

## Sellamiento del suelo en el Bosque de Chapultepec y propuestas de restauración

### *Soil sealing in Chapultepec Forest and restoration proposals*

Helena Cotler,\* Silke Cram,\*\* Leobardo Mendoza Ruiz\*\*\* y Miguel Ángel Ramírez Beltrán\*\*\*\*

Recibido: 04/05/2021. Aprobado: 28/06/2021. Publicado: 30/07/2021.

**Resumen.** El Bosque de Chapultepec, uno de los parques urbanos más antiguos de América, consta de 770.70 hectáreas y se ubica en el oeste de la Ciudad de México. En él confluyen huellas de la historia de México, desde la época prehispánica. Desde entonces, el Bosque de Chapultepec ha buscado mantener una convivencia entre los espacios culturales y los servicios ecosistémicos, en una megalópolis que se va extendiendo e invadiendo toda zona verde.

Como resultado de distintos planes y programas a lo largo de su historia, el Bosque presenta hoy día un palimpsesto arquitectónico, constituido por calzadas, caminos, glorietas, museos, estacionamientos que han ido sellando el suelo. Este sellamiento reduce drásticamente la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para la población de la Ciudad de México, como la captura de carbono y nitrógeno, la infiltración y purificación del agua, el soporte de la vegetación y el hábitat de edafofauna. Se entiende por área sellada toda infraestructura que impide la interacción del agua, el aire y las raíces con el suelo.

En contraposición a este fenómeno se plantea la destrucción del sellamiento (de-sellamiento) para recuperar las funciones del suelo. Aunque aún es escasa la investigación sobre este tema, la literatura menciona que, una vez removido el sellamiento de los suelos urbanos, estos restauran rápidamente su fertilidad, en términos de densidad aparente, pH, contenido de carbon orgánico e inorgánico y la actividad biológica.

En el contexto de la sostenibilidad de la Ciudad de México nos interesa: i) cartografiar y analizar la intensidad del sellamiento del parque urbano más grande de la Ciudad de México, el Bosque de Chapultepec, y ii) proponer medidas para su restauración, consistentes con el de-sellamiento.

El análisis del área sellada se realizó mediante la sistematización e integración de información de distinta índole: cartográfica, imágenes de satélite y trabajo de campo, integrados y analizados en un sistema de información geográfico.

Durante el trabajo de campo se contabilizó y midió toda la infraestructura, vial y construcciones, abandonada que ya estaba siendo sujeto de colonización de plantas.

Como resultado de la gestión del Bosque a lo largo de su historia, actualmente una tercera parte se encuentra sellada. La importancia de los temas cultural-recreativo que han tenido los planes y programas del Bosque en las últimas décadas explican la dominancia de edificaciones, especialmente museos, caminos y zonas de recreación.

Las áreas con mayor sellamiento, y también con mayor visitas (mayor a 13 millones de personas al año) son la primera y la segunda secciones, que mantienen un 45 y 52% de sellamiento, respectivamente.

La tercera sección se encuentra alejada de los principales medios de comunicación públicos, y presenta 14% de sellamiento. En esta sección también se identificaron 26 kioskos abandonados que cubren un área de 5955 m<sup>2</sup>. En las tres secciones se identificaron 3.82 ha de caminos

\* Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial. Av. Contoy 137, Col. Lomas de Padierna, Tlalpan, Ciudad de México, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7726-1570>. Correo-e: hcotler@centrogeo.edu.mx

\*\* Instituto de Geografía, UNAM. Circuito de la Investigación Universitaria s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, Ciudad de México, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5626-3454>. Email: silkecram@igg.unam.mx

\*\*\* Consultor independiente. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2333-054X>. Email: leomenru@gmail.com

\*\*\*\* Instituto de Geografía, UNAM. Circuito de la Investigación Universitaria s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, Ciudad de México, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1187-3566>

en desuso, abandonados, que están siendo revegetados de manera natural, dando un total de 4.41 hectáreas selladas, que pueden recuperarse mediante la eliminación o bien la ruptura de la capa del concreto o cemento.

Actualmente, en estas áreas ya se observa una regeneración de plantas anuales que crecen entre el asfalto intemperizado, lo cual es indicativo de la resiliencia del suelo y del potencial que tienen estas áreas para incrementar la biodiversidad.

La presencia de esta vegetación es un indicativo de dos aspectos: i) que el de-sellamiento de estas construcciones permitiría incrementar la biodiversidad del Bosque y, con ello, sus servicios ecosistémicos, y ii) que el de-sellamiento no tendría que consistir en extraer todo el asfalto, sino su ruptura, de tal modo que permita la entrada de agua, de semillas y la acumulación de sedimento y materia orgánica producto de la caída de hojarasca.

El nuevo plan maestro del Bosque de Chapultepec, Naturaleza y Cultura (<http://proyectochapultepec.cdmx.gob.mx>) hace mención de la necesidad de proteger tanto

el patrimonio cultural como la biodiversidad, enfatizando que las nuevas construcciones se realizarán en zonas ya impactadas, las cuales se rehabilitarán para su nuevo uso. Esta aseveración deja entrever la relevancia del ecosistema forestal en este nuevo proyecto. Sin embargo, no se proporciona suficiente información sobre el área o la ubicación que cubrirán las nuevas edificaciones. El conocimiento de la densidad construida debería constituir un criterio importante para decidir la ubicación de nuevas infraestructuras que posibiliten que el Bosque de Chapultepec siga otorgando servicios ecosistémicos y culturales, como de provisión, regulación y soporte.

Consideramos que además de proponer nuevas edificaciones, el plan maestro podría incluir entre sus lineamientos la posibilidad de identificar áreas selladas abandonadas susceptibles de recuperarse, lo cual aumentaría el área del Bosque con posibilidad de proveer servicios ecosistémicos.

