupación en la preservación de especímenes arbóreos especiales surge debido a

que los mismos representan un valor patrimonial, científico, artístico, cultural, comercial y que además brindan servicio al medio ambiente. (Gutiérrez, 2016). Con base a la revisión documental, se observa que la regulación de árboles especiales en México es limitada, por lo que se requiere regulación legislativa adecuada que promueva su preservación.

De acuerdo con Schmithüsen (2005), una información amplia y accesible a la educación ambiental son los fundamentos que permiten que las leyes puedan ser efectivas. Existen diversos estudios sobre monumentalidad de árboles especiales, entre ellos se encuentran: (Asciuto *et al.* 2015) quienes llevaron a cabo una encuesta del Método de valoración contingente (CVM) entre los hogares residentes de Madonie Park (Sicilia, Italia) para evaluar el valor de existencia de árboles monumentales del sendero natural llamado "Piano Sempria-Piano Pomo", representado por una población de "Gigantes hollies" y por otros 7 árboles individuales. Otro estudio interesante es el de Res (1998) quien realizó un estudio en La República Checa donde se menciona a los árboles monumentales como individuos que destacan por su crecimiento y edad. En el caso de los árboles de valor histórico, recuerdan eventos memorables que se relacionan con varias leyendas y fábulas.

Algunos autores como Meza (2015) menciona que los estudios sobre la vegetación urbana y en particular sobre el arbolado en México son escasos, abordan temas muy heterogéneos, y la gran mayoría se han realizado para la Ciudad de México y algunos pocos para la ciudad de Monterrey. Por otra parte, La ubicación de árboles longevos es primordial y constituye un elemento adicional para fundamentar acciones de protección, restauración de ecosistemas degradados,

formulación de proyectos ecoturísticos y conservación de la biodiversidad. (Villanueva *et al.* 2010).

Muy a pesar de las aportaciones de los árboles sobresalientes, frecuentemente éstos enfrentan grandes retos de supervivencia ante el inminente desarrollo de proyectos urbanísticos mal planificados, la tala indiscriminada, la falta de cuidados y mantenimiento de los árboles, vandalismo y turismo desmedido que los amenazan. Con las amenazas a los que enfrentan se hace hincapié en el cuidado, conservación y protección de estos árboles, como patrimonio natural y cultural. (Flores y Ledezma, 2013).

En México existen árboles que reúnen una serie de atributos especiales, razón por la cual, a través del tiempo, han sido materia de interés para su conservación. Aun cuando existe poca información al respecto, uno de los esfuerzos documentados es el de Vargas (1993), quien realizó un compendio de árboles históricos y notables de México a través de una consulta colectada con la participación de oficinas representantes del gobierno federal. En esa consulta se obtuvo información sobre la presencia de árboles notables, que a su vez fueron clasificados en 8 categorías: árbol notable, árbol histórico, árbol notable e histórico, árbol indefinido, arboleda notable, arboleda histórica, arboleda notable e histórica y arboleda indefinida. Sin embargo, éstas no se describen ni se incluyen los criterios considerados para su definición.

En esta investigación se realizó una revisión sobre los distintos documentos que enlistan árboles especiales y se seleccionaron ocho de ellos (Vargas, 1993; INECC, 2007). Los árboles seleccionados reúnen un conjunto de atributos especiales para ser considerados

como árboles monumentales y se encuentran distribuidos en la república mexicana, éstos son: Árbol del Tule, El Sabino, Ahuehuete, El Centinela (*Taxodium mucronatum* Ten.), Ginkgo (*Ginkgo biloba* Salisb), Higuera (*Ficus aurea* Nutt), Baobab del periférico (*Adansonia digitata* L), y el Árbol de los acuerdos (*Fraxinus uhdei* (Wenz Ling.)). El objetivo del presente trabajo fue analizar y calificar su monumentalidad. Para ello, se incluyeron los siguientes criterios: tamaño del árbol, estado de conservación, significado cultural, significado paisajístico y rareza. Posteriormente, los árboles fueron evaluados en dichos criterios por un conjunto de expertos y la información obtenida fue analizada mediante el método PROMETHEE.

Una aportación del trabajo es brindar información valiosa a diversos profesionales en el área de paisaje y conservación de árboles singulares y/o monumentales.

3.4 Materiales y métodos

Este estudio considera distintas áreas donde se localizan los árboles objeto de análisis, las cuales incluyen las siguientes entidades: Ciudad de México, Durango, Estado de México, Hidalgo, Oaxaca y Veracruz. A continuación se describen los árboles objeto del presente estudio, aunque por motivos de espacio, solo se incluyen fotografías de dos de ellos:

1. Árbol del Tule

- Nombre científico: *Taxodium mucronatum* Ten
- Localización: Atrio de la iglesia Santa María de la Asunción, Santa María del Tule, Oaxaca (Figura 5).

- Diámetro de altura de pecho: >14.36 m
- Altura: 35.40 m.

Otros aspectos relevantes: El Sabino del Tule se encuentra en un gran Valle cerca de la entrada principal de la iglesia del pueblo, este árbol es mucho más antiguo que la invasión española. En sus primeros años de vida era un árbol hueco con aberturas de acceso a su interior, y en consecuencia, un tronco integrado por secciones. En la tradición oral de su historia se dice que este antiguo habitante de la tierra por poco cae víctima de un rico comerciante de Oaxaca que ofreció una cantidad muy merecida a los habitantes cercanos del tule por su árbol, el comerciante deseaba utilizar la madera del árbol para construir vigas y tablas. Afortunadamente los dueños del Tule rechazaron la proposición del comerciante, actualmente éste maravilloso árbol sigue en pie y cubre con su sombra a cuantos llegan a admirarlo. (El árbol en la historia, año) Con el tiempo su configuración evolucionó a una forma unitaria. Es el árbol con el tronco más grande del mundo, de los más longevos (más de 2000 años). En el 2003 se le declaró Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO y además la SEMARNAT lo ha reconocido como "El Árbol más Notable del Estado de Oaxaca". (INECC, 2007)

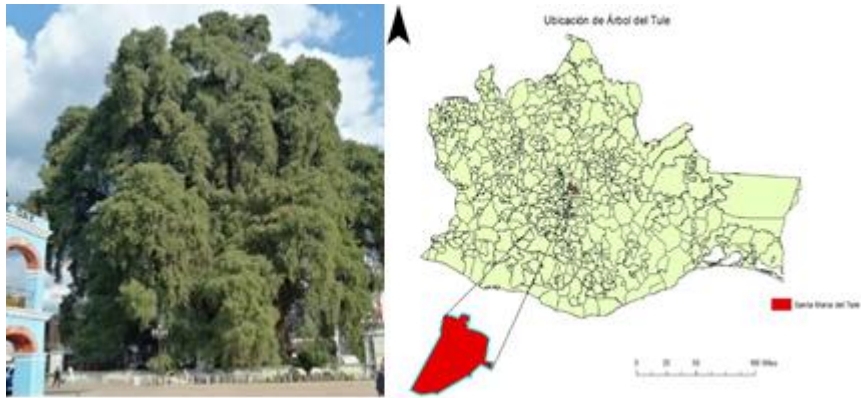


Figura 5. Árbol del Tule y su localización

Fuente: INEGI, 2010. <https://www.inegi.org.mx>

2. El Sabino

- Nombre científico: *Taxodium mucronatum* Ten
- Localización: Zimapán Hidalgo, parque el Sabino
- Diámetro de altura de pecho: 4.6 m
- Altura: 25 m

Otros aspectos relevantes: En 1993, El Sabino fue considerado por el Instituto Nacional de Ecología, como el único Árbol Notable del estado. Fue utilizado, según versiones, para ajusticiar delincuentes en la época de la Revolución Mexicana (INECC, 2007).

