

El Papel Vital del Suelo en la Preservación de la Vida Terrestre. Una Breve Mirada Hacia México The Vital Role Of The Soil In The Preservation Of Life On Earth. A Brief Look At Mexico

Armando López-Santos¹ 

¹ Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Carretera Gómez Palacio-Chihuahua km 40. 35230 Bermejillo, Durango, México; (A.LS).

†Autor para correspondencia: alopez@chapingo.urza.edu.mx

RESUMEN

En décadas recientes, se han identificado diversas funciones del suelo integradas en cuatro servicios ecosistémicos: provisión, regulación, soporte y cultural. Países como México no deben ser la excepción en impulsar y promover este reconocimiento. Los objetivos del presente documento son los siguientes: 1) evaluar la situación actual de los recursos edáficos como un asunto de seguridad mundial, fundamentado en los servicios ecosistémicos que proporciona; 2) describir la importancia de la construcción de conocimientos sobre el suelo en relación con la condición humana; y 3) situar la relevancia del suelo como un tema central en la gestión de conocimientos para la resolución de problemas. El presente documento integra información proveniente de fuentes especializadas en el desarrollo de conocimientos en el campo de la Edafología y áreas afines, con el propósito de respaldar ideas clave hacia la valoración hedónica del suelo. La naturaleza holística del suelo, por sí sola, no solo define su importancia y valor en la estabilidad y preservación de la vida terrestre, sino que también justifica la adopción de un enfoque transdisciplinario con la participación, por ejemplo, de biólogos, geólogos, antropólogos, químicos y economistas, entre otros.

Palabras clave: enfoque holístico, edafología, seguridad alimentaria, valoración hedónica.

SUMMARY

In recent decades, various soil functions have been identified that are integrated into four ecosystem services: provision, regulation, support and cultural. Countries like Mexico should not be the exception in promoting and promoting this recognition. The aims of this document are the following: 1) evaluate the current situation of soil resources as a matter of global security, based on the ecosystem services it provides; 2) describe the importance of building knowledge about soil in relation to the human condition; and 3) place the relevance of soil as a central issue in knowledge management for problem solving. This document integrates information from sources specialized in the development of knowledge in the field of Soil Science and related areas, with the purpose of supporting key ideas towards the hedonic valuation of the soil. The holistic nature of soil, alone, not only defines its importance and value in the stability and preservation of terrestrial life, but also justifies the adoption of a transdisciplinary approach with the participation of, for example, biologists, geologists, anthropologists, chemists, and economists, among others.

Index words: holistic approach, soil science, food safety, hedonic assessment.



Cita recomendada:

López-Santos, A. (2024). El Papel Vital del Suelo en la Preservación de la Vida Terrestre. Una Breve Mirada Hacia México. *Terra Latinoamericana*, 42, 1-14. e1866. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1866>

Recibido: 17 de enero de 2024.
Aceptado: 18 de junio de 2024.
Ensayo. Volumen 42.
Julio de 2024.

Editor de Sección:
Dra. Ileana Vera Reyes

Editor Técnico:
Dr. Benjamín Zamudio González
Dr. David Cristóbal Acevedo



Copyright: © 2024 by the authors.
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

INTRODUCCIÓN

Históricamente, la Ciencia del Suelo (CS) estuvo centrada principalmente en la agricultura para la producción de alimentos; sin embargo, en décadas recientes, el descubrimiento de múltiples funciones y conexiones, que el suelo tiene con los límites ambientales ha elevado su importancia a nivel global. En este contexto cobra pleno sentido la afirmación de la FAO (2015): “El suelo es fundamental para la vida en la tierra”.

El suelo, también conocido como edafotopo, constituye una delgada capa que cubre la corteza terrestre. Sus características, atributos y funciones son elementos clave y motivadores del campo semántico que abarca la CS, también denominado Edafología o Pedología; este último término empleado de manera equivalente en Alemania, Francia, Brasil, Argentina, y España entre otros. A pesar de algunas variaciones terminológicas, como “pedión” que significa “agregado”, la unidad básica de estudio (suelo) es uno de los componentes más cruciales de los ecosistemas (Calzolari, 2013; Porta, López y Poch, 2014; McBratney y Hartemink, 2024).

El pensamiento (teoría) y la acción (práctica) enfocados en el suelo son tan antiguos como la humanidad misma, derivados de la gran dependencia que ha existido desde entonces para satisfacer la necesidad de alimentar poblaciones en constante crecimiento en todo el mundo (Yaalon, 1999; Gong, Zhang, Chen y Zhang, 2003; Krasilnikov *et al.*, 2013; Mizuta, Grunwald, Cropper Jr, W., y Bacon, 2021; ElRamady *et al.*, 2022). En 1800 la población mundial alcanzó mil millones de habitantes, y en la actualidad es ocho veces mayor (Ritchie *et al.*, 2023). Al respecto, dos ejemplos emblemáticos:

1) En Estados Unidos, en seis décadas (1940-2000) su población se duplicó al pasar de 100 a 208 millones de habitantes lo cual se da en parte gracias a los avances en la agricultura, especialmente los relacionados con los aperos de labranza (Lal, Reicosky y Hanson, 2007).