**Palabras clave:** servicios ecosistémicos, bosques urbanos, suelos, planeación, de-sellamiento.

## INTRODUCCIÓN

Los parques urbanos y espacios verdes tienen una importancia estratégica para la calidad de vida de una sociedad cada vez más urbanizada. Además de proporcionar importantes servicios ambientales, como la purificación del aire y el agua, el amortiguamiento del viento y del ruido o la estabilización del microclima, los parques urbanos brindan servicios sociales y psicológicos, que son de importancia crucial para la habitabilidad de las ciudades modernas y el bienestar de los habitantes urbanos (Chiesura, 2004, Bertram, 2015, WHO, 2016). En estas áreas los suelos cumplen funciones esenciales que permiten la provisión de servicios ecosistémicos como la captura de carbono y nitrógeno (Pouyat *et al.*, 2006), la regulación del clima y la purificación del agua (Bolund y Hunhammar, 1999; Morel *et al.*, 2015).

El análisis del arbolado urbano se ha realizado a distintas escalas, desde la regional, de una ciudad, a través del análisis de imágenes satelitales clasificadas (Yang *et al.*, 2015; Parmehr *et al.*, 2016), aunque la resolución relativamente gruesa de estas imágenes puede ser una limitación. Por otro lado, la fotointerpretación de imágenes de alta resolución para detectar cambios de cobertura tiene la capacidad de superar estas limitaciones, pero carece de la capacidad de desarrollar mapas detallados de cam-

bios de cobertura completos (Nowak y Greenfield, 2020).

El estudio de la vegetación urbana a nivel global (Dobbs *et al.*, 2017) o regional (Fuller y Gaston, 2009; Liu *et al.*, 2019), especificando diversidad de especies (Kendal *et al.*, 2014) o su composición (Yang *et al.*, 2015) ha utilizado métodos de percepción remota, fotografías aéreas y mapas históricos (Nowak y Greenfield, 2020).

Estos métodos y escalas también han sido utilizados para el análisis del sellamiento del suelo, entendido como cualquier separación del suelo de la atmósfera y de la biosfera superficial por capas impermeables (Burghardt *et al.*, 2006). Sin embargo, estos métodos son poco útiles cuando el análisis de sellamiento debe realizarse en un área más pequeña, por ejemplo, al interior de un parque. Para estos casos, existe poca literatura y en ella se precisa la necesidad de contar con herramientas más precisas y con verificación en campo.

Usualmente, en las áreas urbanas, los materiales impermeables, como concreto, metal, vidrio o plástico, sellan el suelo. El sellamiento del suelo es una de las consecuencias más comunes de la urbanización y una de las principales amenazas a los suelos (van der Putten *et al.*, 2018) ya que producen diversos efectos negativos, incluyendo la imposibilidad de la transferencia de energía, el intercambio gaseoso, el movimiento del agua y la presencia de

actividad microbiana (Scalenghe y Marsan, 2009), todas funciones que posibilitan dar soporte a las plantas, permitir la infiltración de agua, capturar carbono y mantener la biodiversidad (Figura 1).

Entre los principales impactos del sellamiento del suelo se incluyen la pérdida de vegetación, la alteración del microclima local debido al incremento de la temperatura atmosférica (Gábor *et al.*, 2009; Scalenghe y Ajmone, 2009), generando el efecto de “isla de calor” (Fokaides *et al.*, 2016); también reduce la infiltración del agua (Bhaduri *et al.*, 2001), disminuye el contenido de carbono y de nutrientes (O’Riordan *et al.*, 2021) e incrementa el escurrimiento superficial (Ungaro *et al.*, 2014). Los suelos sellados también pueden ser contaminados por metales pesados y contaminantes orgánicos (Kayhanian *et al.*, 2007).

En contraposición a este fenómeno se plantea la destrucción del sellamiento (de-sellamiento) para recuperar las funciones del suelo. Este proceso, aún cuenta con escasa investigación (Tobias *et al.*, 2018), pero en los casos estudiados, los resultados muestran que, una vez removido el sellamiento de

los suelos urbanos, estos restauran rápidamente su fertilidad, en términos de densidad aparente, pH, contenido de carbono orgánico e inorgánico y la actividad biológica (O’Riordan *et al.*, 2021).

En la Ciudad de México, el Bosque de Chapultepec, es uno de los parques urbanos más antiguos de América, y también con mayor tradición, donde se han tejido episodios fundamentales de la historia de este país. Como resultado de esta ocupación, cuyas evidencias se remontan a 1250 a.C. (Horz, 2011) el Bosque de Chapultepec presenta construcciones desde la época pre-hispánica. Hoy son visibles obras, inmuebles, calzadas, fuentes y lagos artificiales construidos en la época colonial que se suman a los museos, glorietas, caminos, estacionamientos construidos durante el siglo pasado. Toda esta herencia cultural ha ido paulatinamente desplazando el espacio ocupado por la cobertura vegetal.