Se utilizó, según versiones, para ajusticiar delincuentes en la época de la Revolución (Vargas, 1997)

Mexicana

3. El Ahuehuete

- Nombre científico: *Taxodium mucronatum* Ten
- Localización: Victoria de Durango, parque El Guadiana
- Diámetro de altura de pecho: 5.50 m
- Altura: 9.10 m

Otros aspectos relevantes: Está considerado como el Ahuehuete más longevo del Parque Guadiana con una edad aproximada de 200 años.

4. El centinela o sargento

- Nombre científico: *Taxodium mucronatum* Ten
- Localización: Bosque de Chapultepec
- Diámetro de altura de pecho: 3.98 m
- Altura: 15 m

Otros aspectos relevantes: Se cuenta que fue plantado por el gran poeta Nezahualcóyotl a petición de Moctezuma, e incluso, se dice que el señor de Texcoco fue quien plantó los primeros ahuehuetes en la zona en 1460. En 1921, para celebrar el centenario de la independencia mexicana, fue seleccionado como árbol nacional por su esplendor, belleza, longevidad, dimensiones colosales y tradición. Desde tiempos prehispánicos a estos árboles se les han atribuido cualidades sagradas, y han sido parte de leyendas y de la historia de diversas poblaciones y lugares.

Por sus dimensiones se considera su registro (Vargas, 1997)

5. La Higuera

- Nombre científico: *Ficus aurea* Nutt
- Localización: La antigua Veracruz, México
- Diámetro de altura de pecho: ND
- Altura: ND

Otros aspectos relevantes: Árbol está ubicado en la casa que fuera propiedad de Hernán Cortes.

6. El Baobab del periférico

- Nombre científico: *Adansonia digitata* L
- Localización: Bulevar Manuel Ávila Camacho, CDMX (Figura 6)
- Diámetro de altura de pecho: ND

- Altura: ND

Otros aspectos relevantes: Para diferenciar el edificio del resto del área, el arquitecto Víctor Lama, de la Ciudad de México, decidió colocar un árbol en el noveno piso de este. Fue trasplantado a una maceta de dos metros de diámetro para su sobrevivencia y que en su interior contiene más de una tonelada de tierra. Cuando el baobab necesita hidratarse, el macetón cuenta con un mecanismo traído de Europa, que por medio de una fotocelda acciona un sistema de riego. (Alonso, 2009)

7. Ginkgo

- Nombre científico: *Ginkgo biloba* Salisb
- Localización: Parque la Bombilla, alcaldía Álvaro Obregón
- Diámetro de altura de pecho: 0.44 m
- Altura: 18 m

Otros aspectos relevantes: Se presupone que fue introducido por el Ing. Miguel Ángel de Quevedo (INECC, 2007), considerado como el padre de la ingeniería forestal en México; el cual menciona en una conferencia en el puerto de Veracruz que "en las sociedades modernas, se debe considerar la conservación forestal como una función necesaria y obligatoria del Estado". (Boyer, 2019)

8. Árbol de los acuerdos

- Nombre científico: *Fraxinus uhdei* (Wenz Ling.)
- Localización: Universidad Autónoma Chapingo (Figura 6)
- Diámetro de altura de pecho: 2.9 m
- Altura: 50 m

Otros aspectos relevantes: En este lugar tomó algunos acuerdos el General Manuel González, quien fuera Presidente Constitucional de la República Mexicana, así como el Ing. Marte R. Gómez, quien ocupó entre otros, los cargos de Director de la Escuela Nacional de Agricultura y Ministro de Agricultura. Se convirtió en el centro de reunión de la

comunidad estudiantil, de la Escuela de Nacional de Agricultura, para tomar acuerdos (Vargas, 1997)

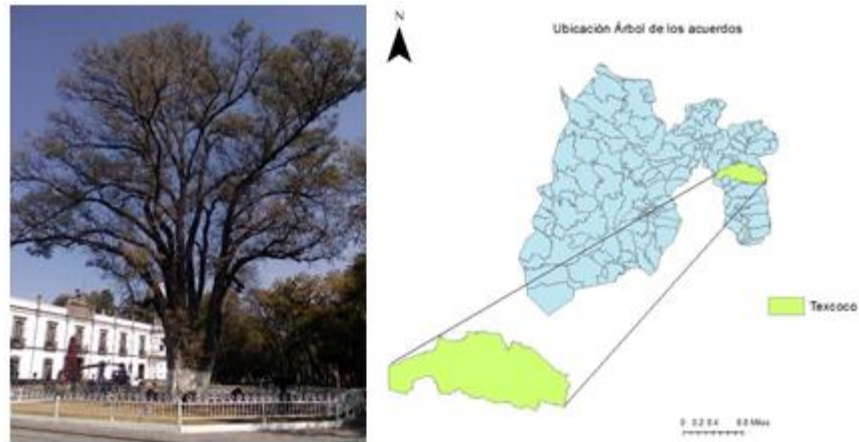


Figura 6. Árbol de los acuerdos y su localización

Fuente: INEGI, 2010. <https://www.inegi.org.mx>

Métodos

El método PROMETHEE es uno de distintos métodos que se utilizan para analizar y tomar decisiones sobre problemas relacionados con un conjunto de alternativas calificadas en un grupo de criterios, el acrónimo proviene de sus siglas en inglés (Preference Ranking Organization Method for Enriched Evaluation) (Brans y Vinke, 1985). La literatura reporta una muy amplia cantidad aplicaciones del método PROMETHEE en distintos campos de la investigación. Se ha utilizado en el campo de la toma de decisiones sobre selección de alternativas (Yilmaz y Dağdeviren, 2011; Vetschera y Almeida, 2012, Fadlina *et al.* 2012; Chen *et al.* 2009; Montana y Cavalcante, 2014). Asimismo, se ha aplicado para ordenar, de mayor a menor preferencia, un conjunto de opciones (Veza *et al.* 2015), así como en finanzas (Albadvi *et al.*

2014) y recursos naturales (Kangas *et al.* 2001), entre muchos otros más.

Se decidió la utilización de PROMETHEE debido a que la estructura de la información recabada para el análisis de la monumentalidad de los árboles se adapta perfectamente al procedimiento y objetivo del método (Cuadro 2).

