



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Los servicios ecosistémicos de los suelos urbanos: Revisión  
sistemática**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERA AMBIENTAL**

**AUTORA:**

Reyes Figueroa, Evelyn Yadira (ORCID: 0000-0002-9181-0070)

**ASESOR:**

Mgr. Honores Balcazar, Cesar Francisco (ORCID: 0000-0003-3202-1327)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2022

### **Dedicatoria**

Escribir aquí la dedicatoria de la tesina. Comúnmente se dedica la investigación a familiares o a personas que nos han estimulado a hacerla. La última línea de la dedicatoria debe estar en el borde inferior de la página.

### **Agradecimiento**

Colocar aquí el agradecimiento. Comúnmente se agradece a las personas que nos han apoyado en el desarrollo de la investigación. El apoyo podría haberse dado de diversas maneras: apoyo financiero, asesoría temática, asesoría metodológica, asesoría en estadística, corrección de estilo, etc. La última línea de los agradecimientos debe estar en el borde inferior de la página.

## Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de Contenidos	iv
Índice de Tablas	v
Índice de Figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	12
3.1. Tipo y diseño de investigación	12
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística	14
3.3. Escenario de estudio	15
3.4. Participantes	16
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	17
3.6. Procedimientos	18
3.7. Rigor científico	18
3.8. Método de análisis de información	19
3.9. Aspectos éticos	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1. Análisis de los SE de suelo urbano	22
4.2. Revisión resumida de los SE de suelos urbanos	30
4.3. Direcciones para la futura investigación de SE de suelos urbanos	42
V. CONCLUSIONES	47
VI. RECOMENDACIONES	48
REFERENCIAS	

## Índice de tablas

Tabla Nº 1.	Matriz de categorización apriorística	14
Tabla Nº 2.	La lista de procesos de soporte del suelo y servicios ecosistémicos dada en Dominati et al. (2010) utilizado en este manuscrito	20

## Índice de figuras

Figura N° 1.	1a. Número de artículos publicados entre 1997 y 2019 utilizando la cadena de búsqueda de suelos urbanos y servicios ecosistémicos; 1b. número de artículos publicados por región global; 1c. número de artículos publicados con alcances a diferente escala	15
Figura N° 2.	Número de artículos que miden los procesos de apoyo y los ES. Los artículos incluidos son aquellos que cuantificaron los ES (número = 125). Las columnas amarilla, azul y verde representan procesos de apoyo, aprovisionamiento y regulación de ES, respectivamente	23
Figura N° 3.	Profundidad máxima (cm) a la que los artículos estudiaron del suelo urbano	27
Figura N° 4.	Análisis de coocurrencia de términos clave dentro del suelo urbano literatura de servicios ecosistémico	28

## Resumen

Los suelos urbanos se están volviendo más importantes en la prestación de una amplia gama de servicios ecosistémicos (SE), incluido el almacenamiento de carbono y la regulación del clima, la provisión de biomasa para la regulación del flujo de alimentos y agua y los beneficios recreativos. Se presenta una revisión sistemática de los SE que se han estudiado y examinamos las tendencias en la investigación utilizando un análisis de coocurrencia de términos clave. Luego se proporciona una revisión resumida del conocimiento actual sobre SE y se identifican las lagunas en el conocimiento. La revisión destaca que este es un campo de investigación joven, pero en crecimiento, con un marcado aumento en las publicaciones desde 2014. Se descubrió que los procesos de apoyo y los servicios de regulación fueron los más estudiados, con un 88 % y un 71 % de los artículos relacionados con aspectos cuantitativos. estudios que abordan estos, respectivamente. Los SE culturales, de aprovisionamiento y relacionados con el agua fueron relativamente poco estudiados, lo que sugiere brechas clave para futuras investigaciones. Sin embargo, esto puede atribuirse a una desconexión entre las comunidades académicas más que a la falta de conocimiento. Menos del 20 % de los estudios cuantitativos abordaron más de dos SE simultáneamente, lo que nos lleva a sugerir que la multifuncionalidad del suelo urbano es un área clave para futuras investigaciones y destaca la necesidad de integrar la comprensión de los SE del suelo urbano en todas las disciplinas y profesiones. Además de esta sugerencia general, se proponen seis brechas y oportunidades de investigación: mayor investigación sobre el suministro de biomasa para alimentos, SE relacionados con el agua y SE culturales; mayor representación geográfica; una mayor interconexión entre las comunidades de investigadores y profesionales; y un enfoque en los futuros impulsores del cambio del suelo en entornos urbanos.

**Palabras clave:** Multifuncionalidad, Servicios de ecosistema, Servicios ecosistémicos del suelo, Suelos urbanos, Urbanismo

## Abstract

Urban soils are becoming more important in providing a wide range of ecosystem services (ES), including carbon storage and climate regulation, biomass provision for food and water flow regulation, and recreational benefits. . We present a systematic review of SEs that have been studied and examine trends in the research using key term co-occurrence analysis. A summary review of current knowledge about SE is then provided and gaps in knowledge are identified. The review highlights that this is a young but growing field of research, with a marked increase in publications since 2014. Supporting processes and regulatory services were found to be the most studied, at 88% and 71 % of articles related to quantitative aspects. studies addressing these, respectively. Cultural, provisioning, and water-related ES were relatively understudied, suggesting key gaps for future research. However, this can be attributed to a disconnect between the academic communities rather than a lack of knowledge. Less than 20% of the quantitative studies addressed more than two ES simultaneously, which leads us to suggest that urban land multifunctionality is a key area for future research and highlights the need to integrate the understanding of urban land ES across all disciplines and professions. In addition to this general suggestion, six research gaps and opportunities are proposed: further research on biomass supply for food, water-related ES and cultural ES; greater geographic representation; greater interconnection between the research and professional communities; and a focus on future drivers of land change in urban settings.

**Keywords:** Multifunctionality, Ecosystem services, Soil ecosystem services, Urban soils, Urbanism



## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, más de la mitad de la población mundial vive en zonas urbanas, definidas como zonas con una población de más de 10.000 habitantes, y se espera que esta cifra alcance casi el 70% para 2050 (United Nations 2019). A medida que las poblaciones urbanas crecen, la capacidad del entorno urbano para proporcionar espacios habitables y mantener ecosistemas sostenibles se vuelve cada vez más importante.

Esto, además de los riesgos para la salud humana que plantean el cambio climático y la contaminación del aire, significa que es cada vez más crucial que consideremos qué tan bien los entornos urbanos pueden mantener los servicios ecosistémicos (SE), es decir, los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas (Millennium Ecosystem Assessment 2005), que actualmente brindan (O'Donnell y Thorne 2020).

Los suelos juegan un papel fundamental en la provisión de numerosos SE vitales, y la importancia del suelo en la provisión de SE en áreas urbanas es cada vez más reconocido dentro de la comunidad científica del suelo (Ziter y Turner 2018). En esa revisión, consideramos el impacto de los suelos urbanos en todos los suelos de las áreas urbanas. Los suelos urbanos se incluyen en los suelos urbanos, industriales, de tránsito, mineros y militares y se definen como cambios importantes en los suelos debido a las actividades humanas con cambios dramáticos en la composición y la función, aunque los suelos altamente modificados y pseudo-los suelos naturales pueden integrarse en las zonas urbanas (Morel, Chenu y Lorenz 2015).

En esta revisión, hemos limitado el cultivo de áreas urbanas para centrarse en el sureste en áreas donde vive la mayoría de la población. En las áreas urbanas, el suelo urbano sustenta muchos SE que son importantes para el bienestar humano y la resiliencia urbana (McPhearson et al. 2015). A nivel local, estos servicios incluyen la mitigación de inundaciones, la

amortiguación del efecto isla de calor urbano, la captura de la contaminación del aire, el apoyo físico para la infraestructura, el cultivo de alimentos urbanos y el acceso a espacios verdes para la salud mental y física; mientras que, a escala local y global, contribuyen al ciclo de nutrientes y al almacenamiento de carbono (C).

Los suelos urbanos pueden proporcionar muchos de los mismos SE que los suelos no urbanos. En la actualidad, sin embargo, existe un conocimiento relativamente limitado sobre su cuantificación en comparación con los SE de suelos (Page-dumroese 2020). Gran parte del trabajo desde el desarrollo de *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* y *The Common International Classification of Ecosystem Services* se ha centrado en los bienes y servicios de los ecosistemas que son directamente beneficiosos para los humanos, permitiendo la valoración económica y contabilización de los SE.

Si bien esta valoración hace que el concepto sea útil para los encargados de formular políticas y tomar decisiones, sigue existiendo la necesidad de comprender más específicamente cómo el suelo urbano sustenta los SE. Como tal, es necesario centrarse y distinguir entre los procesos de apoyo que impulsan el funcionamiento del suelo y los SE del suelo que son directamente beneficiosos para los humanos (Baveye, Baveye y Gowdy 2016).

El estudio de los SE del suelo urbano está ganando impulso lentamente, a menudo con un enfoque teórico sobre los posibles SE que se pueden proporcionar, o mediante la mejora de los métodos de cuantificación e integración en la planificación (Anne et al. 2018). Sin embargo, sigue existiendo una brecha en la recopilación de lo que se sabe actualmente dentro de la comunidad de investigación sobre la provisión de SE en suelos urbanos.

Es necesario comprender mejor qué son los suelos urbanos; - La medida en que se están examinando las EPE individuales; - Cómo cambiarán estos

factores los futuros impulsores del cambio, como el cambio climático; cómo gestionaremos los suelos urbanos ahora y en el futuro para proporcionar ES. La revisión aborda estas necesidades reuniendo la literatura sobre suelos urbanos seguros, entendiendo lo que sabemos, analizando las tendencias de la investigación e identificando las brechas de conocimiento.

En primer lugar, presentamos un análisis bibliométrico de la literatura de SE de suelos urbanos, analizando qué SE han estudiado más, dónde y a qué profundidad del suelo; y explorar la estructura de la comunidad de investigación utilizando un análisis de coocurrencia de términos clave. A continuación, se pasa revista a los conocimientos adquiridos por los suelos urbanos sobre los PG individuales y se analizan las áreas en las que se han examinado su contenido y sus lagunas de conocimiento. Por último, asesoramiento sobre futuras direcciones de investigación para ayudar a entender la SE de las tierras urbanas y optimizar su entrega.

Sobre la base de realidad problemática presentada se planteó el problema general y los problemas específicos de la investigación. El problema general de la investigación fue ¿Cómo se han desarrollado los conceptos asociados a los servicios ecosistémicos de los suelos urbanos? Los problemas específicos de la investigación fueron los siguientes:

- **PE1:** ¿Cuáles son los servicios ecosistémicos ligados al suelo urbano?
- **PE2:** ¿Cómo se pueden acopiar los conceptos respecto a los servicios ecosistémicos de suelos urbanos?
- **PE3:** ¿Cuáles son las direcciones para la futura investigación de servicios ecosistémicos de suelos urbanos?

El objetivo general fue Revisar los servicios ecosistémicos ligados a los suelos urbanos. Los objetivos específicos fueron los siguientes:

- **OE1:** Identificar los servicios ecosistémicos ligados al suelo urbano.
- **OE2:** Consolidar los conceptos respecto a los servicios ecosistémicos de suelos urbanos.
- **OE3:** Analizar direcciones para la futura investigación de servicios ecosistémicos de suelos urbanos.

## II. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presentan los antecedentes más relevantes en respuesta a revisar la literatura sobre los servicios ecosistémicos ligados a los suelos urbanos; y cómo esto podría vincularse a trazar direcciones para la futura investigación de servicios ecosistémicos de suelos urbanos.

Canedoli et al. (2020) se centraron en una de las áreas urbanas más grandes de Italia (Milán), evaluar las reservas de SOCA en el suelo superior y comparar diferentes tipos de uso del suelo urbano (parques/ parques) y setos (bosques/ prados). También compararon el número de EACs urbanos con otros usos naturales y seminaturales de la tierra en la zona. Típicamente encontramos alta variabilidad en suelos urbanos. El SOC promedio de los parques urbanos fue mayor ( $7,9 \pm 2,4 \text{ kg m}^{-2}$ ) que el de los no parques urbanos ( $5,3 \pm 2,5 \text{ kg m}^{-2}$ ); mientras que el stock de SOC no difirió significativamente para los tipos de cobertura de suelo urbano. Los parques urbanos tenían valores de existencias de SOC comparables con los bosques, pastizales y pastizales de la misma región y más altos que los de las tierras de cultivo. Al mismo tiempo, los parques urbanos que no son parques tenían los valores de existencias de SOC más bajos que se encuentran en la región. Los resultados destacaron la contribución significativa de las existencias de SOC urbano a las estimaciones del presupuesto de carbono y las diferencias basadas en los tipos de uso del suelo urbano.

Míguez et al. (2020) estudiaron el potencial del material bioestabilizado (BSM) obtenido de desechos sólidos municipales mezclados, tanto para *Brassica napus* (colza) como para mejorar la salud/funcionamiento del suelo baldío periurbano como un primer paso hacia la ecologización urbana. Tres meses antes de la siembra se modificaron los suelos con 0, 50 y 100 t FW BSM ha<sup>-1</sup>. Se recopilieron datos sobre la fisiología y el crecimiento de *B. napus* en los estadios fenológicos BBCH-16-17 (57 días) y BBCH-89 (260 días). La actividad, la biomasa y la diversidad funcional de las comunidades

microbianas del suelo se midieron de forma concomitante. En general, los resultados mostraron que los suelos modificados con BSM se volvieron más productivos y funcionales que los suelos no modificados. A nivel de planta, el área foliar de las plantas de *B. napus* se incrementó significativamente en la etapa BBCH-16-17, lo que luego, en la etapa BBCH-89, se tradujo en un mayor rendimiento. A nivel del suelo, principalmente las actividades microbianas relacionadas con la renovación de C y N aumentaron después de la modificación de BSM.

O'Donnell y Thorne (2020) reevaluaron cualitativamente impulsores, utilizando evidencia empírica y avances en la ciencia, la tecnología y la práctica del riesgo de inundaciones obtenidos desde 2008. De los conductores originales, cinco fueron aumentados, tres fueron debilitados y 14 permanecieron dentro de las incertidumbres de 2008. Las precipitaciones debidas al cambio climático son un importante factor de riesgo para futuras inundaciones urbanas. El deterioro de los activos urbanos internos conduce a un consiguiente aumento del riesgo de inundaciones y es un importante motor del tráfico. Los impactos sociales (riesgo para la vida y la salud, y los impactos intangibles de las inundaciones en las comunidades) y la continua inversión de capital en edificios y contenidos (lo que genera mayores pérdidas cuando se inundan edificios más nuevos de mayor valor económico) se han fortalecido como impulsores receptores del riesgo de inundaciones urbanas. Además, propusieron dos nuevos factores: la pérdida de espacio urbano inundado y el impacto económico indirecto, que creemos que podría tener un impacto significativo en los riesgos de futuras inundaciones urbanas.