En el contexto de la sostenibilidad de la Ciudad de México interesa: i) cartografiar y analizar la intensidad del sellamiento del parque urbano más grande de la Ciudad de México, el Bosque

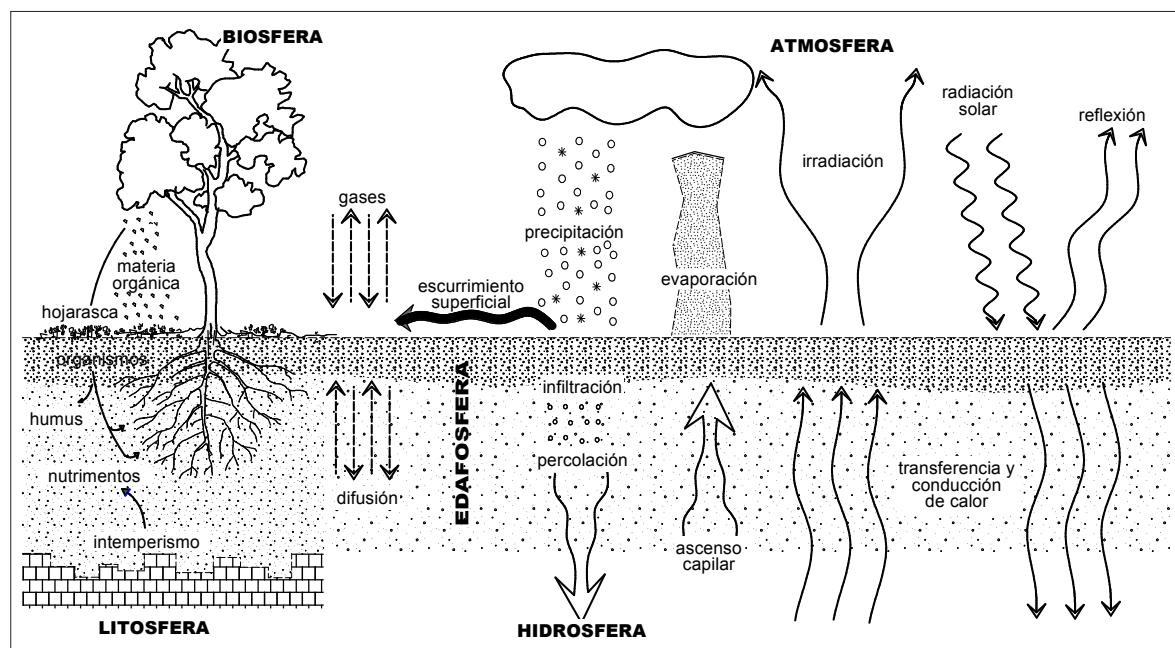


Figura 1. El sellamiento de la superficie (barra gris en el esquema) anula toda interacción con la biosfera (por ejemplo, aporte de hojarasca) y la atmósfera (gases, agua, calor), y con ello las funciones del ecosistema de los suelos, resultando en un efecto adverso significativo sobre los servicios ecosistémicos que aporta (modificado de Craul, 1985).

de Chapultepec, y ii) proponer medidas para su restauración, consistentes con el de-sellamiento.

## ÁREA DE ESTUDIO

El Bosque de Chapultepec se encuentra en la alcaldía Miguel Hidalgo, al poniente de la Ciudad de México (Figura 2), y cuenta con un área de 770.79 hectáreas. Desde 1992 fue declarado área natural protegida bajo la categoría de zona sujeta a conservación ecológica. El bosque se ha dividido en tres secciones, que se han ido incorporando en el transcurso del tiempo. Así, la segunda sección fue inaugurada en 1962, mientras que la tercera sección fue añadida en 1974 (Horz, 2011). En este bosque confluyen e interactúan huellas de la historia de México, y es “hoy quizás la principal morada de la cultura y el arte de nuestro país” (Horz, 2011). Durante todo ese tiempo, y más en nuestros días,

la necesidad de mantener una convivencia entre los espacios culturales y los servicios ecosistémicos constituye un reto permanente en el Bosque de Chapultepec. Este desafío ha sido atendido a través de numerosos proyectos, planes y programas que han ido modificando, aumentando y cambiando las edificaciones e infraestructura, dando lugar a un palimpsesto arquitectónico.

## METODOLOGÍA

El método para el análisis del sellamiento consistió en la sistematización e integración de información de distinta índole: cartográfica, imágenes satélites y trabajo de campo integrados y analizados en un sistema de información geográfico. Se siguieron siete etapas consecutivas: 1) análisis de información cartográfica base; 2) integración de la información en una geodatabase de Arcgis; 3) edición de polígo-