Cuadro 2. Estructura de la información sobre los árboles

A	c_1	c_2	\dots	c_m
a_1	$c_1(a_1)$	$c_2(a_1)$	\dots	$c_m(a_1)$
a_2	$c_1(a_2)$	$c_2(a_2)$	\dots	$c_m(a_2)$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
a_n	$c_1(a_n)$	$c_2(a_n)$	\dots	$c_m(a_n)$

donde,

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$: conjunto de árboles

$C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$: conjunto de criterios, los cuales, en este problema se asumen a maximizar.

$c_i(a_j)$: evaluación del árbol a_j en el criterio c_i . Se asume que $c_i(a_j)$ es un valor numérico.

Basados en la descripción de (Ishizaka y Nemery, 2013), el método se aplicó desarrollando los siguientes pasos:

1. Estimación los grados de preferencia, en cada criterio, para cada par ordenado de árboles.
2. Cálculo los flujos unicriterio
3. Estimación de los flujos globales
4. Ordenamiento e mayor a menor monumentalidad de los árboles.

Los grados de preferencia unicriterio se estiman mediante comparaciones pareadas definidas a partir de identificar la superación de las alternativas entre sí (outranking relation). Son valores que expresan la preferencia de un árbol con respecto a otro, desde el punto de vista del tomador de decisiones (TD), los valores son entre 0 y 1. Un grado de preferencia 1 significa una preferencia fuerte o total por una de las alternativas en el criterio considerado. Por otra parte, si hay algo de preferencia, pero no total, la intensidad será algún valor entre 0 y 1. Éstos se denotan por P_{ij}^k y se computan para cada par de árboles (a_i, a_j) de A , donde $c_k(a_i) - c_k(a_j)$. P_{ij}^k y P_{ji}^k no son simétricos, pero respetan la condición $0 \leq P_{ij}^k + P_{ji}^k \leq 1$. Las decisiones sobre los grados de preferencia pueden ser enriquecidos utilizando funciones de preferencia. (Brans y Mareschal, 2005) proponen seis funciones para expresar las preferencias. En este estudio se utiliza la función conocida como usual (Figura 9, y ecuaciones (1)), donde los valores de los umbrales de indiferencia y preferencia, q y p , respectivamente, son igual a cero, lo que significa que ante la más mínima diferencia positiva en $c_k(a_i) - c_k(a_j)$, el TD expresará un grado de preferencia (fuerte) igual a 1. si la diferencia resultara negativa o cero, el grado de preferencia es cero o indiferente.

$$P_{ij}^k = \begin{cases} 0 & \text{si } f_k(a_i) - f_k(a_j) \leq 0 \\ 1 & \text{si } f_k(a_i) - f_k(a_j) > 0 \end{cases} \quad (1)$$

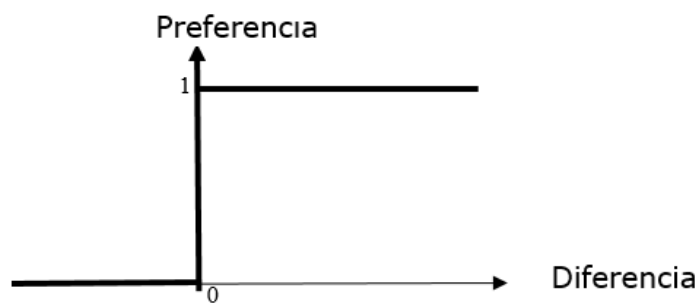


Figura 7. Función de preferencia usual

Los flujos unicriterio son de tres tipos: positivos, negativos y netos. Los flujos positivos toman valores entre 0 y 1 e indican cómo un árbol es preferido (de acuerdo con la preferencia del TD) sobre todos los árboles en un criterio en particular. Mientras más alto sea el valor del flujo positivo, más preferido es el árbol comparada con las otras (i.e. es mejor alternativa). Su estimación resulta de la siguiente fórmula,

$$\text{Flujo Positivo} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n P_{ij}^k$$

Los flujos negativos unicriterio miden cómo las otras alternativas (árboles) son preferidas con respecto a una alternativa en particular, éste es dado por,

$$\text{Flujo negativo} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n P_{ji}^k$$

Los flujos netos toman en cuenta los aspectos positivos y negativos de una alternativa. Se obtiene restando el flujo negativo del positivo. Representan el balance entre la fortaleza y debilidad de una alternativa y su valor siempre está entre -1 y 1.

Finalmente, los flujos globales positivos, negativos, y netos toman en cuenta todos los criterios de manera simultánea. La agregación ocurre mediante una suma ponderada donde se utilizan los pesos de cada criterio.

El valor de un flujo global positivo $\Phi^+(a_i)$ indica cómo una alternativa (árbol) es globalmente preferido con respecto a todas las demás alternativas (árboles), considerando el conjunto de los criterios. El valor del flujo global negativo $\Phi^-(a_i)$ indica cómo el resto de las alternativas son preferidas con respecto a una alternativa en particular. El flujo global neto es la diferencia de ambos flujos (positivo -negativo). Su estimación usa las siguientes fórmulas:

$$\Phi^+(a_i) = \frac{\sum_{j=1}^n \pi_{ij}}{n-1}$$

$$\Phi^-(a_i) = \frac{\sum_{j=1}^n \pi_{ji}}{n-1}$$

Donde π_{ij} y π_{ji} conforman la matriz de preferencia y se definen como los grados de preferencia global. Se computan tomando en cuenta los pesos de cada criterio (w_i) mediante,

$$\pi(a_i, a_j) = \pi_{ij} = \sum_{k=1}^q w_j \cdot P_{ij}^k$$

Para el análisis de la monumentalidad, y aplicación del método, se recabaron los datos de los ocho árboles con la participación de 15 expertos, cuyas valoraciones promedio fueron asumidas como valores consensuados. Los criterios utilizados fueron:

- Tamaño del árbol. Se precisa con la altura y circunferencia del tronco.
- Estado de conservación. Se da un valor del estado general de conservación, a simple vista se puede apreciar (vigor, color y marchitamiento del follaje)
- Significado cultural: Valor como figura o elemento natural, vinculo árbol – historia.
- Significado paisajístico: Se refiere al paisaje desde el análisis visual (escala de percepción). Percepción que ofrece el árbol a su entorno.
- Rareza (escasez) de la especie: Se refiere a la frecuencia de su presencia en el medio. (Área restringida y si el número de individuos es débil)

La mayor parte de los árboles eran ya conocidos por los expertos, sin embargo, la obtención de las evaluaciones fue apoyada con la exhibición de fotografías recientes de los árboles a evaluar. En la calificación del desempeño de los árboles en los distintos criterios, los

expertos expresaron sus valoraciones usando una escala lingüística de cinco términos, misma que luego fue posteriormente convertida a una escala numérica de la siguiente manera: Muy bueno: 4; Bueno: 3; Regular: 2, Malo: 1; Muy malo: 0. La ponderación de los criterios fue estimada mediante la distribución de 100 puntos entre éstos de acuerdo con la importancia otorgada a cada criterio. Las estimaciones de la aplicación del método PROMETHEE se realizaron utilizando el software Smart Picker Pro-versión 4.1.0[©].