Biffi, De Souza y Firbank (2019) estudiaron la influencia de las características del suelo y de la superficie sobre la abundancia y diversidad de invertebrados. Se seleccionaron diecisiete parcelas de varios tamaños en Leeds y sus alrededores de la base de datos de código abierto sobre la producción de alimentos urbanos. Se colocaron trampas a lo largo de la sección transversal para recoger escarabajos, colembales y arañas. Estos

invertebrados han sido identificados y contados, cambiando el número total de trampas utilizadas para cada sitio. Se homogeneizaron, secaron y analizaron muestras de suelo en los sitios de la trampa para determinar los niveles de carbono orgánico, humedad y pH, y se evaluó la productividad sobre la base de reductos de plantas en el suelo en condiciones uniformes. El estudio no encontró evidencia de abundancia y diversidad aparente en términos de área o características del suelo. Estos hallazgos indican que todavía no hay evidencia de que los sitios urbanos de producción de alimentos sean demasiado pequeños para beneficiarse de los servicios de los ecosistemas proporcionados por los invertebrados.

Chen et al. (2019) argumentan que los efectos salutogénicos, es decir, que promueven la salud, de la CES no han sido reconocidos adecuadamente hasta ahora y merecen una atención más explícita para mejorar la toma de decisiones sobre la salud y el bienestar en las áreas urbanas. Sin embargo, será necesario abordar una serie de desafíos de investigación para revelar los mecanismos que sustentan la entrega de CES urbanos. Estos incluyen la relación causal entre la oferta y la demanda, la promoción de la equidad y la equidad en la salud. Se discutieron los problemas con los métodos cuantitativos. El documento es de gran importancia para los responsables políticos en Europa y más allá y proporciona a los investigadores actuales una hoja de ruta para la revisión y las oportunidades futuras para la investigación a corto y largo plazo.

Heyman et al. (2019) cuyo objetivo de estudio era examinar los efectos de diversas mejoras en el compostaje sobre la salud del suelo, la salud de las plantas y la sensibilidad a la lixiviación de nutrientes con el fin de determinar las características aceptables de compostaje para la restauración del paisaje urbano. *Phaseolus Vulgaris (BushBean)* determinó la influencia de nueve materias primas de compostaje diferentes en la sanidad vegetal. El líquido filtrado se recolecta antes de plantar para medir la pérdida de nutrientes para el tratamiento. Se encontró que todas las mejoras en el compostaje mejoran la salud del suelo. El compost de nutrientes proporciona el mayor crecimiento

de plantas y lixivia altas concentraciones de nitrato y fósforo. Algunos tratamientos proporcionan nutrientes suficientes para el crecimiento de las plantas sin pérdida excesiva de nutrientes. Estas recomendaciones deben garantizar la salud óptima de las plantas y el suelo y minimizar la lixiviación de nutrientes.

Joimel et al. (2019) con el fin de estudiar la respuesta de la flora y fauna del suelo a la urbanización, se estudió la clasificación y composición funcional de las comunidades de plantas y Collambulan y los parámetros del suelo en 15 jardines urbanos en tres grandes ciudades francesas. Se identificó vegetación en 6 parcelas de 11 m por jardín urbano, extrayéndose la comunidad de todo el suelo en el centro de cada sitio (5 cm de profundidad, 6 cm de diámetro). Encontraron que la urbanización afectaba la flora y biodiversidad de Collembola de diferentes maneras. Debido a la similitud de los parámetros del suelo, la clasificación y la composición funcional de los animales del suelo en las ciudades son más similares que entre ciudades. Por el contrario, las comunidades vegetales funcionan por igual entre las ciudades. Comprender el impacto de la urbanización en la biodiversidad del suelo puede tener un impacto en la gestión de los ecosistemas urbanos, especialmente los suelos urbanos.

Phillips et al. (2019) se enfocamos en el potencial de los suelos de parches de bosques urbanos para infiltrar la lluvia al caracterizar las tasas de conductividad hidráulica (K) en 21 parches de bosques en Baltimore, Maryland. La densidad aparente del suelo, la materia orgánica, la humedad del suelo, el porcentaje de fragmentos gruesos ( $\geq 2$  mm) y la textura se evaluaron en los mismos lugares para evaluar los impulsores de K. La K fue significativamente mayor en suelos con alto contenido de arena y se relacionó positivamente con el porcentaje de material de fragmentos gruesos en el suelo. El tamaño del parche de bosque no afectó a K. Estimamos que el 68 por ciento de la lluvia histórica podría ser infiltrada por suelos de parches de bosque urbano a las tasas de K medidas. El monitoreo continuo en un parche de bosque también mostró que el K es dinámico en el tiempo



y está influenciado por las condiciones de humedad del suelo antecedentes. Estimamos de manera conservadora que los suelos de parches de bosques urbanos no saturados por sí solos son capaces de infiltrar la mayoría de los eventos de lluvia de intensidades bajas a moderadas que cayeron dentro de estos parches de bosques en la región de Baltimore.

Se procede a explicar las bases teóricas y conceptos asociados a los servicios ecosistémicos ligados al suelo urbano, los conceptos respecto a los servicios ecosistémicos de suelos urbanos y las direcciones para la futura investigación de servicios ecosistémicos de suelos urbanos.

Como la urbanización es una tendencia mundial, la calidad del medio ambiente urbano es cada vez más importante para la salud y el bienestar humanos. Los estilos de vida urbanos se asocian a menudo con una baja actividad física y, a veces, un alto estrés mental, que contribuyen a la carga de la enfermedad. Las soluciones basadas en la naturaleza que hacen un uso eficaz de los servicios ecosistémicos, en particular de los servicios ecosistémicos culturales (CES), pueden proporcionar elementos fundamentales para abordar estos desafíos (Chen et al. 2019).

Las zonas urbanas son las principales fuentes de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, pero al mismo tiempo pueden compensar algunas de las pérdidas de carbono asociadas al mantener un contenido estable de carbono orgánico en el suelo. A pesar de la importancia del COS urbano, aún existen muchas incertidumbres asociadas, lo que resulta en una baja precisión de las estimaciones de reservas de COS o en su descuido en los presupuestos de carbono regionales y nacionales (Canedoli et al. 2020).

La degradación del suelo es un problema clave en muchos paisajes urbanos. La degradación del suelo limita el crecimiento de las plantas y la actividad microbiana y limita la capacidad de los paisajes urbanos para proporcionar servicios ecosistémicos muy necesarios. La inclusión de alrededor del 33% del compost por volumen en suelos degradados ha mejorado el estado y la

estructura del suelo a lo largo del tiempo, evitando los costos financieros y ambientales de importar mezclas de suelos de otras fuentes. Sin embargo, la adición de más compostaje puede aumentar el riesgo de pérdida de nutrientes a través de la lixiviación y la escorrentía (Heyman et al. 2019).

El declive de la fabricación industrial dejó grandes extensiones de suelo baldío en los cinturones periurbanos de muchas ciudades europeas, convirtiéndose en una preocupación económica, social y medioambiental. Al mismo tiempo, los suelos fértiles existentes están sobreexplotados para la producción de cultivos energéticos, y los residuos orgánicos urbanos se acumulan en los vertederos, lo que impide el desarrollo de sociedades ricas y sostenibles. La gestión de plantas se ha convertido en una valiosa herramienta de gestión de campo para la gestión de tierras periurbanas a fin de restablecer los servicios básicos de los ecosistemas (Míguez et al. 2020).

Los parches de bosque en paisajes desarrollados realizan funciones ecohidrológicas que pueden reducir las aguas pluviales. Sin embargo, las contribuciones de los parches de bosques urbanos a la mitigación de la escorrentía no se comprenden bien debido a la falta de datos de rendimiento. Teniendo en cuenta esta función ecohidrológica, la protección y expansión de los parches de bosque puede contribuir sustancialmente a la mitigación de las aguas pluviales. (Phillips et al. 2019).

La gestión del riesgo de inundaciones urbanas es un importante desafío mundial en el siglo XXI. Los proyectos de previsión de inundaciones en 2002-2004 y 2008 identificaron y evaluaron los factores de riesgo de futuras inundaciones en el Reino Unido; el riesgo de inundación previsto para los decenios 2050 y 2080 en diferentes escenarios climáticos y socioeconómicos (O'Donnell y Thorne 2020).

La producción urbana de alimentos es una esfera cada vez más importante para mejorar la seguridad alimentaria, el capital social y la biodiversidad. Dado que la producción de alimentos depende de los servicios

ecosistémicos proporcionados por los invertebrados (por ejemplo, descomposición), es importante comprender los principales factores que influyen en su distribución (p.e. descomposición) (Biffi, De Souza y Firbank 2019).

La bio homogeneidad urbana es un importante desafío para la conservación de la biodiversidad en las zonas verdes urbanas. La horticultura urbana es una práctica común en muchos países industrializados y en desarrollo. Sin embargo, el potencial de los jardines urbanos para conservar la biodiversidad aún no se ha explorado en detalle (Joimel et al. 2019).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

Una revisión sistemática implica un resumen crítico y reproducible de los resultados de las publicaciones disponible sobre un mismo tema o pregunta clínica concreta (Linares-Espinós et al. 2018). El carácter sistemático de la investigación da por certero que se basó en una disciplina, y que el análisis se basó en estrictos procedimientos (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018, p.34).

Un estudio de enfoque cualitativo es representado por el análisis sistemático de fenómenos, contrario a lo que comúnmente sucede, no se inicia con una teoría marcada para confirmar si esta es apoyada por los datos y resultados, sino que el proceso empieza examinando los hechos en sí y revisando los estudios previos, ambas acciones de manera simultánea, a fin de generar una teoría que sea consistente con lo que está observando que ocurre (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018, p.46).

La presente investigación se propuso revisar los servicios ecosistémicos ligados a los suelos urbanos; en este caso, en un tiempo único, referido a cómo se encuentran desarrollados esos conceptos en la actualidad, tratándose de una investigación Transversal descriptiva (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018, p.217).

Que el diseño cualitativo sea sistemático implica que hay una disciplina para realizar la investigación científica y que no se dejan los hechos a la casualidad. (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018, p.34)

Esta investigación cumple con el propósito fundamental de producir conocimiento y teorías, investigación básica (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018, p. 29), puesto que responde al propósito de responder sobre los servicios ecosistémicos ligados al suelo urbano, los

conceptos respecto a los servicios ecosistémicos de suelos urbanos y las direcciones para la futura investigación de servicios ecosistémicos de suelos urbanos.

### 3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

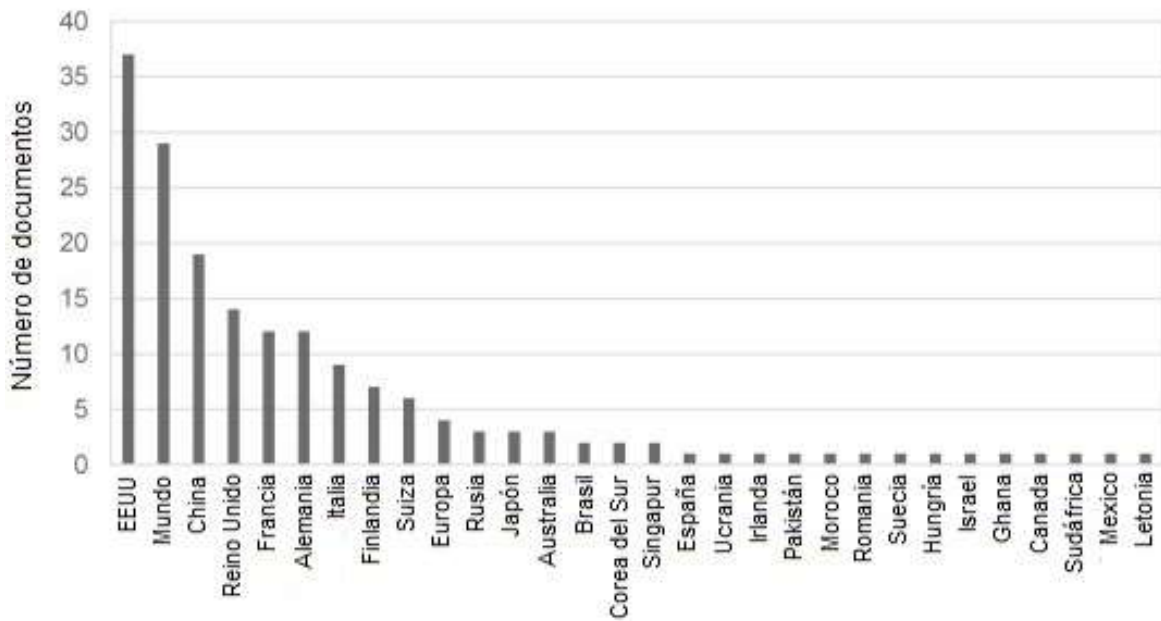
Tabla Nº 1. Matriz de categorización apriorística

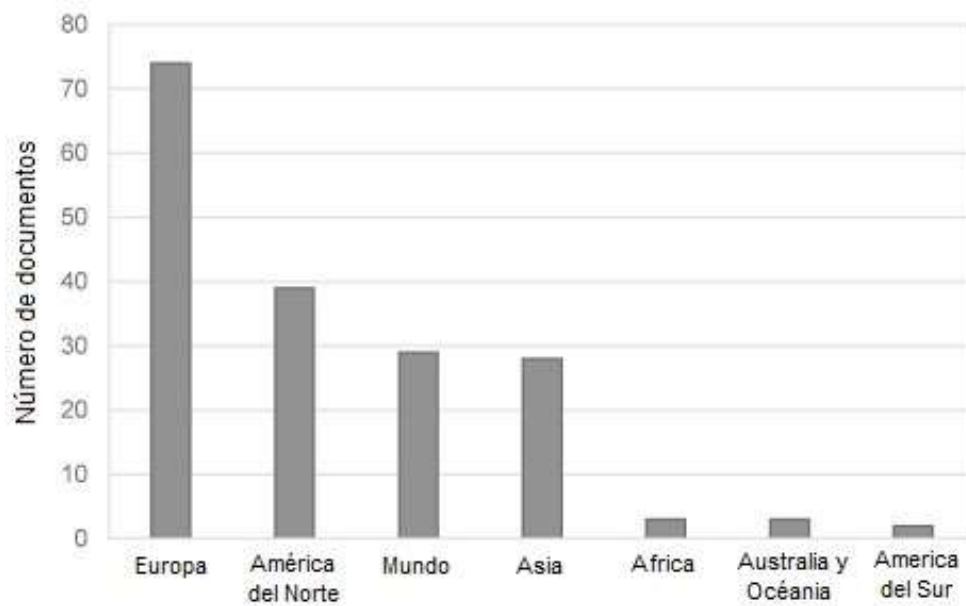
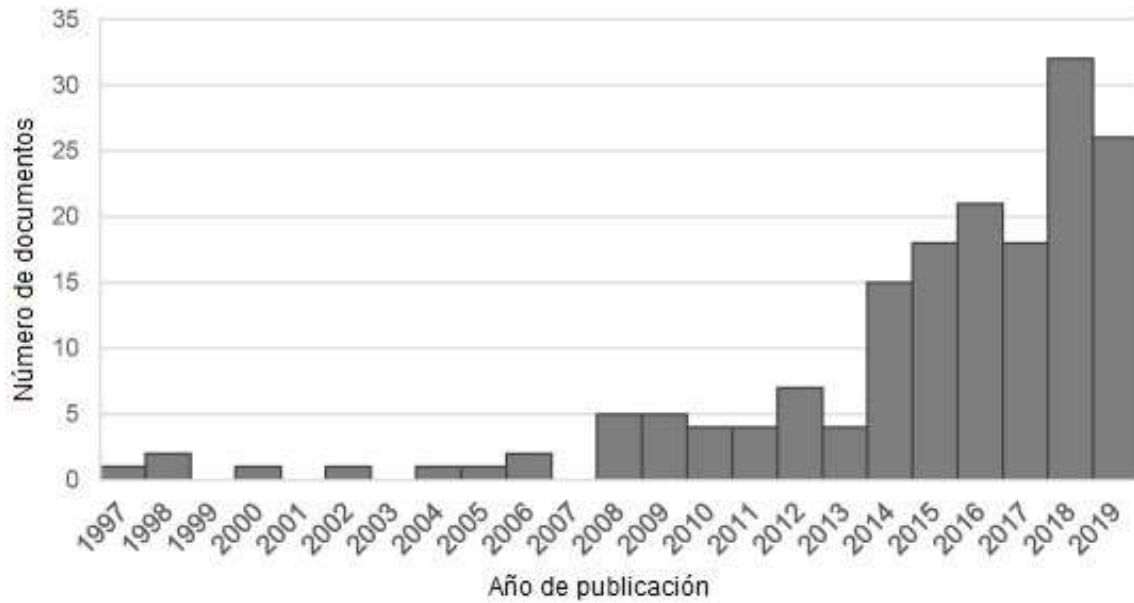
OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS SEPECÍFICOS	PROBLEMAS SEPECÍFICOS	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA
Revisar los servicios ecosistémicos ligados a los suelos urbanos.	Identificar los servicios ecosistémicos ligados al suelo urbano.	¿Cuáles son los servicios ecosistémicos ligados al suelo urbano?	Servicios ecosistémicos ligados al suelo urbano	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Análisis SE específico.</li> <li>▪ Interrelación entre los SE estudiados.</li> <li>▪ Profundidad del estudio de los suelos urbanos.</li> </ul>
	Consolidar los conceptos respecto a los servicios ecosistémicos de suelos urbanos.	¿Cómo se pueden acopiar los conceptos respecto a los servicios ecosistémicos de suelos urbanos?	Consolidación de los servicios ecosistémicos de suelos urbanos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Procesos de apoyo.</li> <li>▪ Servicios de regulación.</li> <li>▪ Servicios de aprovisionamiento.</li> </ul>
	Analizar direcciones para la futura investigación de servicios ecosistémicos de suelos urbanos.	¿Cuáles son las direcciones para la futura investigación de servicios ecosistémicos de suelos urbanos?	Direcciones para la futura investigación de servicios ecosistémicos de suelos urbanos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Multifuncionalidad y compensaciones del suelo urbano.</li> <li>▪ Brechas y oportunidades.</li> </ul>