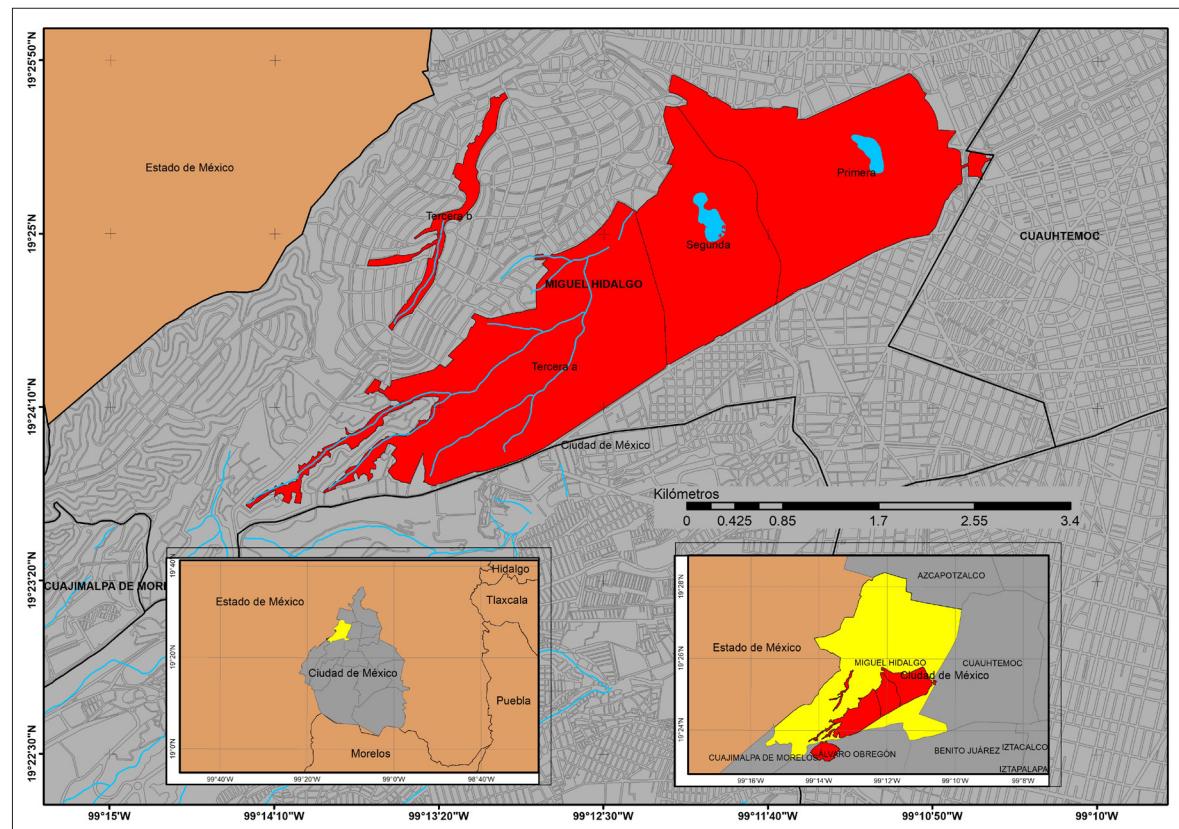


Figura 2. Ubicación del Bosque de Chapultepec en la Ciudad de México.

nos, imágenes y modelos de apoyo; 4) verificación en campo; 5) validación topológica; 6) y 7) obtención de resultados estadísticos y cartográficos. El detalle de cada etapa está explicado en el Cuadro 1 y su flujo metodológico es mostrado en la Figura 3.

El método utilizado para la identificación de infraestructura abandonada, susceptible a un desellamiento, se basó en: i) el análisis realizado para el estudio del sellamiento, antes explicado, donde el trabajo de campo permitió identificar las estructuras y los caminos abandonados, y ii) el conteo y la medición en campo de los kioscos construidos y ya abandonados de la tercera sección (Figura 4).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de sellamiento del suelo en el Bosque de Chapultepec se presentan de manera general, por sección y por distintas categorías de uso (Cuadro 2 y Figura 5).

Como resultado de la gestión del Bosque a lo largo de su historia, actualmente una tercera parte se encuentra sellado. Las categorías dominantes son los caminos, construidos para incrementar la conectividad entre las edificaciones, las construcciones, especialmente los museos, que se han realizado a lo largo del tiempo, dando lugar a una de las áreas

culturales más importantes de la ciudad, y las zonas de recreación. Esta infraestructura expresa el énfasis cultural-recreativo que han tenido los planes y programas en las últimas décadas.

Del análisis se desprende también que la primera y la segunda sección del Bosque concentran la mayor cantidad de construcciones, como museos, zoológico, glorietas, edificaciones y calzadas. En estas secciones también resalta la gran extensión ocupada por caminos de diferente amplitud (peatonal y para coches). Además, en estas secciones se encuentran los cuerpos de agua artificiales más grandes.

En la primera sección, las construcciones como museos, zonas comerciales informales y la zona construida del zoológico ocupan una superficie importante, que junto con las zonas de recreación y los caminos, sellan el suelo en 45% del área. Esta sección es la más visitada, recibiendo más de 9 millones de personas al año (PUEC, 2002).

Aunque existen menos museos y zonas de recreación, la segunda sección constituye el área que presenta la mayor superficie sellada (52.5% de su área) debido a las extensiones que ocupan las distintas edificaciones (la Feria, el Cárcamo de Dolores, el Museo Teconológico de la CFE y los museos de Historial Natural y el Papalote), los estacionamientos y los caminos. Esta sección recibe

Cuadro 1. Explicación de las etapas metodológicas utilizadas para la elaboración del mapa de sellamiento.

Etapa	Proceso
Análisis de información cartográfica base	La información base se incorporó en un sistema de información geográfica, tomando como referencia una imagen orto-corregida.
Integración de la información en una geodatabase de Arcgis	La colección de datasets geográficos fue digitalizada, corregida y etiquetada como área sellada. Se definió una proyección cartográfica local.
Edición de polígonos, imágenes y modelos de apoyo	Se complementó la información con imágenes de google maps y open street map. Con imágenes LIDAR se generaron un Modelo Digital de Terreno (MDT) y un Modelo Digital de Elevación (MDE) utilizado para verificar la geometría de la información base.
Verificación en campo	Se registraron puntos de referencia y se tomaron fotos geo-referenciadas para complementar el trabajo de edición final
Validación topológica	Verificación de la geometrías de los polígonos, evitando duplicidades, sobre posición de un mismo polígono y huecos
Obtención de resultados estadísticos y cartográficos	Cálculo de la superficie ocupada por cada clase. Elaboración de mapa de sellamiento.