3.5 Resultados

Las evaluaciones expresadas por los expertos, para cada árbol y en cada criterio, se presentan en el Cuadro 3. En una primera inspección de los datos, tal como ocurre usualmente en problemas de múltiples criterios, se observa que ninguno de los árboles tiene las mejores calificaciones en todos los criterios considerados. Los pesos asignados a cada criterio quedaron como sigue: Tamaño = 0.3; Estado de Conservación = 0.15; Significado Cultural = 0.3; Significado paisajístico = 0.15; y Rareza = 0.1.

Cuadro 3. Resultados de la evaluación

Árbol	Tamaño	E. de Conservación	S. Cultural	S. Paisajístico	Rareza
Tule	3.00	2.73	2.67	2.93	2.67
Sabino	2.50	2.40	1.40	2.53	2.60
Ahuehuete	2.00	2.87	2.20	1.73	2.67
Centinela	2.00	2.20	3.13	1.73	2.33
Higuera	2.00	3.07	2.33	2.33	2.47
Baobab	2.00	2.53	2.47	1.40	2.67
Ginkgo	2.00	2.73	2.07	1.73	2.73
De los Acuerdos	3.00	2.67	2.53	2.29	2.27

El cálculo del grado de preferencia de un árbol con respecto a los demás, (P_{ij}^k) , así como el grado de preferencia de los demás con respecto a cada árbol en particular (P_{ji}^k) , nos permitió la obtención de los flujos netos unicriterio (Cuadro 4).

Cuadro 4. Flujos netos unicriterio

Árbol	Tamaño	E. Conservación	de S. Cultural	S. Paisajístico	Rareza
Tule	0.857	0.286	0.714	1.000	0.429
Sabino	0.429	-0.714	-1.000	0.714	-0.143
Ahuehuete	-0.429	0.714	-0.429	-0.429	0.429
Centinela	-0.429	-1.000	1.000	-0.429	-0.714
Higuera	-0.429	1.000	-0.143	0.429	-0.429
Baobab	-0.429	-0.429	0.143	-1.000	0.429
Ginkgo	-0.429	0.286	-0.714	-0.429	1.000
De los Acuerdos	0.857	-0.143	0.429	0.143	-1.000

Aun cuando el software utilizado estima la matriz de preferencia a partir del cálculo de los grados de preferencia global (π_{ij}) , permitiendo con ello la estimación de los flujos globales positivo, negativo y neto (Cuadro 5), la estimación del flujo neto global puede también ser derivado a partir de la suma ponderada de los flujos netos unicriterio para cada árbol (Cuadro 3), permitiendo con ello definir la posición que de éstos se señala en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Flujos globales

Árbol	Flujo Positivo	Flujo Negativo	Flujo Neto	Posición
Tule	0.807	0.100	0.707	1
De los Acuerdos	0.621	0.336	0.286	2
Higuera	0.414	0.414	0.000	3
Centinela	0.336	0.450	-0.114	4
Ahuehuate	0.293	0.464	-0.171	5
Sabino	0.407	0.593	-0.186	6
Baobab	0.271	0.529	-0.257	7
Ginkgo	0.250	0.514	-0.264	8

3.6 Discusiones

De los resultados obtenidos, se observa que solo dos árboles presentan valores positivos en el Flujo Global Neto (El Tule, De los Acuerdos), indicando con ello que al considerar el conjunto de los criterios que determinan la monumentalidad, son los mayormente preferidos en comparación con el resto de los árboles.

De acuerdo con la opinión de los expertos, expresada en su asignación de los pesos a los criterios, se deduce que el Tamaño (0.3) y el Significado Cultural (0.3), tienen la mayor influencia en la determinación de la monumentalidad de los árboles. Con base a lo anterior, podemos observar que el mejor evaluado, y en consecuencia de mayor monumentalidad (0.707 en Cuadro 5), fue el árbol del Tule. En su calificación, el criterio que tuvo el mejor desempeño en las evaluaciones del conjunto de expertos fue el Significado paisajístico (1), sin embargo, su influencia en el valor de la monumentalidad fue menor a la de otros criterios debido a su menor peso (0.15). El criterio que resultó con mayor influencia en la monumentalidad del Tule fue el Tamaño (0.857 en Cuadro 4), el cual al multiplicarse por el peso de importancia asignado a este criterio (0.3), fue de 0.2571 (en color azul

de Figura 10). El criterio de significado cultural fue el segundo de mayor influencia con una evaluación de 0.714 (en Cuadro 3) y un peso de 0.3, contribuyendo con 0.2142 en el valor de la monumentalidad. En este caso, la contribución de todos los criterios fue positiva. En la Figura 8 se han graficado solo los tres árboles que resultaron con mejor calificación en monumentalidad incluyendo las contribuciones de los distintos criterios.

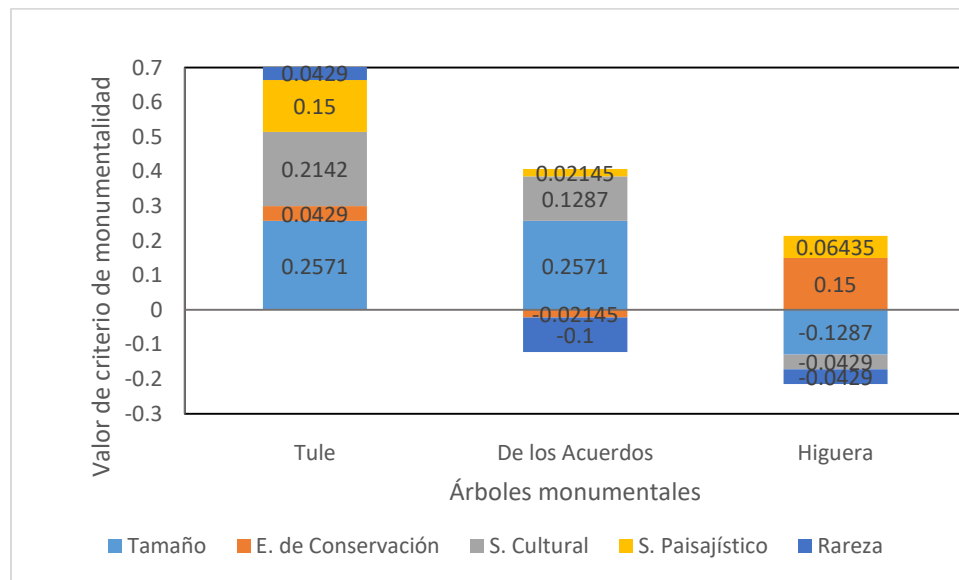


Figura 8. Árboles con mejor calificación en monumentalidad

El segundo árbol de mayor monumentalidad fue el De los Acuerdos. En este árbol, al igual que en El Tule, el criterio de mayor aporte fue el Tamaño (0.2571). Asimismo, se observan aportes negativos en dos de sus criterios, Estado de conservación (-0.02145) y Rareza (-0.1). Aun cuando este árbol ocupa el segundo lugar, su valor de monumentalidad (0.2858) queda muy distante del valor obtenido por el árbol del Tule (Figura 8).