### 3.3. Escenario de estudio

El gráfico 1 ilustra la distribución de la literatura por año de publicación y cobertura geográfica. En comparación con el PM del suelo, hay relativamente pocas publicaciones nuevas en EP urbano, con los artículos más antiguos que se remontan a 1997. Los estudios de suelo urbano se hicieron más comunes hasta 2014, después de lo cual el número total de publicaciones aumentó, con el mayor número publicado en 2018 (Fig. 1a).

**Figura 1. 1a. Número de artículos publicados entre 1997 y 2019 utilizando la cadena de búsqueda de suelos urbanos y servicios ecosistémicos; 1b. número de artículos publicados por región global; 1c. número de artículos publicados con alcances a diferente escala**





### 3.4. Participantes

Como se muestra en el gráfico 1B, la mayor parte de la literatura está relacionada con estudios europeos (42%). Desde entonces, el continente norteamericano ha representado el 22% de la literatura. Se han realizado muy pocos estudios en África, Australia y Oceanía o América del Sur (2%, 2% y 1%, respectivamente). La Figura 1c proporciona estos datos a nivel de país, donde se proporcionaron, e indica que la mayoría de las investigaciones en inglés se realizaron en los SE. Alemania. Muchos



documentos no llevan a cabo investigaciones a escala de un país o continente individual, sino que adoptan una perspectiva global; estos han sido etiquetados como 'Mundo' en la Fugira1b y 1c, que brindan ejemplos de artículos de revisión o discusión.

La mayoría de las disposiciones (125) son cláusulas MXP "cuantitativas", 32 son cláusulas "negociadas" y 21 son cláusulas de "suelo urbano común". Los documentos de discusión se centraron en la bioactividad del suelo y el almacenamiento de C, pero la mayoría (47%) se refirió a varias categorías de MXP. El número de personas que proporcionan biomasa para la nutrición y los servicios culturales es insuficiente, ya que los alimentos se mencionan en dos documentos de debate y sólo un documento se refiere a los servicios culturales.

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

En abril de 2020, se realizó una búsqueda de literatura en inglés en la Internet de la Ciencia titulada "*Land of Wu City*", incluyendo los temas "*Ecosystem Services*" en (título, resumen y palabras clave). Se realizó una segunda búsqueda sobre "terrenos urbanos \*" y "servicios ecosistémicos \*." Se realizó una tercera búsqueda sobre el tema ("Proceso del suelo \*" o "Función del suelo \*") y sobre las ciudades \*. La instrucción OR se usa para combinar tres consultas. La búsqueda completa tiene las siguientes cadenas de búsqueda:

(TI = (ciudades y suelos \*) y CT = "servicios ecosistémicos \*") O ("suelos urbanos \*" y "servicios ecosistémicos \*") O ("procesos del suelo \*" o "suelos funcionales \*") y ciudad \*)

La misma búsqueda se llevó a cabo en *Scopus* y los documentos se ordenaron. Se excluyeron capítulos de libros, resúmenes de congresos y reseñas de congresos. Se realizó una revisión inicial de los documentos y se

eliminaron los que no tenían un enfoque urbano, lo que dejó 178 documentos que eran relevantes para el suelo urbano y los SE.

### **3.6. Procedimientos**

Se realizó una búsqueda bibliográfica para comprender qué del suelo urbano se han estudiado más y dónde. Hubo un enfoque en el uso de la terminología de SE para identificar estudios que emplearon un marco de SE. La atención se centra en el uso de la terminología MXP para identificar los estudios que utilizan el sistema MXP. Además de SE, se incluyen términos relacionados con los procesos y funciones del suelo, ya que todavía se usan indistintamente en la comunidad científica del suelo (Schwilch et al. 2016), estrechamente relacionados con el pensamiento y la función ecológica del SE (Vasenev et al. 2018). Bavey et al. (2016) Destaca la necesidad de considerar tanto los servicios del suelo como de los ecosistemas en relación con las características y los procesos del suelo

### **3.7. Rigor científico**

Primero, la literatura se separó en tres categorías: aquellos que midieron los SE a través de datos empíricos o estudios de modelado se denominaron artículos 'cuantificados'; aquellos que solo discutieron los SE en relación con los suelos urbanos se denominaron documentos de 'discusión'; y aquellos que no cuantificaron o discutieron específicamente los SE se denominaron documentos de 'suelo urbano general'. Cuando estos artículos recopilan datos que contienen información sobre una entidad incluida en la lista, se clasifican como partidas cuantitativas, independientemente de que califiquen o no como empresas. Se incluyó una cláusula de apelación en la cláusula de "deliberación" o "tierras urbanas comunes".

El software VOSviewer (van Eck y Waltman 2010) analiza los títulos y resúmenes de 178 artículos recogidos en una búsqueda bibliográfica para identificar los términos más comunes y la superposición entre ellos. Para

definir términos comunes en la literatura (un recuento por título/resumen, no todos los recuentos por término), se utiliza un valor umbral igual a cinco casos por término. Se utilizó un diccionario sinónimo (p. ej., OC para el carbono orgánico en el suelo o C para el carbono del suelo) para simplificar los términos de consistencia.

El software aplica una puntuación de correlación que filtra términos comunes como "método" o "resultado" y ayuda a agrupar términos específicos para el tema (van Eck y Waltman 2011). La red de coocurrencia se muestra para mostrar los términos que aparecen con mayor frecuencia, los vínculos entre ellos, y donde se forman grupos entre estos términos. Establezca al menos 25 términos en el grupo para ver los temas.

### **3.8. Método de análisis de información**

Se realizó el análisis bibliométrico en todas las categorías de la literatura. A continuación, se realizó un análisis más detallado de los archivos cuantitativos para determinar qué EE se estudian conjuntamente en general y qué profundidades del suelo son las más registradas. Los hallazgos sobre estos productos "cuantitativos" se utilizaron posteriormente para una breve revisión de los suelos urbanos por SE.

Para capturar cómo se están estudiando los procesos de soporte del suelo urbano y los SE y a qué nivel, el marco de los SE del suelo propuesto por Dominati et al. (2010) (Tabla 2). El marco distingue entre los procesos de apoyo que impulsan el funcionamiento del suelo (como el ciclo de nutrientes, el ciclo del agua o la actividad biológica del suelo) y los servicios ambientales que son directamente beneficiosos para los humanos, que incluyen servicios culturales, de regulación y de aprovisionamiento. Las definiciones dadas por Dominati et al. (2010) se utilizaron para categorizar los procesos de apoyo y los SE identificados en los documentos 'cuantificados' y se proporcionan en el material complementario.

**Tabla N° 2. La lista de procesos de soporte del suelo y servicios ecosistémicos dada en Dominati et al. (2010) utilizado en este manuscrito**

Categoría	Proceso de apoyo o servicio del ecosistema
Procesos de apoyo	Ciclo de nutrientes; ciclismo del agua; actividad biológica del suelo
ES de aprovisionamiento	Alimentos, madera y fibra; apoyo físico; materias primas
ES de regulación	Mitigación de inundaciones; filtrado de nutrientes; Control biológico de plagas y enfermedades; Reciclaje de desechos y desintoxicación; Almacenamiento de carbono y regulación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)
ES culturales	Espiritualidad; conocimiento; sentido de lugar; estética

Algunos estudios midieron tanto un proceso de apoyo (p. ej., actividad microbiana) como un servicio de regulación relacionado con el proceso de apoyo (p. ej., almacenamiento de C); en estos casos, los artículos se clasificaron como que medían ambos. Si bien estos procesos y servicios están interrelacionados, se han analizado de esta manera para comprender qué procesos de apoyo y SE se han estudiado en detalle y, además, cómo los investigadores se refieren a ellos y abordan su estudio.

### **3.9. Aspectos éticos**

Los autores declaran que no tienen intereses económicos en competencia o relaciones personales conocidas que puedan haber influido en el trabajo informado en este documento. Siendo así, se destaca lo siguiente sobre esta investigación:

- A. Respeto a la autoría de las fuentes de información. Esto se logra citando apropiadamente con estilos internacionales.

- B. Cumplimiento de los principios éticos del colegio profesional al que pertenecerán los autores.
- C. Cumplimiento de los aspectos relevantes del código de ética de la investigación de la universidad o de la institución que autoriza la investigación

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Análisis de los SE de suelo urbano**

#### **4.1.1. Análisis SE específico**

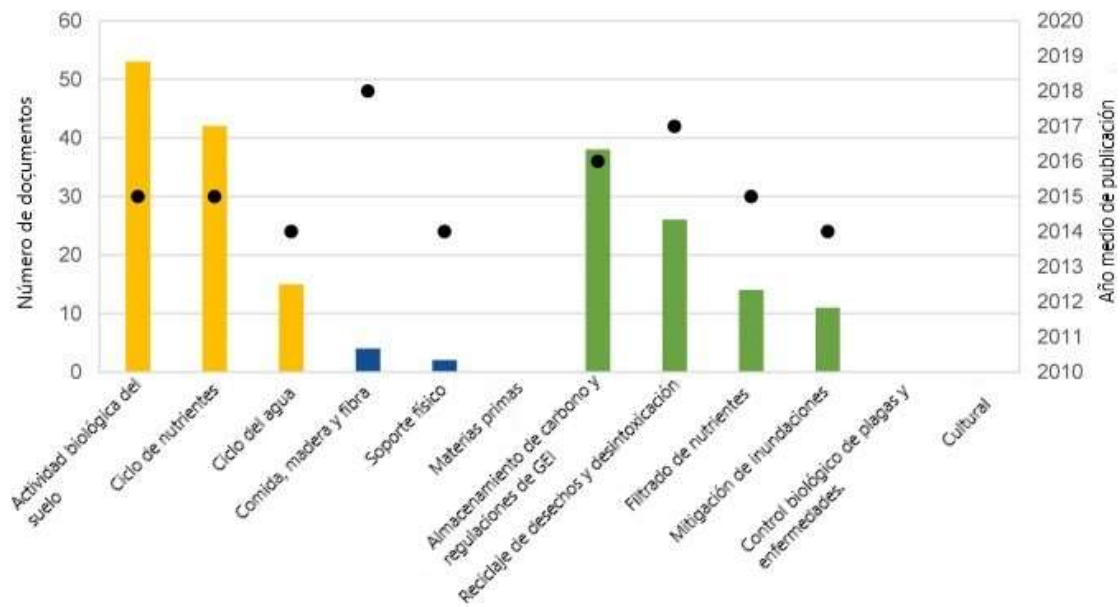
Para comprender qué ES individuales se habían estudiado, se realizó un análisis de los ES específicos en los 125 artículos que tenían datos "cuantificados", como se ilustra en la Fig. 2. La mayoría (88 %) de estos estudios cuantificados se centró en los procesos de apoyo, con el 42 % de los estudios midiendo la actividad biológica del suelo, el 34 % midiendo el ciclo de nutrientes y el 12 % midiendo el ciclo del agua.

El predominio de los estudios que se centran en estos procesos de apoyo, en particular el ciclo de nutrientes y la actividad biológica del suelo, destaca su importancia para comprender el funcionamiento del suelo y su apoyo para proporcionar SE. Sin embargo, parece haber menos énfasis en el ciclo del agua como un proceso de apoyo en los suelos urbanos. Esto puede deberse al hecho de que el agua del suelo generalmente se estudia en términos de capacidad de embalse o uso de agua urbana, por lo que estos documentos se recogerán como parte del control de inundaciones.

La regulación de los SE también se estudió con frecuencia en la literatura cuantitativa (71 % de los estudios), con un 30 % midiendo el almacenamiento de C y la regulación de efecto invernadero (GEI) y un 21 % midiendo el reciclaje de desechos y la desintoxicación. Solo el 9% de los documentos cuantitativos mitigan los efectos de las inundaciones, y solo unos pocos regulan el agua de tormenta como un WTP. Esto no refleja el alcance de la investigación y la experiencia práctica de los profesionales que trabajan en sistemas urbanos de abastecimiento de agua y drenaje (Schifman y Shuster 2019).

Sin embargo, sí sugiere que las aguas pluviales se ven comúnmente como un problema a rectificar en lugar de enmarcarse como el suelo SE de la mitigación de inundaciones; y como tal, es posible que el conocimiento desarrollado en las disciplinas de ingeniería y agua no esté llegando a la comunidad más amplia de SE.

**Figura N° 2. Número de artículos que miden los procesos de apoyo y los ES. Los artículos incluidos son aquellos que cuantificaron los ES (número = 125). Las columnas amarilla, azul y verde representan procesos de apoyo, aprovisionamiento y regulación de ES, respectivamente.**



Los SE de aprovisionamiento se estudiaron con menos frecuencia, y el servicio de aprovisionamiento de alimentos, madera y fibra representó solo el 3% de los artículos cuantificados. Esto contrasta con la investigación en suelos no urbanos donde la provisión de alimentos a menudo se cuantifica como uno de los SE del suelo más importantes (Adhikari y Hartemink 2016). La agricultura urbana es una práctica bien establecida en todo el mundo, representada por una amplia gama de literatura; sin embargo, nuestros hallazgos sugieren que rara vez se estudia en el contexto de los SE del suelo urbano, y es posible que se haya pasado por alto en la literatura, ya que no menciona explícitamente los SE del suelo. la fecha de publicación promedio

más tardía de los estudios de suministro de alimentos, madera y fibra (Fig. 2) puede sugerir que es un área en crecimiento para los estudios de ES.