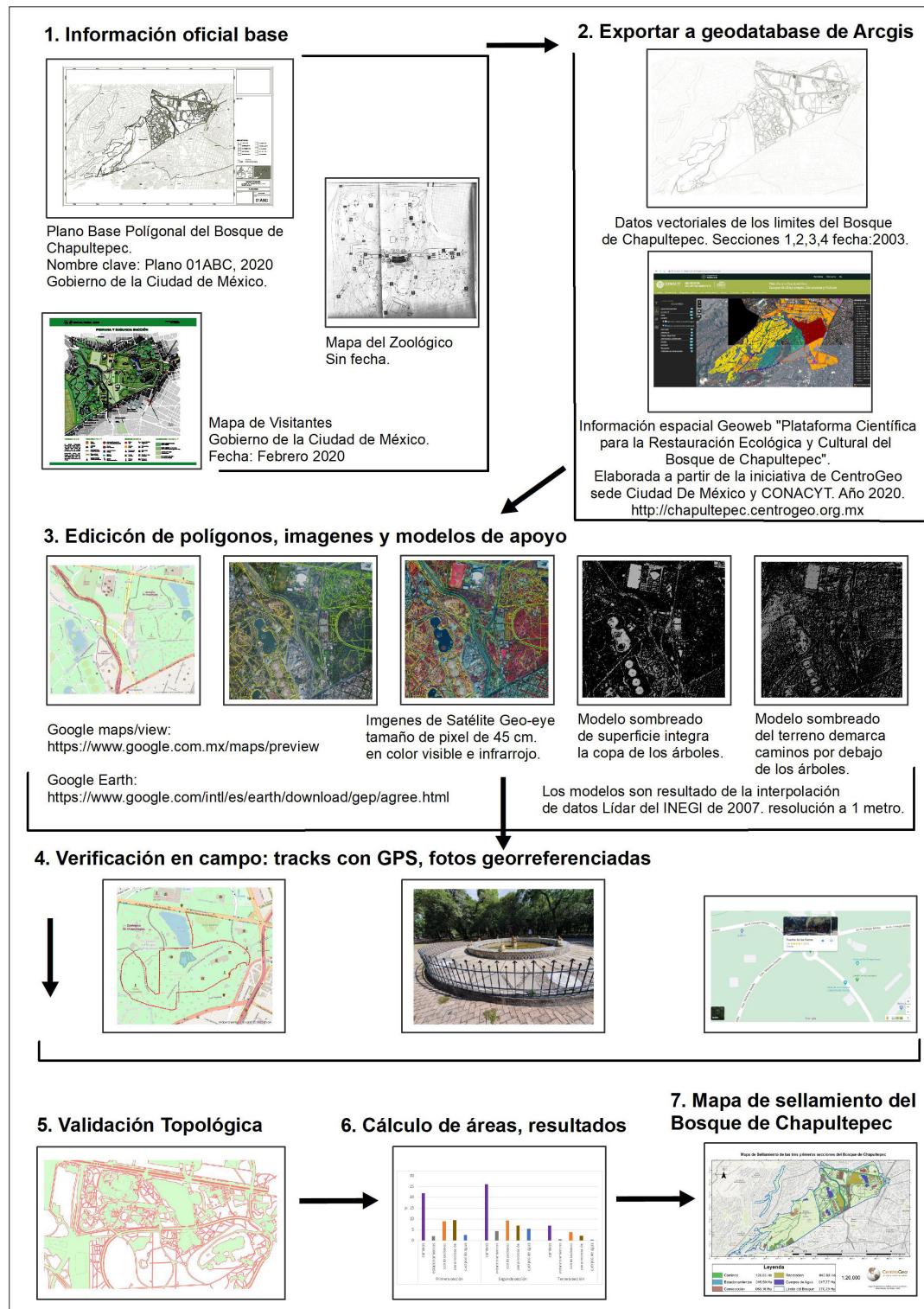


Figura 3. Flujo metodológico para la elaboración del mapa de sellamiento del Bosque de Chapultepec.



Figura 4. Ejemplos de kioscos abandonados sin techo y con techo de la tercera sección del Bosque de Chapultepec.

Cuadro 2. Áreas selladas en las tres secciones del Bosque de Chapultepec por categorías.

Sellamiento	Área			Total (ha)	Total (%)
	Primera sección (ha, %)	Segunda sección (ha, %)	Tercera sección (ha, %)		
Caminos	60.17 (21.95)	43.66 (25.98)	23.03 (7)	126.86	49.09
Estacionamientos	5.71 (2.08)	7.62 (4.53)	2.17 (0.66)	15.50	6.00
Construcciones	24.53 (8.94)	15.89 (9.45)	12.74 (3.87)	53.16	20.57
Recreación	26.02 (9.49)	11.81 (7.02)	7.20 (2.19)	45.03	17.42
Cuerpos de Agua	7.05 (2.57)	9.25 (5.50)	1.47 (0.44)	17.77	6.87
Área de cada sección (ha)	274.09	168.03	328.67	770.79	100
Área Total Sellada del Bosque (ha)	123.50 (45.05%)	88.24 (52.51%)	46.64 (14.19%)	258.38	33.52

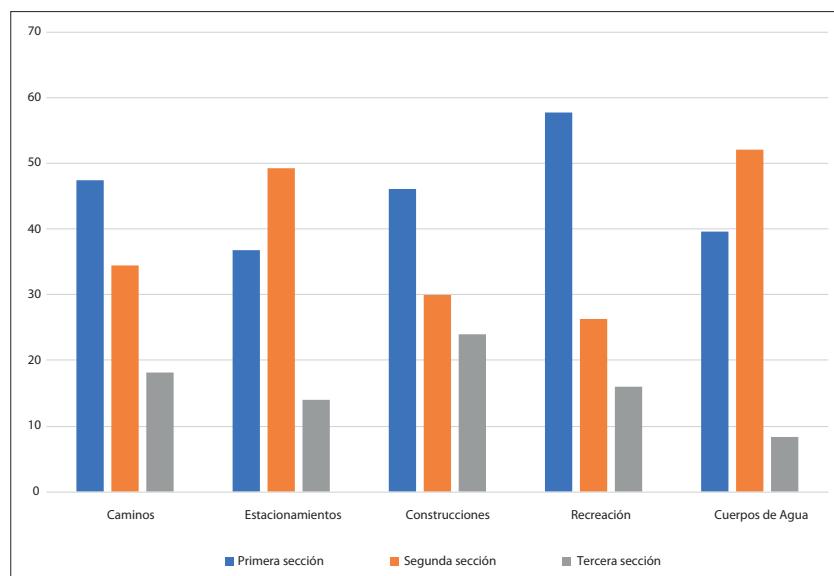


Figura 5. Porcentaje de área cubierta por las distintas categorías de sellamiento en las tres secciones del Bosque de Chapultepec.

alrededor de 4 millones y medio de personas al año (PUEC, 2002).