La higuera resultó con un valor de monumentalidad casi nulo, aun cuando ocupa la tercera posición. El valor tan bajo en la

monumentalidad se explica por la negativa contribución de tres criterios: Tamaño (-0.1287), Significado Cultural (-0.0429) y Rareza (-0.0429).

El resto de los árboles resultaron con Flujo Global Neto negativo, indicando con ello grados de preferencia muy bajos en las comparaciones pareadas realizadas por los expertos entre los distintos árboles para cada uno de los criterios y resultando en valores negativos de su monumentalidad.

3.7 Conclusiones

Después de analizar la estructura de la información utilizada en la evaluación de la monumentalidad de los árboles aquí considerados, se puede concluir que ésta se adapta de manera apropiada para la aplicación de métodos de análisis multicriterio en general, y del método PROMETHEE en particular. En el marco de este ejercicio, los únicos árboles que resultaron monumentales fueron El Tule y De los Acuerdos.

3.8 Agradecimientos

La primera autora agradece al Conacyt por la beca otorgada para realizar los estudios de maestría.

3.9 Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

3.10 Contribución por autor

Nazly A. Mejorado Velasco: consulta de información, escritura del documento; José L. Romo Lozano: apoyo en descripción de información, aporte de la metodología; Antonio Villanueva Morales: apoyo en escritura de documento; Ma. A. Borja de la Rosa: apoyo en descripción de información.

3.11 Referencias

Alanís F., G. J. y A. R. Ledezma M. 2013. Sobre Árboles Monumentales o Notables. *CiENCIA UANL* 16: 20–25

Albadvi, A., A. Keramati and J. Razmi. 2007. Assessing the impact of information technology on firm performance considering the role of intervening variables: organizational infrastructures and business processes reengineering. *International Journal of Production Research*, 45(12): 2697–2734. DOI: 10.1080/00207540600767780

Alonso, F. 2009. El baobab del periférico. *El universal*.

Asan, Ü. 2017. Mystical and holistic aspect of the monumental trees , and their importance for ecotourism, *ISFOR 2017*: 50–58.

Asciuto, A., V. Borsellino, M. D’Acquisto. C.P. Di Franco, M. Di Gesaro and E. Schimmenti. 2015. Monumental trees and their existence value: Case study of an Italian natural park. *Journal of Forest Science*, 61(2): 56–61. DOI: 10.17221/86/2014-JFS

Boyer, C. R. 2007. Revolución y paternalismo ecológico: Miguel Ángel de Quevedo y la política forestal en México, 1926-1940. *Historia Mexicana*, 57(1): 91-138.

Brans, J.P and Ph. Vincke 1985. Note — A Preference Ranking Organisation Method. *Management Science*, 31(6): 647–656. DOI: 10.1287/mnsc.31.6.647

Brans, J.P and B. Mareschal 2005. Promethee methods. In book: *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Ed. Springer. New York., USA, 195 p. DOI: 10.1007/0-387-23081-5_5

Çağlar, Y. 2014. "Opiniones sobre Gestión de árboles monumentales". [Http://www.yew2015.duzce.edu.tr/Dokumanlar/2a0910a0-0330-4f4f-89fd-cfae766d5c48.pdf](http://www.yew2015.duzce.edu.tr/Dokumanlar/2a0910a0-0330-4f4f-89fd-cfae766d5c48.pdf) (6 de enero de 2018).

Chen-Tung, C., H. Yuan-Chu, and H. Wei-Zhan. 2009. Applying Multiple Linguistic PROMETHEE Method for Personnel Evaluation and Selection, IEEM 2009 - IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. pp 1312-1316. DOI: 10.1109/IEEM.2009.5373021

Cortés C., Y y N. León R. 2017. Valoración económica ambiental para los árboles patrimoniales de Bogotá. *International Business and Economics Review*, 8: 504–33.

Ehrle, Elwood B. 2003. The champion trees and shrubs of michigan, *The Michigan Botanist*, 42(2): 3–46.

Fadlina., L. Tomoria S., A. Karim., Mesran, A. P. Utama S. 2017. Best Student Selection Using Extended Promethee II Method. *International Journal of Recent Trends in Engineering and Research*. 3:21-29.

Fontana, M.E. and C. A. Virgínio C. 2014 Use of Promethee Method to Determine the Best Alternative for Warehouse Storage Location Assignment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70: 1615-1624. DOI: 10.1007/s00170-013-5405-z.

Gutiérrez, Á.G. 2016. Árboles Monumentales: Un Patrimonio Natural No Reconocido En Chile. *BOSQUE* 37(2): 445-449. DOI: 10.4067/S0717-92002016000300001.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2007. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/123/mex.html> (12 de febrero de 2019)

Ishizaka, A. y P. Nemery. 2013. *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software*. United Kingdom. DOI: 10.1002/9781118644898.ch10

Kangas, A., J. Kangas., and J. Pykäläinen 2001. Outranking methods as tools in strategic natural resources planning. *Silva Fennica*, 35(2), 215–227. DOI:10.14214/sf.597

Lonsdale, D, 2013. *Árboles Veteranos: Guía Avanzada Para Su Gestión*. Lifelong Learning Programme. Londres. pp. 197

Meza A., M. C. 2015. Los Árboles de La Ciudad de México. *Guardianes de Su Imagen y Calidad Ambiental*. Bitácora Arquitectura, 31: 96–103.

Núñez, M y J. Saiz. 2011. Criterios para establecer las condiciones de conservación de árboles singulares. *Revista Montes*, 106: 50–52.

Philippe Nemery (2011). Smart Picker Pro. (software) Obtenido de: <http://www.smart-picker.com/>

Pty, 2007. Register of Significant Trees. Randwick, Australia. pp. 243.

Reš, B, and Štěrba P., 1998. Památné stromy, Agentura Ochrany Přírody a Krajiny ČR. Praha.

Schmithüsen, F.J. 2005. El Papel de La Legislación Forestal y Ambiental En Países de América Latina Para La Conservación y Gestión de Los Recursos Naturales Renovables, IUFRO World Series, 16: 5–21. DOI: 10.3929/ethz-a-005961854

Vargas M., F. 1997. Compendio de Árboles Históricos y Notables de México. InstitUto Nacional de Ecología, SEMARNAP, México. 52 p.

Vetschera, R y A. Teixeira de A. 2012. A PROMETHEE-based approach to portfolio selection problems. Computers and Operations Research, 39(5), 1010–1020. DOI:10.1016/j.cor.2011.06.019

Veza, I., S. Celar and I. Peronja 2015. Competences-based comparison and ranking of industrial enterprises using PROMETHEE method. Procedia Engineering, 100: 445–449. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.01.389

Villanueva D., J., J. Cerano P., D.W. Stahle., V. Constante G., L. Vázquez S., J. Estrada Á y J.D. Benavides S. 2010. Árboles longevos de México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 1(2): 7–29.