El apoyo físico a la infraestructura, como carreteras o edificios, representa sólo el 2% del número total de proyectos y no refleja las necesidades de las comunidades de investigación y práctica en la esfera de las tierras urbanas. Geotecnología (Price et al. 2018). Esto sugiere que, a pesar de la creación de comunidades geotécnicas y de ingeniería, es posible que no consideren los suelos urbanos dentro de Europa sudoriental. Además, una búsqueda bibliográfica no reveló ninguna investigación sobre el manejo del suelo urbano, ni estudios sobre el concepto de extracción urbana, reciclaje y reutilización de residuos. (Arora et al. 2017).

Ninguno de los estudios realizó un estudio o un trabajo analítico sobre los servicios culturales de los suelos urbanos. Existe una gran cantidad de trabajo sobre la importancia cultural y arqueológica de los suelos que captura información histórica y social, a la que algunos se refieren como capas culturales dentro de las ciudades (Vasenev y Kuzyakov 2018). Sin embargo, este trabajo no parece utilizar el término SE, tal vez porque la investigación SE ha sido desarrollada en gran medida por ambientalistas y economistas en lugar de por investigadores del patrimonio (Hølleland, Skrede y Holmgaard 2017).

Además, existe un creciente cuerpo de evidencia sobre la importancia del acceso a la naturaleza y a los espacios verdes urbanos para los beneficios de salud mental y física (Chen et al. 2019); sin embargo, estos beneficios a menudo se capturan en relación con los árboles o los bosques urbanos en lugar de los suelos. La aproximación al estudio de las características culturales del entorno sigue siendo un tema de debate (Fish, Church y Winter 2016), por lo que siguen siendo menos estudiados en suelos urbanos y no urbanos.



De todas las empresas estatales cuantificables, los Estados Unidos tuvieron el mayor número de estudios, seguidos de China y Europa. Después de los Estados Unidos. Gran parte de la investigación sobre la actividad biológica del suelo se ha llevado a cabo en Francia, y muchos estudios sobre el almacenamiento de C se han completado en los Estados Unidos. Estados Unidos, Reino Unido y China. Una pequeña parte de la literatura cuantitativa (6%) se centra en los tecnosoles y se define como un suelo dominado por la actividad tecnológica humana, como lo demuestra la abundancia de artefactos o películas geográficas (Rossiter 2007). Estos documentos se centran en las sales tecnogénicas y su impacto en la actividad biológica, la penetración y el ciclo de nutrientes en el suelo, casi en su totalidad en Francia.

#### **4.1.2. Interrelación entre los SE estudiados**

La mayoría de los trabajos (57 %) estudiaba solo una SE, mientras que el 26% estudiaba dos servicios, el 15 % estudiaba tres, el 2 % estudiaba cuatro y sólo el 1% estudiaba cinco. Cuando se estudió más de un servicio, se cuantificaron los pares comunes de servicios que ilustraban la interrelación entre ellos. Hubo un predominio de los procesos de apoyo que se estudiaron juntos, por ejemplo, el 48% de los artículos sobre el ciclo de nutrientes también midieron la actividad biológica del suelo, dos procesos que están particularmente entrelazados (Bardgett 2005); y el 47% de los artículos sobre el ciclo del agua también midieron el ciclo de nutrientes, destacando estas medidas como indicadores importantes para el funcionamiento del suelo urbano.

Los casos de servicios de regulación estudiados en conjunto fueron menos comunes, por ejemplo, solo hubo cuatro artículos en los que se estudió la mitigación de inundaciones junto con el almacenamiento de C. Solo dos artículos estudiaron el filtrado de nutrientes junto con el reciclaje de desechos y la desintoxicación, lo que sugiere que no se establece un vínculo

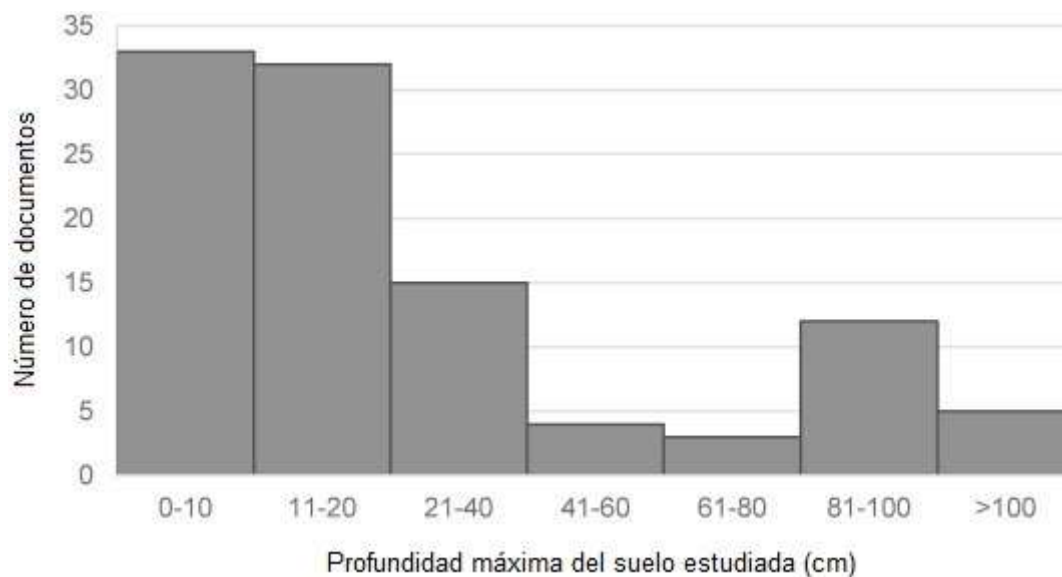
entre los depósitos de contaminantes y la capacidad del suelo para filtrarlos o evitar su liberación al medio ambiente.

La relación entre los procedimientos de apoyo MXP y la regulación o regulación varía. Solo el 21% de las personas midió la bioactividad del suelo, lo que indica que solo unos pocos productos mostraron un vínculo entre la biota del suelo y el almacenamiento de C en los suelos urbanos. El ciclo del agua no suele medirse con medidas de mitigación de inundaciones, lo que sugiere que estos servicios son tratados por separado por diferentes grupos de investigación. Además, los ciclos alimentarios rara vez se miden en términos de suministro de alimentos, lo que indica una vez más que los diferentes grupos de investigadores o profesionales tienen su propia terminología y métodos de recopilación de datos.

La falta de interrelación entre los tipos de servicios destaca que los procesos de apoyo y los SE no suelen considerarse juntos; y que los servicios de regulación no suelen estudiarse juntos o con los servicios de aprovisionamiento. Esta falta de estudios sobre múltiples SE ilustra que se está perdiendo la oportunidad de cuantificar la multifuncionalidad del suelo. Es necesario medir los procesos de apoyo para comprender la base del suministro de SE, pero también es necesario cuantificar los servicios de regulación y suministro en conjunto para permitir que la multifuncionalidad del suelo se incluya en la planificación urbana y la toma de decisiones.

#### 4.1.3. Profundidad del estudio de los suelos urbanos.

**Figura N° 3. Profundidad máxima (cm) a la que los artículos estudiaron del suelo urbano.**



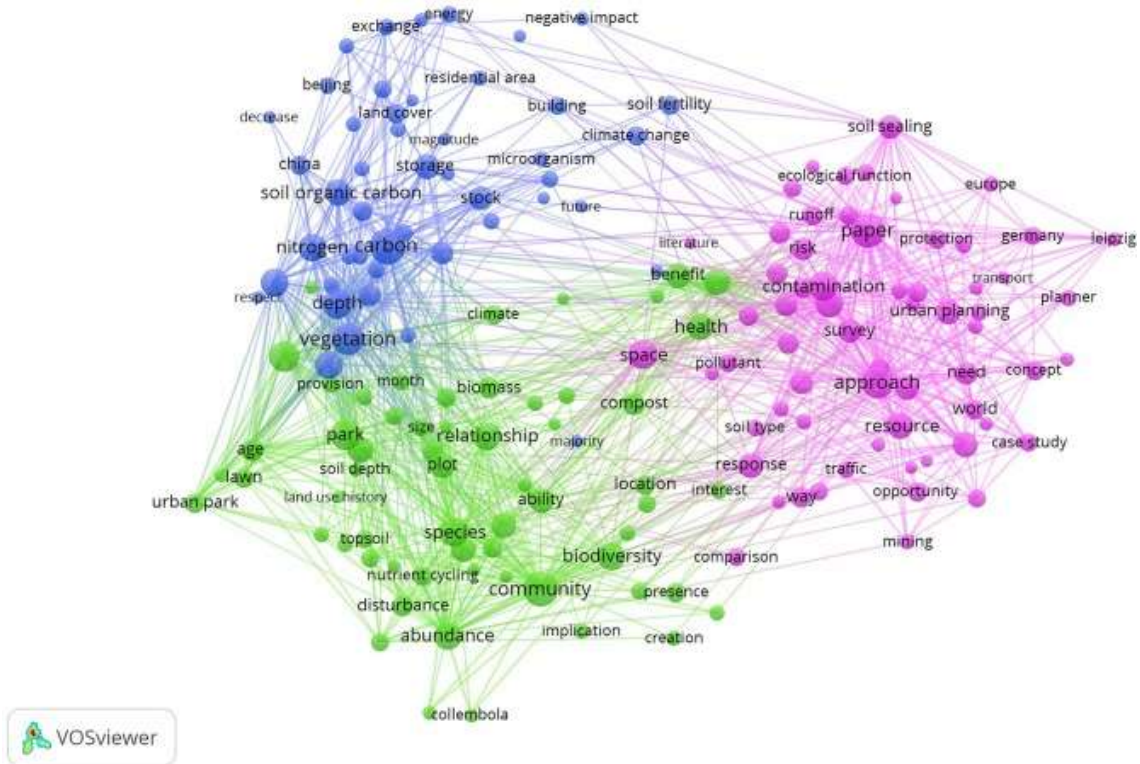
Los datos sobre la profundidad máxima y el número de mediciones del perfil de suelo se recogen de la bibliografía que contiene la información pertinente (figura 3). De los 104 artículos que contenían información detallada, el suelo más estudiado fue entre 0 y 20 cm (63%), 14% 40 cm y 12% 100 cm. El estudio de más de 100 cm (5%) se limitó a los que utilizaron núcleos de profundidad para estudiar el drenaje de aguas subterráneas, detectores de bajo nivel para observar lixiviación, química del suelo bajo superficies selladas y riesgos de hinchazón del suelo (Yilmaz et al. 2019). La mayoría de los artículos consideraron solo una profundidad de suelo (70%), mientras que un número menor consideró diferencias entre dos, tres o más profundidades (10%, 15% y 5%, respectivamente).

#### 4.1.4. Análisis de coocurrencia de términos clave

El análisis de la aparición simultánea de términos clave en la literatura condujo a una visualización en red de los términos y sus relaciones. Los tres grupos de términos en color en la Figura 4 se definen como grupos que

representan observaciones o procesos similares que aparecen juntos en la literatura.

**Figura N° 4. Análisis de coocurrencia de términos clave dentro del suelo urbano literatura de servicios ecosistémico.**



El nodo representa un término que ocurre al menos cinco veces, y el tamaño del nodo indica el número de ocurrencias. Los vértices y distancias relativas de los nodos ilustran la aparición conjunta del término. Donde la terminología está estrechamente relacionada, hay tres categorías de color: C y nutrientes (azul); biodiversidad del suelo (verde); y problemas del suelo urbano (violeta).

Dentro del grupo de C y nutrientes (azul) hay un enfoque en las reservas de C y nutrientes y los impactos de la cobertura del suelo urbano en su almacenamiento, como suelos debajo de edificios o superficies impermeables, o diferentes tipos de vegetación como bosques urbanos o céspedes. La biodiversidad del suelo (verde) destaca un grupo separado que se enfoca en la abundancia y diversidad de especies, su distribución a través

de diferentes tipos de infraestructura verde, sus actividades como el ciclo de nutrientes y las consecuencias de la urbanización y la perturbación en ellos.

Por último, el tercer grupo se centró en los suelos urbanos (violeta), incluidos los efectos de la urbanización, el sellado del suelo, el exceso de escorrentía y contaminación, los riesgos para los suelos, la capacidad de gestión y planificación para proteger mejor las tierras urbanas, y estrategias que enfatizan su importancia en la planificación de la documentación.

Los términos clave reflejan el análisis de condiciones específicas (sección 4.1.2), en las que la investigación tiende a centrarse en procesos de apoyo en los que predominan las actividades biológicas del suelo, así como nutrientes en el suelo y reservas C. Hay un área entre los grupos azul y verde donde los términos representan varios tipos de infraestructura verde que han sido estudiados, como parques urbanos, céspedes y varios tipos de vegetación.

Estos términos coexisten y están asociados con los grupos C y los grupos de nutrientes y los grupos de biodiversidad del suelo. Esto es consistente con la característica encontrada en el análisis de la literatura de ES (figura 2), que muestra que la mayoría de los estudios se centran en la actividad biológica del suelo, el ciclo de nutrientes y el almacenamiento de C.

Existe una clara falta de términos asociados con el agua en el análisis de coocurrencia, ya sea inundación, retención de agua o ciclo del agua, y aunque se incluyen los términos sellados del suelo y superficie impermeable, no están relacionados con problemas de inundación. Sin embargo, el análisis de la literatura de los SE (sección 4.1.2) ilustra una pequeña pero importante cantidad de estudios que investigan el ciclo del agua, la escorrentía y la mitigación de inundaciones. Estos estudios utilizan una variedad de medidas del agua del suelo, como la percolación saturada/no saturada la conductividad hidráulica y la capacidad de campo y, por lo tanto, es posible

que estos términos no aparezcan con la frecuencia suficiente en la literatura para ser capturados. en el análisis de coocurrencia.

Otra brecha significativa en áreas clave se relaciona con la alimentación y el crecimiento urbano, debido a la falta de literatura sobre el suministro de alimentos en la literatura de la educación superior, lo que confirma la ausencia de terminología de suministro de alimentos en las comunidades de suelo urbano de la SL. Del mismo modo, los servicios culturales no se reflejan en el análisis de la coocurrencia, lo que indica una falta de investigación en la literatura de ES.

## **4.2. Revisión resumida de los SE de suelos urbanos**

Tras un análisis de la cuantificación del MXP en la sección 4.1 donde se realiza y la naturaleza de la comunidad investigadora, este artículo revisa los estudios reflejados en la literatura de "cuantificación" definida por la clasificación MXP. Damos prioridad a la investigación primaria con el fin de tener una idea de lo que se sabe y dónde se pueden identificar las lagunas en la investigación futura.

### **4.2.1. Procesos de apoyo**

#### ***Ciclo de nutrientes***

Las actividades humanas y el uso de la tierra tienen el potencial de alterar el ciclo de nutrientes en los suelos urbanos debido a las adiciones y remociones directas e indirectas de nutrientes, y modificaciones a los factores que afectan el ciclo de nutrientes.