De manera visual, en el mapa puede observarse la sobresaturación de construcciones en las primeras dos secciones del Bosque. Mientras que la tercera sección, quizás debido a su poca conectividad urbana y difícil acceso peatonal, es la que se encuentra con menor sellamiento (14.19%). Cabe notar que gran parte de las construcciones se encuentran en desuso, siendo poco a poco invadidas por diversas especies vegetales (Figura 6).

En las tres secciones se ubicaron caminos en desuso, abandonados, que están siendo revegetados de manera natural (Cuadro 3).

Actualmente muchos de estos caminos ya han sido colonizados por la vegetación (Figura 7).

En la tercera sección se contabilizaron 26 kioscos, actualmente abandonados. Estas estructuras de distintos tamaños se encuentran deterioradas, vandalizadas y con basura. Entre los kioscos hay 10 con techo y 16 sin techo, lo que da un total de 5955 m<sup>2</sup> de superficie construida. Es decir, que entre caminos en desuso y kioscos abandonados se contabilizan 4.41 hectáreas selladas que pueden recuperarse mediante la eliminación o bien la ruptura de la capa del concreto o cemento.

El nuevo plan maestro del Bosque de Chapultepec, Naturaleza y Cultura (<http://proyectochapul>

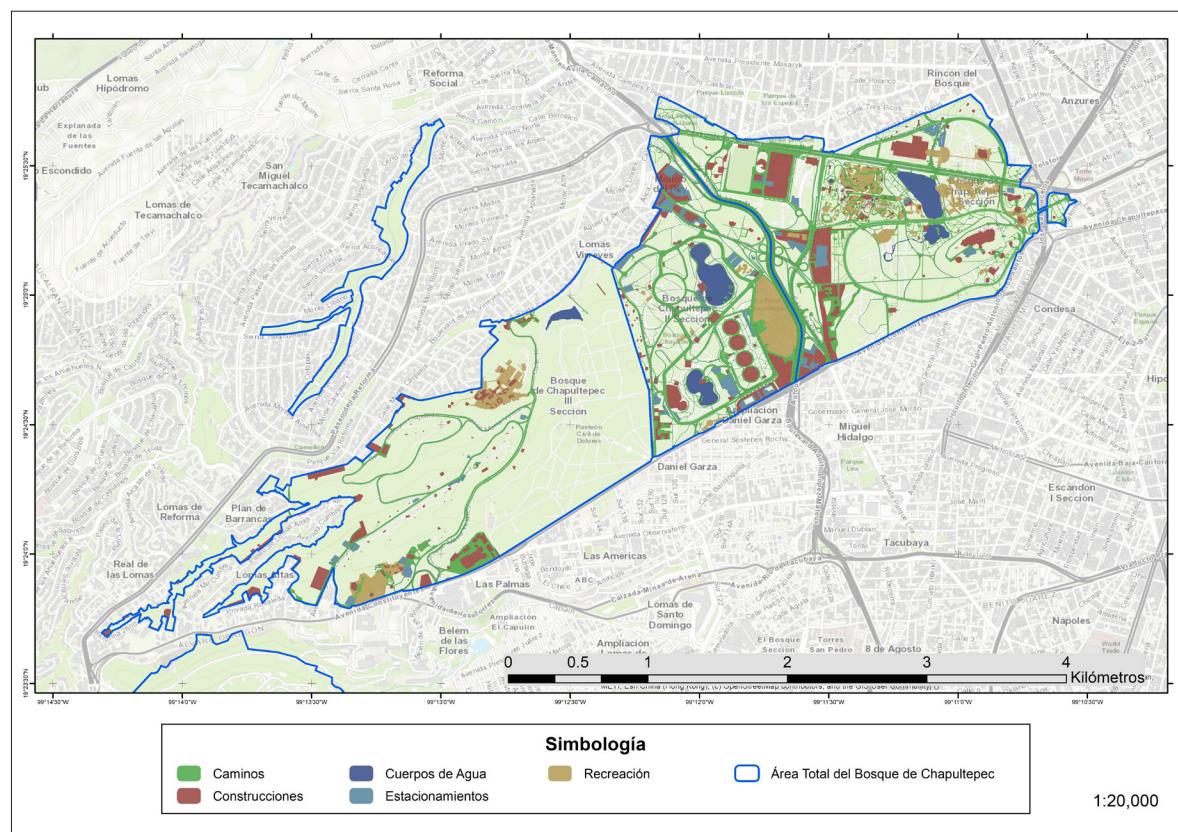


Figura 6. Mapa de sellamiento del Bosque de Chapultepec (elaboración propia).

Cuadro 3. Caminos en desuso en las tres secciones del Bosque de Chapultepec.