Villota G., M. 2015. Los árboles en el paisaje. Propuesta de un modelo para su evaluación: El caso del territorio histórico de Álava. Doctorado. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 285 p.

Yilmaz, B and M. Dağdeviren. 2011. A combined approach for equipment selection: F-PROMETHEE method and zero-one goal programming. Expert Systems with Applications, 38: 11641–11650. DOI:10.1016/j.eswa.2011.03.043

Zapponi, L., G. Mazza., A. Farina., L. Fedrigoli., F. Mazzocchi., P.F. Roversi., ... F. Mason. 2017. The role of monumental trees for the preservation of saproxylic biodiversity : re-thinking their management in cultural landscapes. Nature Conservation, 243: 231–243. DOI: 10.3897/natureconservation.19.12464

4 ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LOS ÁRBOLES EVALUADOS

Un primer análisis de los datos levantados fue analizado con el software “SAS (Statistical Analysis System)” versión 9.4 y se utilizó el método Proc univariante.

Cuadro 6. Estadísticas descriptivas

Variable	N	Media	Dev. est	C.V	Mediana	Mínimo	Máximo
T	120	2.31250	0.43027	18.6062	2.00000	2.00000	3.00000
EC	120	2.65000	0.93170	35.1584	3.00000	1.00000	4.00000
SC	119	2.35294	1.10919	47.1405	2.00000	1.00000	4.00000
SP	119	2.08403	1.40568	67.4500	2.00000	0	4.00000
R	120	2.55000	1.09122	42.7929	2.00000	1.00000	4.00000

En el cuadro 6 se encuentran medidas de estadística descriptiva, tal es el caso de la media, desviación estándar, coeficiente de variación, mediana y valores máximos y mínimos.

Con la comparación de la desviación estándar se identifica la distribución del conjunto de datos; se puede apreciar que la desviación mayor la tuvo la variable SP (1.4056), que indica que existe una variabilidad mayor en el conjunto de sus datos. Por otro lado se observa que la variable T (0.43027) fue la de menor variabilidad. Se puede confirmar lo anterior con el coeficiente de variación, donde nuevamente se aprecia que SP resulta ser la de mayor variación con un valor de (67.4500).

Se puede observar que los valores de la mediana y media son similares, se indica entonces que la distribución de los datos es aproximadamente simétricas. El valor de la media más alta resulta ser par EC (2.6500) y la más baja resulta para SP (2.08403).

Cuadro 7. Correlaciones de Pearson entre los criterios evaluados

	T	EC	SC	SP	R
T
T	15	15	15	14	15
EC	.	1.00000	-0.30567	0.06957	0.07932
EC	.		0.2679	0.8132	0.7787
EC	15	15	15	14	15
SC	.	-0.30567	1.00000	0.16778	-0.38680
SC	.	0.2679		0.5664	0.1544
SC	15	15	15	14	15
SP	.	0.06957	0.16778	1.00000	0.06149
SP	.	0.8132	0.5664		0.8346
SP	14	14	14	14	14
R	.	0.07932	-0.38680	0.06149	1.00000
R	.	0.7787	0.1544	0.8346	
R	15	15	15	14	15

En el cuadro 7, se puede apreciar que el nivel de correlación entre criterios (variables) es bajo, lo anterior indica que las variables son independientes. Se observa que se tiene un pvalor mayor a 0.05, lo que indica que la correlación no es significativamente diferente de cero.

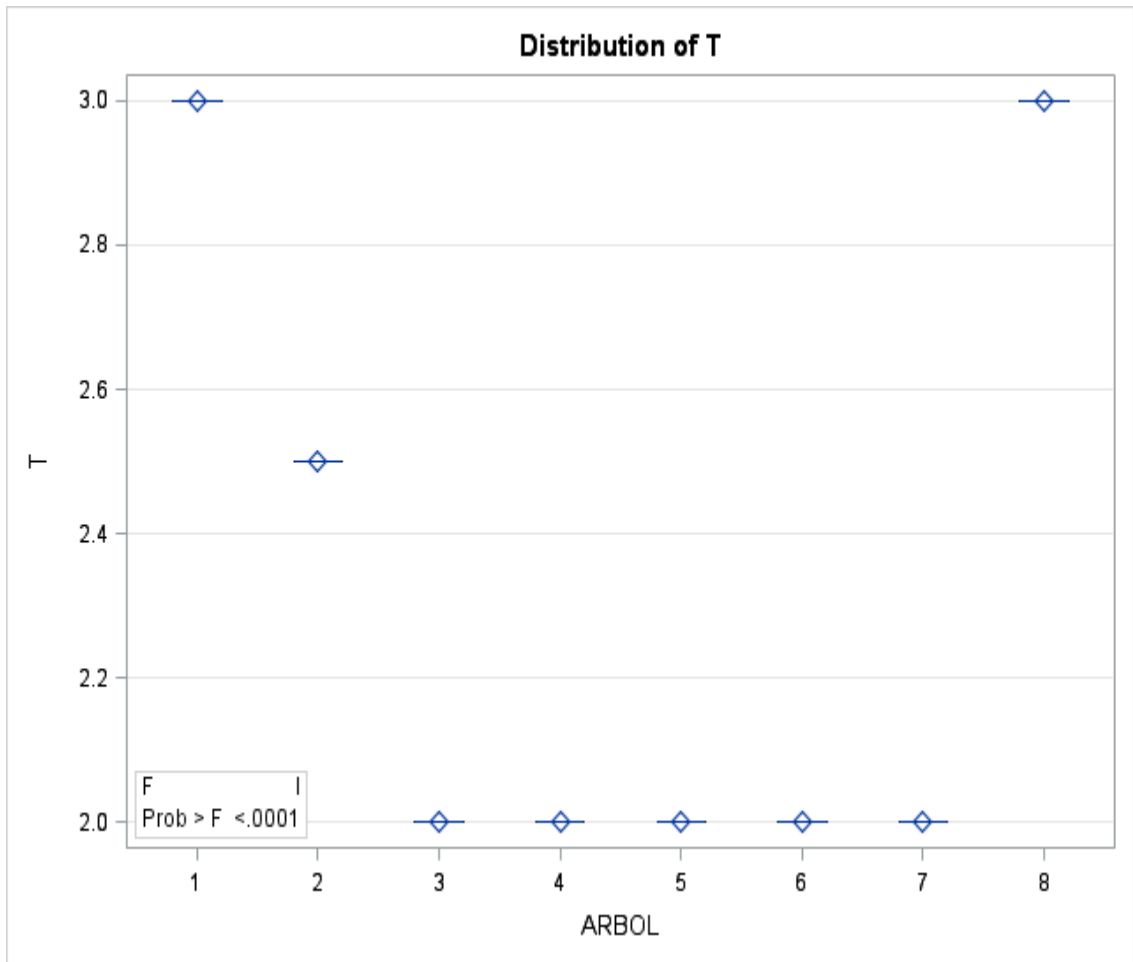


Figura 9. Distribución de tamaño

En la Fig.9 se encuentran ordenados los árboles de acuerdo a su tamaño. La categoría propuesta para el criterio de tamaño es la siguiente: bajo, mediano, alto y muy alto. En el gráfico de distribución de tamaños se observa que sobresalen los árboles 1 (Árbol del Tule), 2 (El Sabino) y 8 (El árbol de los acuerdos). Los valores de la mediana y media se encuentran muy cercanos indicando que los datos de T son simétricos.