Varios estudios han encontrado que los suelos bajo algunos usos urbanos pueden tener un alto contenido de nutrientes. Schindelbeck et al. (2008) compararon el uso de la tierra en el estado de Nueva York y Baltimore, y encontraron que los suelos de un parque recreativo y una abandonada tenían un mayor contenido de materia orgánica y contenido de nitrógeno (N)

mineralizable que el suelo de una granja de hortalizas no urbana. En Lahti (Finlandia), los nutrientes del suelo en el jardín de manejo fueron altos en comparación con los suelos artificiales en los vertederos (Vauramo y Setälä 2010).

En Leicester (Reino Unido), los suelos de las parcelas tenían cantidades más altas de N orgánico que los suelos de los campos de cultivo intensivo circundantes, lo que se atribuyó a las adiciones de compost o estiércol (Edmondson et al. 2014). El período de tiempo durante el cual el suelo ha estado bajo un uso particular de la tierra también es un determinante importante del estado nutricional. de materia orgánica y nutrientes del suelo ha encontrado que los contenidos y la edad de la vivienda en estudios en Finlandia y EE. UU., respectivamente (Cobley et al. 2018).

Por el contrario, algunos usos y condiciones de la tierra urbana llevaron a una reducción en el contenido de nutrientes. Por ejemplo, Hermann et al. (2017) encontraron que los suelos importados utilizados para reponer los suelos desarrollados previamente tienen menos efecto nutritivo en el crecimiento de las plantas y contienen menos nitrógeno que los suelos existentes previamente en el sitio. También se encontró que los nutrientes estaban agotados en áreas donde la acumulación de metales pesados era significativa (Zhao et al. 2013).

El fósforo se ha estudiado significativamente menos en comparación con otros macronutrientes en suelos urbanos; sin embargo, es probable que se vea igualmente alterado por la urbanización a través de modificaciones físicas como el uso del suelo, los tipos de vegetación en los espacios verdes, la adición de desechos humanos o industriales y la alteración del suelo biología como la actividad de las lombrices (Amossé et al. 2015). Del mismo modo, hubo pocos estudios que consideraran otras modificaciones físicas en el entorno urbano y sus efectos en el ciclo de nutrientes, por ejemplo, no se establecieron comúnmente conexiones entre la alteración de la hidrología

urbana, el microclima, la aireación y la estructura del suelo y cómo estos podrían afectar el ciclo de nutrientes del suelo urbano.

### ***Ciclismo de agua***

Los principales factores que influyen en la circulación del agua urbana son la impermeabilidad de la superficie, la penetración del suelo y el drenaje y la evaporación (McGrane 2016). Sin embargo, otros factores también contribuyen a la alteración del ciclo del agua del suelo, incluida la heterogeneidad del suelo urbano, la gestión de espacios verdes, los horizontes alterados y la compactación debido a las actividades de construcción.

Varios estudios identificados en la literatura se centran en la infiltración, la dinámica de la humedad del suelo y la retención de agua. Un artículo identificó los índices de penetración en Hannover (Alemania), incluyendo áreas cubiertas por carreteras y edificios, así como áreas cubiertas por suelo abierto y vegetación.

En un estudio de modelado en Leipzig, Haase (2009) encontró que el ciclo del agua se había acelerado debido al mayor sellado con superficies impermeables, lo que llevó a una capacidad de retención de agua a favor de una mayor escorrentía. Estudios de modelado recientes han considerado la dinámica de la humedad del suelo en diferentes ciudades del mundo con diferentes niveles de superficies permeables, así como los efectos de los desarrollos en recarga y la sensibilidad de esto a escenarios climáticos futuros (Piero et al. 2017).

El vínculo entre la materia orgánica y la retención de agua en el suelo, como se observa en la ciencia del suelo tradicional (Minasny y McBratney 2018), también se ha observado en la literatura sobre suelos urbanos. El suelo de un parque recreativo en el estado de Nueva York tenía una mayor capacidad de agua disponible en comparación con los suelos de granjas o terrenos baldíos, atribuido al alto contenido de materia orgánica (Oldfield et al. 2014).



En el jardín de la ciudad de Zúrich, Tres et al. (2019) cuyo estudio de la flexibilidad del suelo mostró una alta correlación entre la mineralización y la retención de agua. Concluyeron que la humedad del suelo y los cambios en el suelo debido al riego y la agricultura eran factores clave en la estructura de las comunidades de flora y fauna del suelo, lo que a su vez afectaba la versatilidad, destacando la importancia de los programas de riego en términos de flexibilidad del suelo.

Aunque se utilizan métodos extensivos para medir las propiedades físicas e hidrológicas de los suelos naturales y agrícolas, la presencia de artefactos plantea desafíos únicos para medir la penetración del suelo en las áreas urbanas (Rhea et al. 2014). Hay un número limitado de estudios sobre las propiedades de los tecnosoles en relación con el ciclo del agua, y Yilmaz et al. (2019) compararon los métodos para investigar las propiedades hidráulicas de varios tecnosoles; mientras que el agua del suelo en tecnosoles elaborados con residuos fueron estudiados por Cannavo et al. (2018) quienes encontraron que las propiedades físicas no eran necesariamente una limitación para el crecimiento de los árboles.

### ***Actividad biológica del suelo***

Una revisión reciente de Guiland et al. (2018) descubrieron que la investigación en biología del suelo urbano representaba entre el 2% y el 3% de todas las investigaciones en biología del suelo. Si bien esto es compatible con la cubierta terrestre urbana mundial, es necesario prestar más atención a los suelos urbanos, ya que existe un claro vínculo entre la biodiversidad, los procesos ambientales y la prestación de servicios ambientales, Y esto está estrechamente relacionado con la ubicación de la mayoría de la población.

Guiland et al. (2018) encontraron que la mayoría de los estudios estaban relacionados con microorganismos, nematodos y artrópodos (33%, 28% y 21%, respectivamente), y se centraron en la toxicología ambiental o

bioacumulación de contaminantes en lugar de los aspectos ambientales y funcionales del bioma del suelo.

Contrariamente a lo que se supone, el suelo en las zonas urbanas no siempre está dañado por los animales del suelo. Según un estudio sobre la biodiversidad de la microfauna, los suelos urbanos pueden proporcionar el mismo nivel de calidad biológica que los bosques (Joimel et al. 2017); Ramírez et al., aunque no están incluidos en la literatura del SE. Ramírez et al. (2014) han demostrado que la diversidad microbiana en el Central Park de Nueva York es similar a la diversidad microbiana en todo el mundo.

Sin embargo, las comparaciones directas de los suelos urbanos con los no urbanos pueden llevar a conclusiones diversas, ya que los estudios de uso del suelo urbano en China y Finlandia han encontrado una biomasa microbiana del suelo que en los bosques naturales; mientras que las actividades microbianas de los suelos urbanos en Stuttgart eran comparables a las de los suelos agrícolas o forestales (Francini et al. 2018).

Se ha encontrado que una variedad de factores influyen en la distribución de la fauna del suelo dentro de las áreas urbanas (Tresch, Frey, Le Bayon, et al. 2019). Se encontró que los parámetros del suelo ejercen una influencia más fuerte en la fauna del suelo que las comunidades de plantas en los huertos (Joimel et al. 2019); sin embargo, Tresch et al. (2019) encontraron que la riqueza de especies de plantas afecta la diversidad de la fauna del suelo y la actividad microbiana en los jardines urbanos.

También se ha observado que el patrón típico de asociaciones planta-microbio observado en suelos no urbanos también se ha observado en suelos urbanos, de modo que las comunidades bacterianas y fúngicas pueden responder a grupos funcionales de plantas (Hui et al. 2017). Sin embargo, todavía hay un conocimiento limitado de los efectos de los microorganismos en el suelo urbano (Wang et al. 2018).

Se ha observado que los suelos urbanos exhiben una mayor diversidad funcional que otros usos no urbanos del suelo, particularmente en los suelos arbóreos al costado de las carreteras en Beijing; y una mayor diversidad de especies en suelos de parques y caminos en comparación con suelos residenciales en Chicago (Wang et al. 2018). La historia de perturbación también influye, ya que la relación entre la biota del suelo y las variables fisicoquímicas puede variar con la edad del suelo; y la edad del parque puede dar forma a la composición de las comunidades microbianas (Hui et al. 2017).

Por ejemplo, Ivashchenko et al. (2019) encontraron que la disponibilidad de C microbiano y la descomposición de la materia orgánica eran menores en las zonas industriales y residenciales de Moscú, donde había niveles más altos de metales pesados, y también se ha demostrado que los suelos contaminados con metales tienen niveles más bajos de bacterias nitrificantes y falta de hongos (Hartley et al. 2008).

#### **4.2.2. Servicios de regulación**

##### ***Mitigación de inundaciones***

La capacidad de los suelos urbanos para proporcionar mitigación de inundaciones está influenciada en gran medida por el uso del suelo y el tratamiento de la superficie del suelo. urbanos los suelos de los bosques tienen un mejor drenaje que los suelos en terrenos residenciales o comerciales y tienen una mayor regulación de la escorrentía que otros usos del suelo urbano (Ziter y Turner 2018). No se encontró que el tamaño del parche de bosque urbano afectara la conductividad hidráulica en un estudio realizado por Phillips et al. (2019), quienes concluyen que la protección de parches de bosque urbano, ya sean pequeños o grandes, puede contribuir potencialmente a la gestión de aguas pluviales urbanas.

Los valores de escorrentía comienzan a duplicarse cuando las superficies impermeables cubren >20 % de la tierra, y un modelo para Leipzig ha

demostrado que la escorrentía puede alcanzar más del 75 % del nivel de precipitación anual cuando las áreas son >80 % impermeables (Haase 2009).

Un estudio reciente muestra que los valores de escorrentía pueden aumentar en más de un 20% en áreas altamente selladas. Por ejemplo, donde todavía hay suelo permeable alrededor de la base de los árboles, la penetración de las lluvias está aumentando (Revelli y Porporato 2018). Una posible solución para el aumento de la escorrentía es el uso de sistemas de pavimento suspendido, como los que se encuentran sobre los alcorques, que en un estudio en Knoxville. También se ha considerado la inclusión del manejo del sellado del suelo en las estrategias y políticas de planificación para reducir el crecimiento de las áreas selladas (Artmann 2016).

El alcance de la perturbación humana, la compactación y la adición de material antropogénico al suelo mismo también influye en la capacidad de mitigación de inundaciones. Los suelos de relleno importados utilizados en la construcción son variables, según el material utilizado, pero se ha demostrado que algunos tienen mayor infiltración y drenaje que los suelos preexistentes (Herrmann, Shuster y Garmestani 2017). Los suelos con compost mezclado en el subsuelo y labrados tenían el doble de conductividad hidráulica saturada que los suelos no perturbados y entre 6 y 11 veces la de los suelos sometidos a capa superior y compactación del subsuelo (Chen et al. 2014).

### ***Filtrado de nutrientes***

Los suelos pueden filtrar y retener muchos compuestos orgánicos o inorgánicos y sustancias disueltas para evitar que entren en los cursos de agua. La capacidad del suelo para actuar como filtro puede verse afectada por la cubierta vegetal; sin embargo, solo unos pocos estudios consideran la relación entre la vegetación y los suelos urbanos como un filtro. Dado que la proporción de C-N en la basura forestal es alta, la proporción de C-N en los suelos urbanos es mayor bajo las copas de los árboles que en la hierba, de

modo que los fertilizantes o la deposición de N en la atmósfera pueden protegerse mejor (Livesley et al. 2016).

En un estudio realizado por Ziter y Turner (2018), se encontró que los suelos urbanos en pastizales y espacios abiertos tenían el fósforo disponible más bajo (considerado como un indicador de la posible escorrentía de P) en comparación con los bosques urbanos y las tierras urbanizadas en Madison (EE. UU.).

La acumulación de C negro en los suelos urbanos puede actuar como absorbente de contaminantes y, en combinación con tasas de infiltración suficientes, puede mejorar la filtración del agua y mejorar la calidad del agua en los espacios verdes urbanos (Schifman y Shuster 2019). Una posible práctica para mejorar la filtración del suelo es el uso de sistemas de pavimentos suspendidos, sobre los cuales un estudio ha demostrado que la concentración de sólidos suspendidos afluentes se reduce significativamente, demostrando el potencial de bioretención de estos sistemas para eliminar contaminantes de la escorrentía urbana (Tirpak et al. 2019).

La sal de las carreteras puede filtrarse de los suelos urbanos a los cursos de agua, y la carga de Cl fluvial aguas abajo de Calgary (Canadá) se atribuye al aumento de los aportes de sal de las carreteras (Kerr 2017). La remediación de suelos urbanos degradados a menudo implica la adición de compost que puede conducir a un exceso de lixiviación de nutrientes e impactos en la calidad del agua urbana. En un experimento de suelo urbano degradado, las pérdidas de N y P fueron considerables antes del establecimiento de la vegetación; sin embargo, una vez que se estableció la vegetación, las pérdidas de N y P se redujeron a niveles de fondo (Basta et al. 2016).

Para reducir los riesgos de lixiviación, Heyman et al. (2019) han identificado varias propiedades aceptables de compostaje que contribuyen a la

recuperación del suelo sin lixiviación de nutrientes. Al igual que con otros tipos de vegetación, la lixiviación de nutrientes está influenciada por los tipos de plantas y la cantidad de desechos, así como la proporción de bacterias en el suelo a los hongos. Por ejemplo, se ha demostrado que los suelos urbanos con aportes de basura lábil y una mayor cantidad de bacterias del suelo asociadas lixivian más N inorgánico que los suelos con basura recalcitrante, menos fácilmente descomponible, que tienen una mayor cantidad de N inorgánico asociado. hongos del suelo (Vauramo y Setälä 2010).

### ***Reciclaje de desechos y toxinas***

El suelo tiene la capacidad de degradar y degradar partes de desechos químicos y contaminantes; sin embargo, los altos niveles horizontales y las grandes reservas de suelo pueden ser fuentes de contaminación para los residentes urbanos. Como resultado, la contaminación, especialmente los metales pesados, contribuye a muchos estudios tradicionales del suelo urbano debido a los riesgos para la salud (Li et al. 2018).

Li et al. (2018) llevaron a cabo un examen de la gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos en los suelos urbanos que estaban relacionados con los riesgos para la salud humana. Los estudios destacados por la búsqueda bibliográfica incluyen aquellos enfocados en metales pesados; hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP); sales utilizadas para el deshielo de carreteras; y residuos antropogénicos, incluidos rastros de actinolita y crisotilo, tipos de amianto, que contribuyen aún más a los riesgos para la salud humana.

Estos estudios destacan los contaminantes presentes en los suelos urbanos y que es crucial reducir la exposición pública a la contaminación. Sin embargo, normalmente no enmarcan el reciclaje, la degradación y el almacenamiento de contaminantes como un SE proporcionado por el suelo urbano. Por lo tanto, aunque conocemos los niveles en los que las sustancias se vuelven peligrosas para la salud humana, no necesariamente

estudiamos la capacidad del suelo para reciclarlas, almacenarlas y evitar que estén disponibles para la exposición humana.

Una pequeña cantidad de estudios abordaron esto, por ejemplo, Wang et al. (2015) muestra que la atenuación natural tiene un gran potencial para mantener los contaminantes en las áreas urbanas y para evitar el contacto público; sin embargo, el uso del suelo urbano y el sellado del suelo afectan la capacidad de la tierra urbana para pudrirse. En términos más generales, debería hacerse hincapié en los lugares en que los suelos urbanos prestan esos servicios, protegen a las personas del contacto o, a su vez, crean riesgos cuando los servicios se prestan en un entorno desfavorable y los suelos urbanos son peligrosos.