Caminos abandonados	Sellamiento			Total (ha)	Total (%)
	Primera sección (ha, %)	Segunda sección (ha, %)	Tercera sección (ha, %)		
	2.22 (1.80)	0.37 (0.3)	01.23 (1.0)		
				3.82	3.1



Figura 7. Revegetación sobre caminos abandonados.

tepec.cdmx.gob.mx) hace mención de la necesidad de proteger tanto el patrimonio cultural como la biodiversidad, enfatizando que las nuevas construcciones se realizarán en zonas ya impactadas, las cuales se rehabilitarán para su nuevo uso. Esta aseveración deja entrever la relevancia del ecosistema forestal en este nuevo proyecto. Sin embargo, no se proporciona suficiente información sobre el área o la ubicación que cubrirán las nuevas edificaciones. El conocimiento de la densidad construida debería constituir un criterio importante para decidir la ubicación de nuevas infraestructuras que posibiliten que el Bosque de Chapultepec siga otorgando tanto servicios ecosistémicos tanto culturales como de provisión, regulación y soporte.

Consideramos que, además de proponer nuevas edificaciones, el plan maestro podría incluir entre sus lineamientos la posibilidad de identificar áreas selladas abandonadas susceptibles de recuperarse, lo cual aumentaría el área del Bosque con posibilidad de proveer servicios ecosistémicos.

La necesidad de recuperar espacios que provean servicios ecosistémicos para la población urbana ha incentivado proyectos en ciudades de diversos países (Chicago, Texas, Londres, Holanda, Bélgica, Dinamarca, Alemania), donde infraestructura vial e industrias abandonadas se han de-sellado para biodiversificar, resilvestrar y recuperar áreas

naturales de la naturaleza y recreación. Algunos monitoreos a largo plazo en estos sitios muestran que, en áreas abandonadas, donde el sellamiento se ha removido, el porcentaje de arbustos y árboles se ha duplicado en el lapso de diez años (Kowarik y Langer, 2005), así como la aparición de especies nativas (Tobias *et al.*, 2018).

En la tercera sección, el trabajo de campo permitió identificar diversas especies que se habían establecido entre el asfalto derruido, por el intemperismo natural. Algunas de ellas se muestran en la Figura 8.

La presencia de esta vegetación es un indicativo de dos aspectos: i) que el de-sellamiento de estas construcciones permitiría incrementar la biodiversidad del Bosque, y con ello, sus servicios ecosistémicos, y ii) que el de-sellamiento no tendría que consistir en extraer todo el asfalto, sino su ruptura, de tal modo que permita la entrada de agua, de semillas y la acumulación de sedimento y materia orgánica producto de la caída de hojarasca.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A lo largo del tiempo, en el Bosque de Chapultepec se han ido reuniendo elementos y construcciones reflejo de distintos períodos históricos. Hoy este

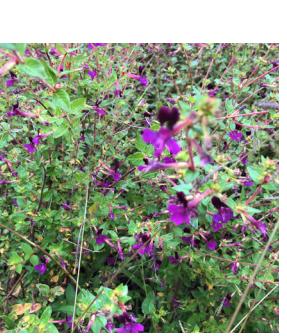
 <p>8a <i>Erigeron karvinskianus</i> D. C.</p>	 <p>8b <i>Dichromanthus cinnabarinus</i> (Lex.) Garay</p>	 <p>8c <i>Dichromanthus aurantiacus</i> (Lex.) Salazar y Soto Arenas</p>
 <p>8d <i>Bouvardia ternifolia</i> (Cav.) Schlecht <i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth <i>Tinantia erecta</i> (Jacq.) Schltl</p>	 <p>8e <i>Calochortus barbatus</i> (Kunth.) J. H. Painter</p>	 <p>8f <i>Desmodium grahamii</i> A. Gray</p>

Figura 8. Especies de plantas anuales establecidas sobre asfalto derruido en la tercera sección del Bosque de Chapultepec.

Bosque es “depositario de un incalculable patrimonio de la Ciudad de México” (Hotz, 2011). Pero de este bosque también se esperan servicios ecosistémicos indispensables ante la vertiginosa urbanización y el deterioro ambiental de la Ciudad de México. Los más de 14 millones de visitantes al año (PUEC, 2002) reflejan la gran demanda de servicios culturales y ambientales, no solo de visitantes de la ciudad, sino también de la zona metropolitana del valle de México.

Las construcciones realizadas en este Bosque a lo largo de siete siglos han sellado e impermeabilizado una tercera parte de sus suelos. Este valor varía en

cada sección, siendo más alta en las secciones más cercanas a los medios de comunicación vial, como la primera y segunda secciones, donde el sellamiento alcanza 45 y 52%, respectivamente. Estos valores significan que, en las dos primeras secciones la posibilidad de contar con servicios ecosistémicos como infiltración y purificación de agua, captura de carbono y conservación de biodiversidad está fuertemente limitada. Para estas secciones la información generada es relevante para: i) reconsiderar la necesidad de hacer nuevas construcciones y dado el caso planear su distribución para reducir en la medida de lo posible la superficie sellada, y

ii) promover la reutilización de construcciones ya establecidas y que se encuentran en buen estado, lo que permitiría evitar un nuevo sellamiento de áreas.

La tercera sección, con 14% de sellamiento es aquella donde los suelos proporcionan más servicios ecosistémicos.

La información sobre las áreas que potencialmente pueden de-sellararse podría constituirse en una línea de trabajo en el Plan Maestro de Bosque Chapultepec, ya que el desellamiento de las 4.41 hectáreas, entre kioskos y caminos abandonados, permitiría la recuperación de servicios ecosistémicos, indispensables para la calidad de vida en la Ciudad de México. Finalmente, la práctica del de-sellamiento también debe considerarse como una línea de investigación que es necesario abordar para mejorar la calidad de vida en zonas urbanas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos el apoyo económico de CONACyT, a través del proyecto 302917, “Propuestas de manejo para conservar servicios ecosistémicos de los suelos del bosque de Chapultepec” así como al Dr. Victor Peña, quien realizó la determinación taxonómica de las especies vegetales.