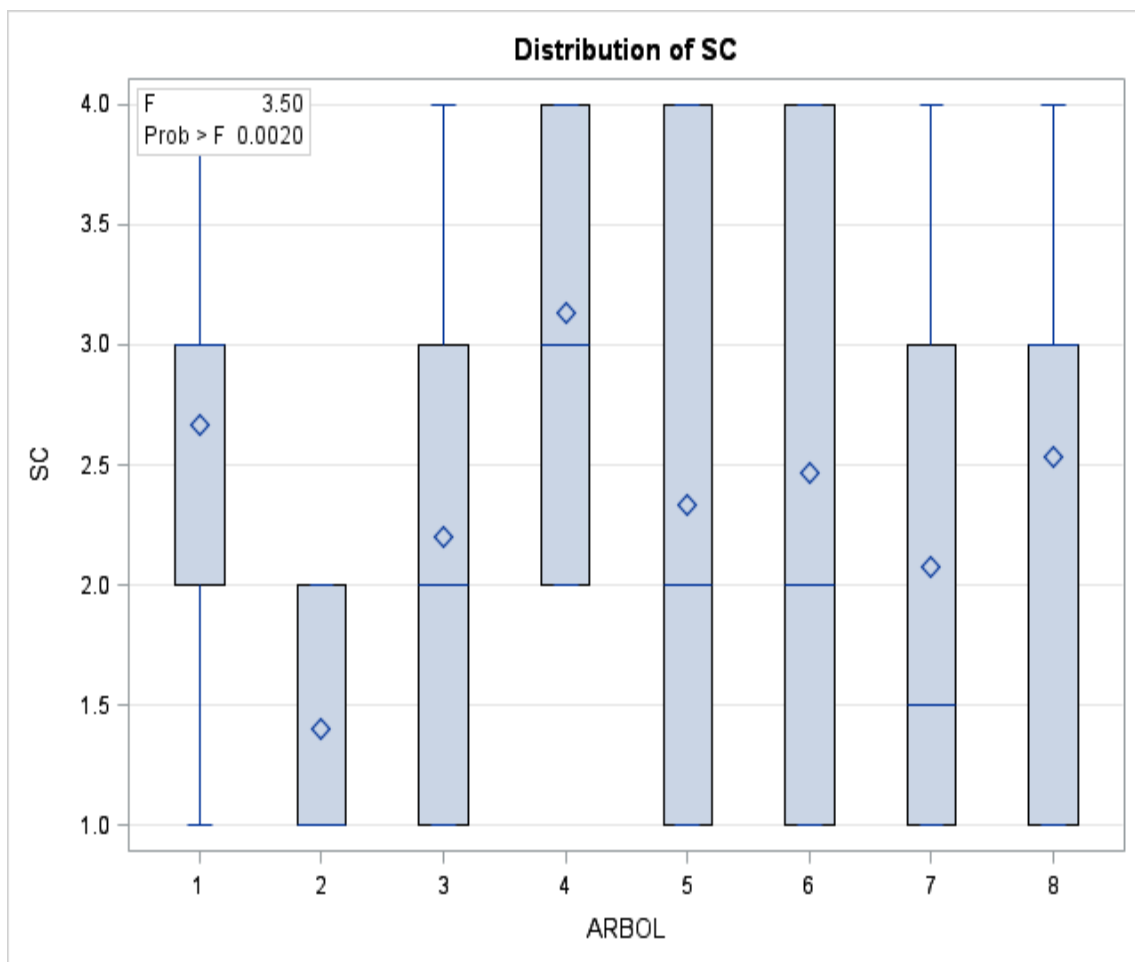


Figura 10. Distribución de significado cultural

En la figura 10. Distribución de significado cultural Se observa que el árbol 4. El Centinela, es el de mayor valor para el criterio de Significado Cultural, es evidente lo anterior; debido a que es un árbol imprescindible en la historia antigua de México. Teniéndose la información que fue plantado por el poeta Nezahualcóyotl. Se observa que las medias y medianas se encuentran alejadas por lo tanto, su distribución no es simétrica.

LITERATURA CITADA

Akter, S., NGO, H. T. T., Du, J., Won, K. H., Singh, H., Yin, C. S., ... Yi, T. H. (2015). *Chryseobacterium formosus* sp. nov. a bacterium isolated from an ancient tree trunk. *Archives of Microbiology*, 197(8), 1011–1017.

<https://doi.org/10.1007/s00203-015-1137-9>

Arnan, X., López, B. C., Martínez-Vilalta, J., Estorach, M., & Poyatos, R. (2012). The age of monumental olive trees (*Olea europaea*) in northeastern Spain. *Dendrochronologia*, 30(1), 11–14. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2011.02.002>

Asan, Ünal. (2017). “Mystical and Holistic Aspect of the Monumental Trees , and Their Importance for Ecotourism.” In *International Symposium on New Horizons in Forestry*, Isparta, Turkey, 50–58. <http://ormanweb.sdu.edu.tr/isfor2017/documents/pdf/50.pdf>.

Asciuto, A. et al. (2015). “Monumental Trees and Their Existence Value: Case Study of an Italian Natural Park.” *Journal of Forest Science* 61(2): 56–61. <https://doi.org/10.17221/86/2014-JFS>

Besnard, G., Khadari, B., Navascués, M., Fernández-Mazuecos, M., Bakkali, A. El, Arrigo, N., ... Savolainen, V. (2013). The complex history of the olive tree: From late quaternary diversification of mediterranean lineages to primary domestication in the northern Levant. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1756). <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.2833>

Brans, J. P., & Vincke, P. (1985). A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making). *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*, 31(6), 647–656. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Brans, J., and Mareschal, B. (2005). Promethee methods. In J. Figueira, S. Greco, and M. Ehrgott, *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. New York: Springer.

Cannizzaro, Salvatore, and Gian Luigi Corinto. 2014. “The Role of Monumental Trees in Defining Local Identity and in Tourism. a Case Study in the Marches Region.” *Geoprogess Journal* 1(1): 29–48.

Chalak, L., Haouane, H., Essalouh, L., Besnard, G., & Khadari, B. (2015). Extent of the genetic diversity in Lebanese olive (*Olea europaea* L .) trees : a mixture of an ancient germplasm with recently introduced varieties Extent of the genetic diversity in Lebanese olive (*Olea europaea* L .) trees : a mixture of an ancient germ, (June). <https://doi.org/10.1007/s10722-014-0187-1>

Chen, C. T., Hwang, Y. C., & Hung, W. Z. (2009). Applying multiple linguistic PROMETHEE method for personnel evaluation and selection. *IEEM 2009 - IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 1312–1316. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2009.5373021>

Cortés-Cortés, Yolima, y Nohra León-Rodríguez. 2017. “Valoración económica Ambiental Para Los Árboles Patrimoniales de Bogotá.” *Bussines*

Internacional y Economía de viajeros (8): 504-33.