### ***Almacenamiento de carbono y regulación de GEI***

Una revisión reciente de Vasenev y Kuzyakov (2018) encontró que el contenido de C del suelo urbano puede ser más alto que en los suelos naturales y, combinado con la acumulación de C a través del perfil del suelo hasta 100 cm, resultó en reservas totales de C de 3 a 5 veces mayores en los suelos urbanos. que los suelos naturales. En todos los climas y tamaños de ciudades, las áreas residenciales mostraron las reservas más altas de carbono orgánico (COS), mientras que las zonas industriales y los bordes de las carreteras mostraron las reservas más altas de C inorgánico y C negro (Vasenev y Kuzyakov 2018).

Los estudios identificados por la búsqueda bibliográfica ilustran una comparación entre suelos urbanos y no urbanos para el almacenamiento de C. Se encontró que los suelos de los parques urbanos en Milán tienen reservas de COS más altas (0–40 cm) en comparación con las tierras de cultivo de la región, y reservas de COS comparables con otros suelos no urbanos de la región (Canedoli et al. 2020). Un análisis realizado por Lester (Reino Unido), incluidos la cubierta vegetal y el suelo, mostró que el almacenamiento urbano de CAC supera con creces al de los suelos agrícolas periféricos, con un 82% del presupuesto orgánico urbano total C

en suelos urbanos. Sin embargo, en Harbin (China), el número de GLC urbanos (0-20 cm) es menor que el número de bosques naturales locales (Lv et al. 2016).

Se ha demostrado que el suelo urbano debajo de los árboles tiene una mayor reserva de C del suelo (0–30 cm) que el suelo debajo del pasto (Livesley et al. 2016); mientras que se encontraron que la mejora del SOC estaba relacionada con las especies de árboles, siendo el SOC más bajo en bosques. El almacenamiento de C en el suelo urbano también puede verse afectado por el tipo de hojarasca vegetal, por ejemplo, se ha sugerido una mayor retención de C en el suelo como resultado de una descomposición más lenta debajo de las plantas que producen hojarasca recalcitrante, como *Picea abies* y *Calluna vulgaris*, en comparación con la hojarasca lábil (Setälä et al. 2016).

No se ha encontrado un patrón consistente entre la urbanización y el C del suelo. En los bordes de las carreteras de Singapur, el SOC estaba inversamente relacionado con la urbanización; mientras que en los jardines de Zúrich se encontró que se correlacionaba positivamente con la densidad de urbanización (Tresch et al. 2018). Una consecuencia notable de la urbanización es la compactación del suelo, que, a pesar de la limitada investigación sobre los suelos herméticos, ha demostrado que algunos estudios para reducir los COP (Wei et al. 2014). Sin embargo, no se encontraron diferencias en el almacenamiento de SOC entre suelos de espacios verdes y suelos sellados a profundidades equivalentes; y Vasenev y Kuzyakov (2018) señalan que las capas culturales y los horizontes enterrados pueden contribuir a que las reservas de C del suelo selladas se aislen pero no se agoten.

Las adiciones antropogénicas y los materiales de relleno importados pueden aportar niveles variables de C a los suelos. Por ejemplo, Hermann et al. (2017) encontraron que los suelos de relleno importados tenían un contenido total de C más bajo que los suelos preexistentes, con una gran variabilidad



en los datos. Se cree que, en el diseño de suelos urbanos, los materiales de demolición se utilizan para capturar y almacenar C del suelo. Pueden ser ricos en calcio y magnesio, que capturan la atmósfera de C por la intemperie y el depósito de minerales carbonatados (Washbourne, Renforth y Manning 2012). Además, el C negro, debido a la combustión incompleta de combustibles fósiles, puede acumularse en suelos urbanos y se considera muy estable, por lo que representa una reserva significativa de C para suelos que han sido habitados durante mucho tiempo (Canedoli et al. 2020).

El Proyecto de forestación de la ciudad de Nueva York registró mayores emisiones de N<sub>2</sub>O donde no se incorporaron arbustos y compost antes de la plantación de árboles, lo que destaca que la absorción de N inorgánico por plantas y microbios es importante para regular las pérdidas de N<sub>2</sub>O de los suelos urbanos (Pierre et al. 2016). En el césped de la ciudad de Melbourne, se encontró que la reducción del riego y los fertilizantes han ayudado a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de los sistemas de jardinería, pero esto requiere pruebas en otros tipos de suelo y condiciones ambientales (Livesley et al. 2010).

#### **4.2.3. Servicios de aprovisionamiento**

La aparente falta de investigación sobre los servicios de suministro, en particular en el ámbito de la producción de alimentos, contrasta con la mayor parte de la literatura sobre suelos extraordinarios en Europa sudoriental. La alimentación urbana es un campo de investigación desarrollado como suelo urbano, pero no estudiado específicamente. Esto puede deberse a la práctica común de importar materiales para el cultivo de alimentos urbanos, como compost o tierra vegetal, que prestan menos atención a los suelos locales. La vigilancia de la producción de alimentos está más relacionada con otros servicios como el bienestar o la biodiversidad que simplemente con la cantidad de alimentos en sí.

Por ejemplo, en un estudio en el que rábano *Raphanus sativus*, se demostró que el tamaño de las áreas de cultivo de alimentos carecía de correlación con la abundancia y diversidad de invertebrados, lo que sugiere que incluso los sitios pequeños de producción de alimentos aún pueden proporcionar SE relacionados con los invertebrados (Biffi, De Souza y Firbank 2019). La contaminación del suelo puede presentar un riesgo para la salud por la exposición, ya sea por comer alimentos cultivados en suelo contaminado o por la jardinería y la exposición de la piel al suelo. Los problemas asociados pueden incluir insuficiente atención a la horticultura, conocimiento inconsistente, obstáculos al análisis del suelo y conocimiento limitado de las mejores prácticas para reducir los impactos (Kim et al. 2014).

Solo dos artículos en la búsqueda bibliográfica consideraron el soporte físico de los suelos urbanos como un SE, destacando los peligros de los suelos urbanos con malas propiedades mecánicas y los riesgos asociados con la expansión de los suelos y el daño causado a la infraestructura, instando a la inclusión de la funcionalidad del suelo en el desarrollo urbano (Stell, Guevara y Vargas 2019).

#### **4.3. Direcciones para la futura investigación de SE de suelos urbanos**

El análisis y el resumen de la literatura anterior destacan varias lagunas en el conocimiento y las necesidades de investigación futura. Aquí se resumen algunas de las lagunas de investigación identificadas y discutimos oportunidades futuras de trabajo y cooperación para mejorar la seguridad de la tierra urbana.

##### **4.3.1. Multifuncionalidad y compensaciones del suelo urbano**

Las áreas urbanas exhiben una gran heterogeneidad, y se requieren áreas potenciales proveedoras de servicios ambientales para atender a muchos y diversos usuarios (Anderson et al. 2013). La mejora de la provisión de SE del suelo urbano depende de los requisitos de los beneficiarios de esos

servicios, así como del manejo y tratamiento del suelo. Sin embargo, en vista de la alta densidad de población en las áreas urbanas y el extenso entorno sureste de los suelos urbanos, la universalidad es indudablemente de importancia clave; sin embargo, este análisis enfatiza que en la literatura de investigación solo dos artículos estudiaron los suelos de cuatro ciudades orientales (Míguez et al. 2020).

Para brindar multifuncionalidad y gestión beneficiosa para todos, es necesario profundizar e integrar nuestra comprensión de los SE del suelo urbano en todas las disciplinas y profesiones. Puede haber oportunidades para explorar más a fondo múltiples funciones e integrar el uso de múltiples usos del suelo en la planificación y la política de infraestructura verde (Scott et al. 2018). Esas políticas pueden mejorar la protección de los espacios verdes urbanos existentes y crear nuevos espacios verdes urbanos, teniendo en cuenta la amplia variedad de suelos en el sudeste.

También podrían fomentar la protección de los bosques urbanos existentes y la creación de nuevos bosques urbanos que ayuden a la regulación de la escorrentía y las aguas pluviales y al almacenamiento de C en el suelo (Setälä et al. 2016). La integración de los SE del suelo en la planificación maestra y los proyectos de infraestructura es necesaria para mejorar los SE y reducir la alteración de las funciones del suelo. El diseño del paisaje, permitiendo múltiples funciones, incluirá diferentes tipos de vegetación en plantaciones verdes, nutriendo las diversas comunidades microbianas y fúngicas y los procesos del suelo que proporcionan (Tresch, Frey, Le Bayon, et al. 2019).

La gestión verde urbana también desempeña un papel clave para garantizar que el suelo desempeñe muchas funciones (Setälä et al. 2016). Los resultados de ganar-ganar se pueden lograr por métodos tales como SuD para asegurar el almacenamiento de agua, reducir la escorrentía y la captura y filtración de contaminantes; o nuevos desarrollos en el diseño de sistemas

y resinas de recubrimiento suspendido para aumentar el flujo de agua mientras se garantiza la estabilidad biológica (Tirpak et al. 2019).

Sin embargo, dada la complejidad del entorno urbano, deben adoptarse decisiones de compensación. En los suelos contaminados, se pueden elegir entre el transporte de contaminantes y la lixiviación o el exceso de nutrientes, y mejorar el drenaje y la infiltración. La elección del tipo de vegetación puede influir en las características del suelo, por lo que la plantación urbana puede influir en el rendimiento del suelo y la prestación de servicios.

Si bien estas opciones se han tenido en cuenta en estudios de casos en contextos específicos, todavía existen lagunas en las mejores prácticas en la gestión del espacio verde urbano y el diseño del paisaje, porque proporcionan múltiples condiciones ambientales y son compensados por requisitos ambientales en condiciones ambientales.

#### **4.3.2. Brechas y oportunidades**

Además de la universalidad, que hemos identificado como una brecha universal, el examen del sistema nos ha permitido identificar otras seis esferas que consideramos como graves lagunas y oportunidades para la investigación futura.

A) **Agua:** A pesar de mucho trabajo hecho en SuD y la dinámica de aguas pluviales, parece que no hay conexión con la comunidad de ES. Al evaluar y considerar los beneficios de la infraestructura verde urbana en Europa sudoriental, es esencial tener en cuenta la dinámica hídrica de las tierras urbanas. Es necesario fortalecer los vínculos entre los investigadores del agua del suelo, las medidas de fomento de la confianza y la comunidad MXP para compartir esta importante labor. También deben tenerse en cuenta los efectos de la compactación del suelo, la compactación y el cambio climático en la dinámica futura de los recursos hídricos urbanos.

- B) **Alimentos:** el interés en la agricultura urbana está aumentando y es esencial que esté conectado con la comunidad de ES del suelo urbano para garantizar que se conozcan los beneficios más amplios del suelo urbano. Para ello se tendrán en cuenta los beneficios medioambientales y sociales de la agricultura urbana y los riesgos asociados a la contaminación. También proporcionará una cobertura cuantitativa y más amplia de los cultivos alimentarios y proporcionará mensajes clave a los planificadores urbanos y a los encargados de adoptar decisiones.
- C) **Cultural:** al asegurar estos servicios para el futuro, es vital que capturemos la importancia de los suelos urbanos para la gama de servicios culturales que brinda, ya sea apoyando la provisión de espacios verdes para mejorar la salud mental y física, el bienestar a través del cultivo de alimentos, proporcionando inspiración estética o espiritual y sentido de lugar, o interpretando las capas de historia que el suelo conserva a través de la arqueología. Es especialmente necesario tener una visión holística de la variedad de servicios culturales y de bienestar que brindan los suelos urbanos, particularmente a medida que las poblaciones urbanas continúan creciendo, y tenerlos en cuenta al considerar los beneficios para las personas.
- D) **Investigación global:** Gran parte del trabajo de hoy se centra en los Estados Unidos, China o los países de Europa Occidental. La investigación debe extenderse a otras partes del mundo, como África, América del Sur, Australia y Oceanía, para abordar el impacto de la urbanización en el suelo en diferentes climas y entornos urbanos. Esto es particularmente importante a medida que las ciudades de todo el mundo crecen rápidamente y crece la presión sobre la tierra.
- E) **Interconexión entre investigadores y políticas:** Es necesario compartir los métodos y resultados cuantitativos entre las disciplinas y comunidades de investigación para que los profesionales y los encargados de adoptar decisiones puedan compartir y tener en cuenta la

enorme complejidad de la investigación de SyE. Los investigadores deben cooperar para examinar el impacto del lenguaje y la terminología en la aplicación de los métodos y resultados de la investigación, especialmente en la planificación y la formulación de políticas. También facilitará el examen de múltiples servicios y permitirá que grupos más amplios, organizaciones no gubernamentales, empresas y organizaciones adopten este enfoque.

- F) **Impulsores del cambio:** Es necesario tener en cuenta factores futuros, como la compactación del suelo, el cambio climático y el uso de tecnologías, para comprender el papel de los ecosistemas urbanos en la mejora del impacto de estos factores. También es necesario considerar cómo la combinación de estos cambios afecta a MXP.

## V. CONCLUSIONES

Las conclusiones de la investigación fueron las siguientes:

1. La investigación sobre el suelo urbano es un cuerpo de trabajo nuevo pero creciente y está proporcionando información muy necesaria sobre cómo funcionan los suelos urbanos dentro de los contextos complejos y heterogéneos de las ciudades.
2. La mayor parte de la investigación se centra en procesos de apoyo y servicios de regulación seleccionados, como el almacenamiento de C y el reciclaje de desechos. Si bien el énfasis en los procesos de apoyo nos brinda datos para comprender los procesos del suelo urbano, no proporciona información que sea fácil de usar por parte de personas ajenas a la comunidad de la ciencia del suelo y, por lo tanto, que se incorpore a la planificación y gestión urbana.
3. Para abordar esto, es necesario que se estudien tanto los procesos de apoyo como los SE; y la investigación sobre la multifuncionalidad se destaca como una dirección clave para el futuro. También abordará otras lagunas en la literatura, como la producción de alimentos urbanos, la dinámica hídrica y los servicios culturales, que rara vez se definen como servicios prestados a los suelos urbanos.
4. Se espera que abordar estas brechas permita comprender mejor los suelos urbanos y tenerlos en cuenta en la planificación, el diseño y la gestión de las áreas urbanas para apoyar el futuro bienestar humano y la salud del ecosistema urbano.

## VI. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones para futuras investigaciones son las siguientes:

1. La plantación de jardines de pradera puede mejorar los suelos urbanos a largo plazo cuando se convierten del césped típico, y los suelos urbanos pueden proporcionar servicios ecosistémicos mejorados, incluida una mayor retención de carbono y una mejor gestión de las aguas pluviales en los paisajes urbanos.
2. Las biopolisas, el compostaje y el dragado de sedimentos son recursos importantes y sostenibles que pueden utilizarse a nivel local para mejorar los suelos urbanos degradados. Además, los bioliths y los sedimentos dragados se pueden utilizar en desechos industriales limpios.
3. Los nutrientes pueden recuperarse de las aguas residuales justo donde se generan y también utilizarse donde hay demanda, lo que reduce la importación de nutrientes desde lugares distantes. Existe la posibilidad de recuperar una proporción significativa del P excretado en forma de estruvita de las plantas de tratamiento de aguas residuales si se adopta una mayor eliminación biológica de P junto con la recuperación de P.
4. La ecologización/agricultura de la tierra urbana desocupada debido a la desindustrialización de las áreas metropolitanas puede mejorar la condición de confort térmico de los residentes de la ciudad durante las olas de calor máximas del verano al mitigar el efecto de isla de calor urbano.
5. La caracterización de los suelos utilizados en los proyectos de gestión de aguas pluviales verdes es importante para garantizar que actúan como sumideros de contaminantes genéticos que entran en el drenaje de las cuencas hidrográficas. La ISP en diversos suelos compostables y biomodificados ha demostrado ser una herramienta eficaz no solo para



predecir el desplazamiento de R en suelos infraestructurales verdes, sino también para retener metales pesados. La mayoría de los proyectos de infraestructura verde gestionados por el agua de lluvia se encuentran en terrenos públicos o institucionales, como calles, parques o servidumbres escolares. Debido a su ubicación geográfica, es importante caracterizar el suelo en términos de exposición humana y riesgos para la salud.