## REFERENCIAS

- Bertram, K. R. (2015). The role of urban green space for human well-being. *Ecological Economics*, 120, 139-152. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.10.013>
- Bhaduri, B., Minner, M., Tatalovich, S., Harbor, J. (2001). Long-term hydrologic impact of urbanization: A tale of two models. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127, 13–19. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2001\)127:1\(13\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2001)127:1(13))
- Bolund, P., Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29, 293-301. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0)
- Burghardt, I., Hynes, J. T. (2006). Excited-State Charge Transfer at a Conical Intersection: Effects of an Environment. *Journal of Physical Chemistry, A* 110, 11411-11423. <https://doi.org/10.1021/jp057569c>
- Chiesura, A. (2004). The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and Urban Planning*, 68, 129-138. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.08.003>
- Craul, P. J. (1985). A description of urban soils and their characteristics. *Journal of Arboriculture*, 11, 330-339.
- Dobbs, C., Nitschke, C., Kendal, D. (2017). Assessing the drivers shaping global patterns of urban vegetation landscape structure. *Science of Total Environment*, 592, 171-177. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.058>
- Gábor, P., Jombach, S.; Ongjerth, R. T. (2009). The relation between the biological activity and the land surface temperature in Budapest. *Applied Ecology and Environmental Research*, 7, 241-251. [https://doi.org/10.15666/aeer/0703\\_241251](https://doi.org/10.15666/aeer/0703_241251)
- Kayhanian, M., Suverkropp, C., Ruby, A., Tsay, K. (2007). Characterization and prediction of highway runoff constituent event mean concentration. *Journal of Environmental Management*, 85, 279-295. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.09.024>
- Kendal, D., Dobbs, C., Lohr, V. I. (2014). Global patterns of diversity in the urban forest: is there evidence to support the 10/20/30 rule? *Urban Forestry and Urban Greening*, 13, 411-417. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.04.004>
- Fokaides, P.A., Kyllili, A., Nicolaou, L., Ioannou, B. (2016). The effect of soil sealing on the urban heat island phenomenon. *Indoor Built Environment*, 25, 1136-1147. <https://doi.org/10.1177/1420326X16644495>
- Fuller, R. A., Gaston, K. J. (2009). The scaling of green space coverage in European cities. *Biology Letters*, 5, 352-355. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2009.0010>
- Horz, E. (Ed.). (2011). *Bosque de Chapultepec*. Fundación Kaluz, Grupo Financiero Ve por Más, México.
- Kowarik, I., Langer, A. (2005). Natur-Park Sudgelände: Linking conservation and recreation in an abandoned railyard in Berlin, pp. 287–299. En I. Kowarik y S. Körner (Eds.), *Wild urban woodlands*. Berlín–Heidelberg: Springer. [https://doi.org/10.1007/3-540-26859-6\\_18](https://doi.org/10.1007/3-540-26859-6_18)
- Liu, C. T., Zhang, Q., Luo, H., Qi, S., Tao, S., Xu, H., Yao, Y. (2019). An efficient approach to capture continuous impervious surface dynamics using spatial-temporal rules and dense Landsat time series stacks. *Remote Sensing of Environment*, 229, 114-132. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.025>
- Morel, J. L., Chenu, C., Lorenz, K. (2015). Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs). *Journal of Soils and Sediments*, 15, 1659-1666. <https://doi.org/10.1007/s11368-014-0926-0>
- Nowak, J. D., Greenfield, J. E. (2020). The increase of impervious cover and decrease of tree cover within urban areas globally (2012–2017). *Urban Forestry &*

- Urban Greening*, 49, 1618. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126638>
- O'Riordan, R., Davies, J., Stevens, C., Quinton, J. (2021). The effects of sealing on urban soil carbon and nutrients. *Soil Discussion*. Disponible en <https://doi.org/10.5194/soil-2021-18>
- Parmehr, E. G., Amati, M., Taylor, E. J., Livesley, S. J. (2016). Estimation of urban tree canopy cover using random point sampling and remote sensing methods. *Urban Forestry and Urban Greening*, 20, 160-171. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.08.011>
- PUEC (Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad) (2002). Proyecto Ejecutivo para la implementación del manejo integral y desarrollo autosostenible del bosque de Chapultepec. Ciudad de México: Secretaría del Medio Ambiente.
- Pouyat, R. V., Yesilonis, I. D., Nowak, D. J. (2006). Carbon storage by urban soils in the United States. *Journal of Environmental Quality*, 35, 1566-1575. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0215>
- Scalenghe, R., Marsan F.A. (2009). The anthropogenic sealing of soils in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, 90, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.011>
- Tobias, S., Conen, F., Alewell, C. (2018). Soil sealing and unsealing state of art and examples. *Land Degradation and Development*, 29(6), 2015-2024. <https://doi.org/10.1002/ldr.2919>
- Ungaro, F., Calzolari, C., Pistocchi, A., Malucelli, F. (2014). Modelling the impact of increasing soil sealing on runoff coefficients at regional scale: A hydropedological approach. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 62, 33-42. <https://doi.org/10.2478/johh-2014-0005>
- van der Putten, W., Poesen, J., Lisá, L., Winding, A., Moora, M., Lemanceau, P. et al., (2018). Opportunities for soil sustainability in Europe. Alemania: European Academies. Science Advisory Council. EASAC Policy Reports.
- WHO (World Health Organization). (2016). Urban green spaces and health. A review of evidence. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- Yang, J., La Sorte, F. A., Pysek, P., Yan, P., Nowak, D., McBride, J. (2015). The compositional similarity of urban forests among the world's cities is scale dependent. *Global Ecology & Biogeography*, 24(12), 1413-1423 doi: <https://doi.org/10.1111/geb.12376>.