Ehrle, Elwood B. 2003. "The Champion Trees and Shrubs of Michigan." *The Michigan Botanist* 42(2): 3–46.
<http://hdl.handle.net/2027/spo.0497763.0045.201>.

Fadlina, Tomoria, L., Karim, A., Mesran, & Andysah, P. (2017). Best Student Selection Using Extended Promethee II Method. *International Journal of Recent Trends in Engineering and Research*, 3(8), 21–29.
<https://doi.org/10.23883/ijrter.2017.3382.sk4cv>

Fay, Neville. 2002. "Environmental Arboriculture, Tree Ecology and Veteran Tree Management." *Ecology* 26(3): 213–38.

Flores, G., & Ledezma, A. (2013). Sobre árboles monumentales o notables. *CiENCiAUANL*, 16(64), 20–25.

Fontana, M., & Cavalcante, A. (2014). Use of Promethee method to determine the best alternative for warehouse storage location assignment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70(9–12), 1615–1624. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5405-z>

Gutiérrez, Á. G. (2016). Árboles monumentales: un patrimonio natural no reconocido en Chile. *Bosque (Valdivia)*, 37(3), 445–449.
<https://doi.org/10.4067/S0717-92002016000300001>

Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software*. <https://doi.org/10.1002/9781118644898>

Jaromíra, D. (2017). MEMORIAL TREES IN THE CZECH LANDSCAPE. *Journal of Landscape Ecology*, 10(2), 79–108. <https://doi.org/10.1515/jlecol-2017-0019>

Kangas, A., Kangas, J., y Pykäläinen, J. (2001). Outranking methods as tools in strategic natural resources planning. *Silva Fennica*, 35(2), 215–227.
<https://doi.org/10.14214/sf.597>

Lee, Hsing Chen, y Ching Ter Chang. (2018). "Comparative Analysis of MCDM Methods for Ranking Renewable Energy Sources in Taiwan." *Renewable and Sustainable*

Lonsdale, David. (2013). *Ancient and Other Veteran Trees: Further Guidance on Management*. ed. David Lonsdale. London: Ancient Tree Forum.

- Meza, M. del C. (2015). The trees of Mexico City: guardians of their image and of the environment. *Bitácora Arquitectura*, (31), 96–103. Retrieved from file:///C:/Users/DR DIONISIO/Downloads/56652-162004-1-PB.pdf
- Ninot, A., Howad, W., Aranzana, M. J., Senar, R., Romero, A., Mariotti, R., ... Belaj, A. (2018). Survey of over 4, 500 monumental olive trees preserved on-farm in the northeast Iberian Peninsula, their genotyping and characterization. *Scientia Horticulturae*, 231, 253–264. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.025>
- Núñez, M., & Saiz, J. (2011). Criterios para establecer las condiciones de conservación de árboles singulares. *Revista Montes*, (106), 50–52.
- Ozturk, M., Uysal, I., Yücel, E., Altay, V., & Karabacak, E. (2017). Soil-plant interactions in the monumental plane trees (*Platanus orientalis*) grove-Çanakkale-Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 38(5(SI)), 1129–1137. [https://doi.org/10.22438/jeb/38/5\(SI\)/GM-33](https://doi.org/10.22438/jeb/38/5(SI)/GM-33)
- Polyakova, L. V., Gamayunova, S. G., Zhurova, P. T., & Litvinenko, V. I. (2015). Biochemical specifics of English oak trees with dry crown. *Contemporary Problems of Ecology*, 8(7), 885–891. <https://doi.org/10.1134/S1995425515070100>
- Pty, Punto de referencia. 2007. Registro de Árboles significativo. Randwick, Au.
- Ramos, A. (1979). Planificación física y ecológica: modelos y métodos. Editorial Emesa, Madrid, España. 216 pp
- Res, B. (1998). *Památné stromy*. – Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.
- Russo, A., Escobedo, F. J., Timilsina, N., & Zerbe, S. (2015). Transportation carbon dioxide emission offsets by public urban trees: A case study in Bolzano, Italy. *Urban Forestry and Urban Greening*, 14(2), 398–403. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.04.002>
- Sariugarte, I. (2017). El parque escultórico de Val di Sella : Nuevos patrimonios culturales y medio ambientales para la demanda turística. *PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 15(4), 1017–1031. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2017.15.05268>
- Schimithüsen, F. (2005). El papel de la legislación forestal y ambiental en países de América Latina para la Conservación y Gestión de los recursos Naturales Renovables. *IUFRO World Series*, 16.
- SAS Institute Inc (2013). SAS/ACCESS® 9.4 Interface to ADABAS: Reference. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Tomao, A., Secondi, L., Corona, P., Giuliarelli, D., Quatrini, V., y Agrimi, M.

- (2015). Can composite indices explain multidimensionality of tree risk assessment? A case study in an historical monumental complex. *Urban Forestry and Urban Greening*, 14(3), 456–465. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.04.009>
- Vargas, G. (2017). Estrategias mecánicas de las plantas arborescentes: enseñanzas estructurales de los árboles. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 25(3), 510–523. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77252700013>
- Vargas Márquez, Fernando. 1997. *compendio de Árboles Históricos y Notables de México*. México, DF: Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP.
- Vetschera, R., y De Almeida, A. (2012). A promethee-based approach to portfolio selection problems. *computers and operations research*, 39(5), 1010–1020. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.06.019>
- Veza, I., Celar, S., y Peronja, I. (2015). Competences-based comparison and ranking of industrial enterprises using PROMETHEE method. *Procedia Engineering*, 100(January), 445–449. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.389>
- Villanueva, J., Cerano, J., Stahle, D. W., Constante, V., Lorenzo, V., Estrada, J., & Benavides, J. (2010). Árboles longevos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(2), 7–29.
- Villota, M. (2016). Los árboles singulares en el paisaje. Propuesta de un modelo para su evaluación: El caso del territorio histórico de Álava. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. Soc. Esp. Cienc. For*, 44(42), 611–618. Retrieved from <http://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernossecf/index>
- Yilmaz, B., & Dağdeviren, M. (2011). A combined approach for equipment selection: F-PROMETHEE method and zero-one goal programming. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 11641–11650. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.03.043>
- Zapponi, L., Mazza, G., Farina, A., Fedrigoli, L., Mazzocchi, F., Roversi, P. F., ... Mason, F. (2017). The role of monumental trees for the preservation of saproxylic biodiversity: re-thinking their management in cultural landscapes. *Nature Conservation*, 243, 231–243. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.19.12464>

5 CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados arrojados indicaron que al considerar los criterios que califican la monumentalidad, los árboles calificados con mayor monumentalidad en comparación con el resto de los árboles fueron El Tule y el De los acuerdos, por cubrir en mayor medida los criterios de tamaño y significado cultural. Además los datos de la presente investigación permitieron aplicar el método de análisis multicriterio: PROMETHEE.