6. Es necesario desarrollar los conocimientos y capacidades locales para gestionar y mejorar los suelos urbanos de forma que proporcionen las funciones ecosistémicas necesarias. Esas aptitudes deberían incluir conocimientos científicos agronómicos, ambientales, ambientales, económicos y sociales para mejorar la producción de alimentos en las zonas urbanas, paisajes urbanos verdes e infraestructura ecológica para la ordenación de las aguas pluviales; con el objetivo general de mejorar no solo la nutrición y la salud de la población urbana, sino también el entorno general y las condiciones de vida de las comunidades urbanas.

## REFERENCIAS

- ADHIKARI, K. y HARTEMINK, A.E., 2016. Linking soils to ecosystem services - A global review. *Geoderma* [en línea], vol. 262, pp. 101-111. ISSN 00167061. DOI 10.1016/j.geoderma.2015.08.009. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.009>.
- AMOSSÉ, J., TURBERG, P., KOHLER-MILLERET, R., GOBAT, J.M. y LE BAYON, R.C., 2015. Effects of endogeic earthworms on the soil organic matter dynamics and the soil structure in urban and alluvial soil materials. *Geoderma* [en línea], vol. 243-244, pp. 50-57. ISSN 00167061. DOI 10.1016/j.geoderma.2014.12.007. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.12.007>.
- ANDERSON, P.M.L., OKEREKE, C., RUDD, A. y PARNELL, S., 2013. *Urban ecosystem services*. S.l.: s.n. ISBN 9789400770881.
- ANNE, B., GEOFFROY, S., CHEREL, J., WAROT, G., MARIE, S., NOËL, C.J., LOUIS, M.J. y CHRISTOPHE, S., 2018. Towards an operational methodology to optimize ecosystem services provided by urban soils. *Landscape and Urban Planning* [en línea], vol. 176, pp. 1-9. ISSN 01692046. DOI 10.1016/j.landurbplan.2018.03.019. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.03.019>.
- ARORA, R., PATEROK, K., BANERJEE, A. y SALUJA, M.S., 2017. Potential and relevance of urban mining in the context of sustainable cities. *IIMB Management Review* [en línea], vol. 29, no. 3, pp. 210-224. ISSN 09703896. DOI 10.1016/j.iimb.2017.06.001. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.iimb.2017.06.001>.
- ARTMANN, M., 2016. Urban gray vs. urban green vs. soil protection — Development of a systemic solution to soil sealing management on the example of Germany. *Environmental Impact Assessment Review* [en línea], vol. 59, pp. 27-42. ISSN 01959255. DOI 10.1016/j.eiar.2016.03.004. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2016.03.004>.
- BARDGETT, R., 2005. *The Biology of Soil: A Community and Ecosystem Approach*. S.l.: Oxford University Press.

- BASTA, N.T., BUSALACCHI, D.M., HUNDAL, L.S., KUMAR, K., DICK, R.P., LANNO, R.P., CARLSON, J., COX, A.E. y GRANATO, T.C., 2016. Restoring Ecosystem Function in Degraded Urban Soil Using Biosolids, Biosolids Blend, and Compost. *Journal of Environmental Quality* [en línea], vol. 45, no. 1, pp. 74-83. ISSN 15372537. DOI 10.2134/jeq2015.01.0009. Disponible en: <https://doi.org/10.2134/jeq2015.01.0009>.
- BAVEYE, P.C., BAVEYE, J. y GOWDY, J., 2016. Soil «ecosystem» services and natural capital: Critical appraisal of research on uncertain ground. *Frontiers in Environmental Science* [en línea], vol. 4, no. JUN, pp. 1-49. ISSN 2296665X. DOI 10.3389/fenvs.2016.00041. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00041>.
- BIFFI, S., DE SOUZA, C.M. y FIRBANK, L.G., 2019. Epigeal fauna of urban food production sites show no obvious relationships with soil characteristics or site area. *Agriculture, Ecosystems and Environment* [en línea], vol. 286. ISSN 01678809. DOI 10.1016/j.agee.2019.106677. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106677>.
- BÜNEMANN, E.K., BONGIORNO, G., BAI, Z., CREAMER, R.E., DE DEYN, G., DE GOEDE, R., FLESKENS, L., GEISSEN, V., KUYPER, T.W., MÄDER, P., PULLEMAN, M., SUKKELE, W., VAN GROENIGEN, J.W. y BRUSSAARD, L., 2018. Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry* [en línea], vol. 120, no. January, pp. 105-125. ISSN 00380717. DOI 10.1016/j.soilbio.2018.01.030. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>.
- CANEDOLI, C., FERRÈ, C., EL KHAIR, D.A., PADOA-SCHIOPPA, E. y COMOLLI, R., 2020. Soil organic carbon stock in different urban land uses: high stock evidence in urban parks. *Urban Ecosystems* [en línea], vol. 23, no. 1, pp. 159-171. ISSN 15731642. DOI 10.1007/s11252-019-00901-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00901-6>.
- CANNAVO, P., GUÉNON, R., GALOPIN, G. y VIDAL-BEAUDET, L., 2018. Technosols made with various urban wastes showed contrasted performance for tree development during a 3-year experiment. *Environmental Earth Sciences* [en línea], vol. 77, no. 18, pp. 0. ISSN 18666299. DOI 10.1007/s12665-018-7848-x. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-018-7848-x>.

- CHEN, X., DE VRIES, S., ASSMUTH, T., DICK, J., HERMANS, T., HERTEL, O., JENSEN, A., JONES, L., KABISCH, S., LANKI, T., LEHMANN, I., MASKELL, L., NORTON, L. y REIS, S., 2019. Research challenges for cultural ecosystem services and public health in (peri-)urban environments. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 651, pp. 2118-2129. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.09.030. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.030>.
- CHEN, Y., DAY, S.D., WICK, A.F. y MCGUIRE, K.J., 2014. Influence of urban land development and subsequent soil rehabilitation on soil aggregates, carbon, and hydraulic conductivity. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 494-495, pp. 329-336. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2014.06.099. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.099>.
- COBLEY, L.A.E., PATAKI, D.E., MCCARTHY, H.R., MARTIN, S.A. y EHLERINGER, J.R., 2018. Housing Age and Affluence Influence Plant and Soil Nitrogen and Carbon Cycles in Two Semiarid Cities. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* [en línea], vol. 123, no. 10, pp. 3178-3192. ISSN 21698961. DOI 10.1029/2018JG004424. Disponible en: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/action/doSearch?ContribAuthorRaw=Ehleringer%2C+J+R>.
- DOMINATI, E., PATTERSON, M. y MACKAY, A., 2010. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics* [en línea], vol. 69, no. 9, pp. 1858-1868. ISSN 09218009. DOI 10.1016/j.ecolecon.2010.05.002. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.002>.
- EDMONDSON, J.L., DAVIES, Z.G., GASTON, K.J. y LEAKE, J.R., 2014. Urban cultivation in allotments maintains soil qualities adversely affected by conventional agriculture. *Journal of Applied Ecology* [en línea], vol. 51, no. 4, pp. 880-889. ISSN 13652664. DOI 10.1111/1365-2664.12254. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12254>.

- FISH, R., CHURCH, A. y WINTER, M., 2016. Conceptualising cultural ecosystem services: A novel framework for research and critical engagement. *Ecosystem Services* [en línea], vol. 21, no. September, pp. 208-217. ISSN 22120416. DOI 10.1016/j.ecoser.2016.09.002. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.09.002>.
- FRANCINI, G., HUI, N., JUMPPONEN, A., KOTZE, D.J., ROMANTSCHUK, M., ALLEN, J.A. y SETÄLÄ, H., 2018. Soil biota in boreal urban greenspace: Responses to plant type and age. *Soil Biology and Biochemistry* [en línea], vol. 118, no. November 2017, pp. 145-155. ISSN 00380717. DOI 10.1016/j.soilbio.2017.11.019. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.11.019>.
- GUILLAND, C., MARON, P.A., DAMAS, O. y RANJARD, L., 2018. Biodiversity of urban soils for sustainable cities. *Environmental Chemistry Letters* [en línea], vol. 16, no. 4, pp. 1267-1282. ISSN 16103661. DOI 10.1007/s10311-018-0751-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0751-6>.
- HAASE, D., 2009. Effects of urbanisation on the water balance - A long-term trajectory. *Environmental Impact Assessment Review* [en línea], vol. 29, no. 4, pp. 211-219. ISSN 01959255. DOI 10.1016/j.eiar.2009.01.002. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2009.01.002>.
- HARTLEY, W., UFFINDELL, L., PLUMB, A., RAWLINSON, H.A., PUTWAIN, P. y DICKINSON, N.M., 2008. Assessing biological indicators for remediated anthropogenic urban soils. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 405, no. 1-3, pp. 358-369. ISSN 00489697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2008.06.004. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.06.004>.
- HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R. y MENDOZA, C., 2018. *Metodología De La Investigación - La ruta cuantitativa, cualitativa y mixta* [en línea]. 1°. México D.F.: Mc Graw Hill Education. ISBN 9781456260965. Disponible en: <https://bit.ly/3fA7hEp>.
- HERRMANN, D.L., SHUSTER, W.D. y GARMESTANI, A.S., 2017. Vacant urban lot soils and their potential to support ecosystem services. *Plant and Soil* [en línea], vol. 413, no. 1-2, pp. 45-57. ISSN 15735036. DOI 10.1007/s11104-016-2874-5. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-016-2874-5>.

- HEYMAN, H., BASSUK, N., BONHOTAL, J. y WALTER, T., 2019. Compost quality recommendations for remediating urban soils. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [en línea], vol. 16, no. 17. ISSN 16604601. DOI 10.3390/ijerph16173191. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph16173191>.
- HØLLELAND, H., SKREDE, J. y HOLMGAARD, S.B., 2017. Cultural Heritage and Ecosystem Services: A Literature Review. *Conservation and Management of Archaeological Sites* [en línea], vol. 19, no. 3, pp. 210-237. ISSN 17535522. DOI 10.1080/13505033.2017.1342069. Disponible en: <http://doi.org/10.1080/13505033.2017.1342069>.
- HUI, N., JUMPPONEN, A., FRANCINI, G., KOTZE, D.J., LIU, X., ROMANTSCHUK, M., STRÖMMER, R. y SETÄLÄ, H., 2017. Soil microbial communities are shaped by vegetation type and park age in cities under cold climate. *Environmental Microbiology* [en línea], vol. 19, no. 3, pp. 1281-1295. ISSN 14622920. DOI 10.1111/1462-2920.13660. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13660>.
- IVASHCHENKO, K., ANANYEVA, N., VASENEV, V., SUSHKO, S., SELEZNYOVA, A. y KUDEYAROV, V., 2019. Microbial C-availability and organic matter decomposition in urban soils of megapolis depend on functional zoning. *Soil and Environment* [en línea], vol. 38, no. 1, pp. 31-41. ISSN 20751141. DOI 10.25252/SE/19/61524. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Kristina-Ivashchenko/publication/333468767\\_Microbial\\_C-availability\\_and\\_organic\\_matter\\_decomposition\\_in\\_urban\\_soils\\_of\\_megapolis\\_depend\\_on\\_functional\\_zoning/links/5cefeeeda6fdcc8475f79f48/Microbial-C-availability-and-o](https://www.researchgate.net/profile/Kristina-Ivashchenko/publication/333468767_Microbial_C-availability_and_organic_matter_decomposition_in_urban_soils_of_megapolis_depend_on_functional_zoning/links/5cefeeeda6fdcc8475f79f48/Microbial-C-availability-and-o).
- JOIMEL, S., SCHWARTZ, C., HEDDE, M., KIYOTA, S., KROGH, P.H., NAHMANI, J., PÉRÈS, G., VERGNES, A. y CORTET, J., 2017. Urban and industrial land uses have a higher soil biological quality than expected from physicochemical quality. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 584-585, pp. 614-621. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.01.086. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.086>.

- JOIMEL, S., SCHWARTZ, C., MAUREL, N., MAGNUS, B., MACHON, N., BEL, J. y CORTET, J., 2019. Contrasting homogenization patterns of plant and collembolan communities in urban vegetable gardens. *Urban Ecosystems* [en línea], vol. 22, no. 3, pp. 553-566. ISSN 15731642. DOI 10.1007/s11252-019-00843-z. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00843-z>.
- KERR, J.G., 2017. Multiple land use activities drive riverine salinization in a large, semi-arid river basin in western Canada. *Limnology and Oceanography* [en línea], vol. 62, no. 4, pp. 1331-1345. ISSN 19395590. DOI 10.1002/lno.10498. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/lno.10498>.
- KIM, B.F., POULSEN, M.N., MARGULIES, J.D., DIX, K.L., PALMER, A.M. y NACHMAN, K.E., 2014. Urban community gardeners' knowledge and perceptions of soil contaminant risks. *PLoS ONE* [en línea], vol. 9, no. 2, pp. 1-9. ISSN 19326203. DOI 10.1371/journal.pone.0087913. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087913>.
- LI, G., SUN, G.X., REN, Y., LUO, X.S. y ZHU, Y.G., 2018. Urban soil and human health: a review. *European Journal of Soil Science* [en línea], vol. 69, no. 1, pp. 196-215. ISSN 13652389. DOI 10.1111/ejss.12518. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/ejss.12518>.
- LINARES-ESPINÓS, E., HERNÁNDEZ, V., DOMÍNGUEZ-ESCRIG, J.L., FERNÁNDEZ-PELLO, S., HEVIA, V., MAYOR, J., PADILLA-FERNÁNDEZ, B. y RIBAL, M.J., 2018. Methodology of a systematic review. *Actas Urológicas Españolas* [en línea], vol. 42, no. 8, pp. 499-506. ISSN 02104806. DOI 10.1016/j.acuro.2018.01.010. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.acuroe.2018.07.002>.
- LIVESLEY, S.J., DOUGHERTY, B.J., SMITH, A.J., NAVAUD, D., WYLIE, L.J. y ARNDT, S.K., 2010. Soil-atmosphere exchange of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in urban garden systems: Impact of irrigation, fertiliser and mulch. *Urban Ecosystems* [en línea], vol. 13, no. 3, pp. 273-293. ISSN 10838155. DOI 10.1007/s11252-009-0119-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11252-009-0119-6>.

- LIVESLEY, S.J., OSSOLA, A., THRELFALL, C.G., HAHS, A.K. y WILLIAMS, N.S.G., 2016. Soil Carbon and Carbon/Nitrogen Ratio Change under Tree Canopy, Tall Grass, and Turf Grass Areas of Urban Green Space. *Journal of Environmental Quality* [en línea], vol. 45, no. 1, pp. 215-223. ISSN 15372537. DOI 10.2134/jeq2015.03.0121. Disponible en: <https://doi.org/10.2134/jeq2015.03.0121>.
- LV, H., WANG, W., HE, X., XIAO, L., ZHOU, W. y ZHANG, B., 2016. Quantifying tree and soil carbon stocks in a temperate urban forest in northeast China. *Forests* [en línea], vol. 7, no. 9, pp. 1-18. ISSN 19994907. DOI 10.3390/f7090200. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/f7090200>.
- MCGRANE, S.J., 2016. Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review. *Hydrological Sciences Journal* [en línea], vol. 61, no. 13, pp. 2295-2311. ISSN 21503435. DOI 10.1080/02626667.2015.1128084. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1128084>.
- MCPHEARSON, T., Andersson, E., Elmqvist, T. y Frantzeskaki, N., 2015. Resilience of and through urban ecosystem services. *Ecosystem Services* [en línea], vol. 12, pp. 152-156. ISSN 22120416. DOI 10.1016/j.ecoser.2014.07.012. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.07.012>.
- MÍGUEZ, F., GÓMEZ-SAGASTI, M.T., HERNÁNDEZ, A., ARTETXE, U., BLANCO, F., CASTAÑEDA, J.H., LOZANO, J.V., GARBISU, C. y BECERRIL, J.M., 2020. In situ phytomanagement with Brassica napus and bio-stabilised municipal solid wastes is a suitable strategy for redevelopment of vacant urban land. *Urban Forestry and Urban Greening* [en línea], vol. 47. ISSN 16108167. DOI 10.1016/j.ufug.2019.126550. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126550>.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis* [en línea]. New York: Island Press. ISBN 1597260401. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjyLKPsl73AhVHspUCHQAOC9wQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.millenniumassessment.org%2Fdocuments%2Fdocument.356.aspx.pdf&usg=AOvVaw1jWSsRZCkeif5RvouFs7fz>.



- MINASNY, B. y MCBRATNEY, A.B., 2018. Limited effect of organic matter on soil available water capacity. *European Journal of Soil Science* [en línea], vol. 69, no. 1, pp. 39-47. ISSN 13652389. DOI 10.1111/ejss.12475. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/ejss.12475>.
- MOREL, J.L., CHENU, C. y LORENZ, K., 2015. Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs). *Journal of Soils and Sediments* [en línea], vol. 15, no. 8, pp. 1659-1666. ISSN 16147480. DOI 10.1007/s11368-014-0926-0. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11368-014-0926-0>.
- O'DONNELL, E.C. y THORNE, C.R., 2020. Drivers of future urban flood risk. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* [en línea], vol. 378, no. 2168. ISSN 1364503X. DOI 10.1098/rsta.2019.0216. Disponible en: <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0216>.
- OLDFIELD, E.E., FELSON, A.J., WOOD, S.A., HALLETT, R.A., STRICKLAND, M.S. y BRADFORD, M.A., 2014. Positive effects of afforestation efforts on the health of urban soils. *Forest Ecology and Management* [en línea], vol. 313, pp. 266-273. ISSN 03781127. DOI 10.1016/j.foreco.2013.11.027. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.11.027>.
- PAGE-DUMROESE, D.S., 2020. *Forest and Rangeland Soils of the United States Under Changing Conditions* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9783030452155. Disponible en: [https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/41757/2020\\_Book\\_ForestAndRangelandSoilsOfTheUn.pdf?sequence=1#page=145](https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/41757/2020_Book_ForestAndRangelandSoilsOfTheUn.pdf?sequence=1#page=145).
- PHILLIPS, T.H., BAKER, M.E., LAUTAR, K., YESILONIS, I. y PAVAO-ZUCKERMAN, M.A., 2019. The capacity of urban forest patches to infiltrate stormwater is influenced by soil physical properties and soil moisture. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 246, no. May, pp. 11-18. ISSN 10958630. DOI 10.1016/j.jenvman.2019.05.127. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.127>.

- PIERO, M., ANGELO, B., ANTONELLO, B., AMEDEO, D., CARLO, D.M., MICHELA, I., GIULIANO, L., FLORINDO, M.A., PAOLO, P., SIMONA, V. y FABIO, T., 2017. Soil Sealing: Quantifying Impacts on Soil Functions by a Geospatial Decision Support System. *Land Degradation and Development* [en línea], vol. 28, no. 8, pp. 2513-2526. ISSN 1099145X. DOI 10.1002/ldr.2802. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ldr.2802>.
- PIERRE, S., GROFFMAN, P.M., KILLILEA, M.E. y OLDFIELD, E.E., 2016. Soil microbial nitrogen cycling and nitrous oxide emissions from urban afforestation in the New York City Afforestation Project. *Urban Forestry and Urban Greening* [en línea], vol. 15, pp. 149-154. ISSN 16108167. DOI 10.1016/j.ufug.2015.11.006. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2015.11.006>.
- PRICE, S.J., TERRINGTON, R.L., BUSBY, J., BRICKER, S. y BERRY, T., 2018. 3D ground-use optimisation for sustainable urban development planning: A case-study from Earls Court, London, UK. *Tunnelling and Underground Space Technology* [en línea], vol. 81, no. January, pp. 144-164. ISSN 08867798. DOI 10.1016/j.tust.2018.06.025. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.06.025>.
- RAMIREZ, K.S., LEFF, J.W., BARBERÁN, A., BATES, S.T., BETLEY, J., CROWTHER, T.W., KELLY, E.F., OLDFIELD, E.E., ASHLEY SHAW, E., STEENBOCK, C., BRADFORD, M.A., WALL, D.H. y FIERER, N., 2014. Biogeographic patterns in below-ground diversity in New York City's Central Park are similar to those observed globally. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* [en línea], vol. 281, no. 1795. ISSN 14712954. DOI 10.1098/rspb.2014.1988. Disponible en: <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1988>.
- REVELLI, R. y PORPORATO, A., 2018. Correction to: Ecohydrological model for the quantification of ecosystem services provided by urban street trees. *Urban Ecosystems* [en línea], vol. 21, no. 5, pp. 1019. ISSN 15731642. DOI 10.1007/s11252-018-0785-3. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11252-018-0741-2>.

- RHEA, L., SHUSTER, W., SHAFFER, J. y LOSCO, R., 2014. Data proxies for assessment of urban soil suitability to support green infrastructure. *Journal of Soil and Water Conservation* [en línea], vol. 69, no. 3, pp. 254-265. ISSN 00224561. DOI 10.2489/jswc.69.3.254. Disponible en: <https://doi.org/10.2489/jswc.69.3.254>.
- ROSSITER, D.G., 2007. Classification of urban and industrial soils in the World Reference Base for Soil Resources. *Journal of Soils and Sediments* [en línea], vol. 7, no. 2, pp. 96-100. ISSN 14390108. DOI 10.1065/jss2007.02.208. Disponible en: <https://doi.org/10.1065/jss2007.02.208>.
- SCHIFMAN, L.A. y SHUSTER, W.D., 2019. Comparison of Measured and Simulated Urban Soil Hydrologic Properties. *Journal of Hydrologic Engineering* [en línea], vol. 24, no. 1, pp. 04018056. ISSN 1084-0699. DOI 10.1061/(asce)he.1943-5584.0001684. Disponible en: <https://ascelibrary.org/doi/epdf/10.1061/%28ASCE%29HE.1943-5584.0001684>.
- SCHINDELBECK, R.R., VAN ES, H.M., ABAWI, G.S., WOLFE, D.W., WHITLOW, T.L., GUGINO, B.K., IDOWU, O.J. y MOEBIUS-CLUNE, B.N., 2008. Comprehensive assessment of soil quality for landscape and urban management. *Landscape and Urban Planning* [en línea], vol. 88, no. 2-4, pp. 73-80. ISSN 01692046. DOI 10.1016/j.landurbplan.2008.08.006. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.08.006>.
- SCHWILCH, G., BERNET, L., FLESKENS, L., GIANNAKIS, E., LEVENTON, J., MARAÑÓN, T., MILLS, J., SHORT, C., STOLTE, J., VAN DELDEN, H. y VERZANDVOORT, S., 2016. Operationalizing ecosystem services for the mitigation of soil threats: A proposed framework. *Ecological Indicators* [en línea], vol. 67, pp. 586-597. ISSN 1470160X. DOI 10.1016/j.ecolind.2016.03.016. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.016>.
- SCOTT, A., CARTER, C., HARDMAN, M., GRAYSON, N. y SLANEY, T., 2018. Mainstreaming ecosystem science in spatial planning practice: Exploiting a hybrid opportunity space. *Land Use Policy* [en línea], vol. 70, no. October 2017, pp. 232-246. ISSN 02648377. DOI 10.1016/j.landusepol.2017.10.002. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.10.002>.

- SETÄLÄ, H.M., FRANCINI, G., ALLEN, J.A., HUI, N., JUMPPONEN, A. y KOTZE, D.J., 2016. Vegetation type and age drive changes in soil properties, nitrogen, and carbon sequestration in urban parks under cold climate. *Frontiers in Ecology and Evolution* [en línea], vol. 4, no. AUG, pp. 1-14. ISSN 2296701X. DOI 10.3389/fevo.2016.00093. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fevo.2016.00093>.
- STELL, E., GUEVARA, M. y VARGAS, R., 2019. Soil swelling potential across Colorado: A digital soil mapping assessment. *Landscape and Urban Planning* [en línea], vol. 190, no. July. ISSN 01692046. DOI 10.1016/j.landurbplan.2019.103599. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103599>.
- TIRPAK, R.A., HATHAWAY, J.M., FRANKLIN, J.A. y KUEHLER, E., 2019. Suspended pavement systems as opportunities for subsurface bioretention. *Ecological Engineering* [en línea], vol. 134, no. January, pp. 39-46. ISSN 09258574. DOI 10.1016/j.ecoleng.2019.05.006. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.05.006>.
- TRESCH, S., FREY, D., BAYON, R.C. Le, MÄDER, P., STEHLE, B., FLIESSBACH, A. y MORETTI, M., 2019. Direct and indirect effects of urban gardening on aboveground and belowground diversity influencing soil multifunctionality. *Scientific Reports* [en línea], vol. 9, no. 1, pp. 1-13. ISSN 20452322. DOI 10.1038/s41598-019-46024-y. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46024-y>.
- TRESCH, S., FREY, D., LE BAYON, R.C., ZANETTA, A., RASCHE, F., FLIESSBACH, A. y MORETTI, M., 2019. Litter decomposition driven by soil fauna, plant diversity and soil management in urban gardens. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 658, pp. 1614-1629. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.12.235. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.235>.
- TRESCH, S., MORETTI, M., LE BAYON, R.C., MÄDER, P., ZANETTA, A., FREY, D. y FLIESSBACH, A., 2018. A gardener's influence on urban soil quality. *Frontiers in Environmental Science* [en línea], vol. 6, no. MAY. ISSN 2296665X. DOI 10.3389/fenvs.2018.00025. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00025>.

- UNITED NATIONS, 2019. *World Urbanization Prospects* [en línea]. S.I.: s.n. ISBN 9789211483192. Disponible en: <file:///C:/Users/rocey/Downloads/WUP2018-Report.pdf>.
- VAN ECK, N.J. y WALTMAN, L., 2010. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics* [en línea], vol. 84, no. 2, pp. 523-538. ISSN 01389130. DOI 10.1007/s11192-009-0146-3. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>.
- VAN ECK, N.J. y WALTMAN, L., 2011. Text mining and visualization using VOSviewer. *Text Mining and Visualization* [en línea], pp. 1-5. DOI 10.48550/arXiv.1109.2058. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1109.2058>.
- VASENEV, V. y KUZUYAKOV, Y., 2018. Urban soils as hot spots of anthropogenic carbon accumulation: Review of stocks, mechanisms and driving factors. *Land Degradation and Development* [en línea], vol. 29, no. 6, pp. 1607-1622. ISSN 1099145X. DOI 10.1002/ldr.2944. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ldr.2944>.
- VASENEV, V.I., VAN OUDENHOVEN, A.P.E., ROMZAYKINA, O.N. y HAJIAGHAEVA, R.A., 2018. The Ecological Functions and Ecosystem Services of Urban and Technogenic Soils: from Theory to Practice (A Review). *Eurasian Soil Science* [en línea], vol. 51, no. 10, pp. 1119-1132. ISSN 10642293. DOI 10.1134/S1064229318100137. Disponible en: <https://doi.org/10.1134/S1064229318100137>.
- VAURAMO, S. y SETÄLÄ, H., 2010. Urban belowground food-web responses to plant community manipulation – Impacts on nutrient dynamics. *Landscape and Urban Planning* [en línea], vol. 97, no. 1, pp. 1-10. ISSN 01692046. DOI 10.1016/j.landurbplan.2010.04.004. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.04.004>.
- WANG, H., CHENG, M., DSOUZA, M., WEISENHORN, P., ZHENG, T. y GILBERT, J.A., 2018. Soil Bacterial Diversity Is Associated with Human Population Density in Urban Greenspaces. *Environmental Science and Technology* [en línea], vol. 52, no. 9, pp. 5115-5124. ISSN 15205851. DOI 10.1021/acs.est.7b06417. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b06417>.

- WANG, M., FABER, J.H., CHEN, W., LI, X. y MARKERT, B., 2015. Effects of land use intensity on the natural attenuation capacity of urban soils in Beijing, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea], vol. 117, pp. 89-95. ISSN 10902414. DOI 10.1016/j.ecoenv.2015.03.018. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.03.018>.
- WASHBOURNE, C.L., RENFORTH, P. y MANNING, D.A.C., 2012. Investigating carbonate formation in urban soils as a method for capture and storage of atmospheric carbon. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 431, pp. 166-175. ISSN 00489697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2012.05.037. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.05.037>.
- WEI, Z.Q., WU, S.H., ZHOU, S.L., LI, J.T. y ZHAO, Q.G., 2014. Soil Organic Carbon Transformation and Related Properties in Urban Soil Under Impervious Surfaces. *Pedosphere* [en línea], vol. 24, no. 1, pp. 56-64. ISSN 10020160. DOI 10.1016/S1002-0160(13)60080-6. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S1002-0160\(13\)60080-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1002-0160(13)60080-6).
- YILMAZ, D., BOUARAFA, S., PEYNEAU, P.E., ANGULO-JARAMILLO, R. y LASSABATERE, L., 2019. Assessment of hydraulic properties of technosols using Beerkan and multiple tension disc infiltration methods. *European Journal of Soil Science* [en línea], vol. 70, no. 5, pp. 1049-1062. ISSN 13652389. DOI 10.1111/ejss.12791. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/ejss.12791>.
- ZHAO, D., LI, F., YANG, Q., WANG, R., SONG, Y. y TAO, Y., 2013. The influence of different types of urban land use on soil microbial biomass and functional diversity in Beijing, China. *Soil Use and Management* [en línea], vol. 29, no. 2, pp. 230-239. ISSN 02660032. DOI 10.1111/sum.12034. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/sum.12034>.
- ZITER, C. y TURNER, M.G., 2018. Current and historical land use influence soil-based ecosystem services in an urban landscape. *Ecological Applications* [en línea], vol. 28, no. 3, pp. 643-654. ISSN 19395582. DOI 10.1002/eap.1689. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/eap.1689>.