2) En México, en tres décadas (1940-1970) durante el periodo conocido como “El Milagro Mexicano” la población crece 1.4 veces al pasar de 19.6 a 48.2 millones (Cabrera y Lezama, 2008); periodo en el que hubo un fuerte impulso industrial y una reconfiguración urbano-rural (Alix-García and Sellars, 2020), generando una gran demanda de alimentos para sostener poblaciones urbanas en constante crecimiento (Ortiz-García *et al.*, 2022).

Brevik *et al.* (2015) destacan que el estudio holístico del suelo requiere un enfoque multidisciplinario. Aunque la CS originalmente se compone de seis disciplinas básicas (Física de Suelos, Química de Suelos, Biología de Suelos, Fertilidad de Suelos, Génesis y Clasificación de Suelos, y Conservación de Suelos, según (Ortiz y Ortiz, 1990)), dadas las interacciones del recurso suelo con otros elementos de la naturaleza como el agua, las plantas y la atmósfera, éstas se han revaluado de modo tal se coloca en un enfoque transdisciplinar dadas las conexiones con diversas áreas del conocimiento (Bouma, 2019a).

Los conocimientos de la CS y las Ciencias Sociales fortalecen disciplinas como la Antropología, Etnoedafología o Etnopedología (Wadoux y McBratney, 2003; Brevik *et al.*, 2015). Además, la interacción con disciplinas como la Geografía, Geodesia y Geomática ha impulsado el uso y desarrollo del Mapeo digital de suelos (McBratney, Santos y Minasny, 2003). La colaboración con la Geoquímica y Ecología ha propiciado el desarrollo significativo en áreas como la Contaminación de suelos (Ettler, 2016), así como en la remediación de suelos y la legislación (McGinley *et al.*, 2023), entre otros aspectos.

Los objetivos del presente ensayo son: 1) valorar la situación actual de los recursos edáficos como un asunto de seguridad mundial con base en los servicios ecosistémicos que brinda; 2) describir la importancia en la construcción de conocimientos del suelo asociado a una condición humana; y 3) Ubicar la importancia del suelo como un tema de gestión de conocimientos para la solución de problemas.

DESARROLLO

Situación Actual de los Recursos Edáficos como un Asunto de Seguridad Mundial

Dados los antecedentes ampliamente documentados a finales del siglo XX (Sims, 1997; Nkonya *et al.*, 2011; Quillérrou y Thomas, 2012) sobre la situación crítica de los recursos edáficos, desde hace poco más de una década el tema se coloca en la agenda global, teniendo como antecedente la iniciativa carbón en el suelo, lo cual implica, entre otras cosas el impulso de prácticas encaminadas a recuperar y detener la degradación de los suelos (Koch, McBratney y Lal, 2012). Posterior a ello, surge el concepto de ‘Seguridad del Suelo’ (SS) que Koch *et al.* (2013) lo definen como:

“Mantenimiento y mejora de los recursos del suelo del mundo para que puedan seguir proporcionando alimentos, fibra y agua dulce, hacer contribuciones importantes a la sostenibilidad energética y climática, y ayudar a mantener la biodiversidad y la protección general de los bienes y servicios de los ecosistemas”.

El argumento central que sostiene esta idea sobre SS, en pocas palabras se basa en la necesidad de garantizar salud y funcionalidad del suelo. Posterior a ello, hay un reforzamiento vinculado a los objetivos del desarrollo sostenible (Bouma, 2019b; Lal et al., 2021; Rubio et al., 2024; Mulwafu and Kamchedzera, 2024); además de lo previamente expuesto (sobre el carácter transdisciplinar), las funciones del suelo abordados desde disciplinas propias de la CS, producen múltiples conexiones con otros campos de las ciencias como son: Hidrología, Climatología, Ecología y Agronomía. Bajo este enfoque, el suelo como elemento de la naturaleza se coloca a nivel de la seguridad hídrica y la seguridad alimentaria, que al mismo tiempo se liga con preocupaciones relacionadas con el cambio climático, la restauración territorial, la biodiversidad, y la salud humana (Figura 1).

El concepto SS aplicado a un suelo en particular debe responder a cinco premisas ampliamente discutidas por McBratney, Field, Morgan y Huang (2019), Bouma (2019 a, b), y Evangelista et al., (2023), quienes precisan lo siguiente:

P1. Conectividad. que implica responder a la pregunta, ¿cómo y quién gestiona? En cuyo caso, debe haber una comunicación entre los interesados, el ámbito académico y el político.

P2. Condición. esta se refiere al estado de un suelo en particular en términos de su contribución a los servicios ecosistémicos, y para situaciones de degradación se deben revelar las causas, lo cual lo convierte en un reto fundamental.

P3. Capacidad. que implica dilucidar el o los potenciales posibles del suelo, esto considerando por ejemplo los cuatro servicios ecosistémicos definidos por la FAO (2015): alimentación, clima, agua y cultural.

P4. Capital. esta premisa al combinarse con capacidad y condición, se orienta a establecer la comparación de un suelo en particular con otros suelos en términos de sus contribuciones; por ejemplo, bajo un enfoque agronómico para la producción de alimentos se establece la siguiente (ecuación 1):

$$\text{Capital} = \text{FE} + \text{T} + \text{Rs} + \text{A} + \text{U} + \text{Rt} \quad (1)$$

Donde FE = fertilidad edáfica; T = temperatura; Rs = radiación solar; A = agua; U = ubicación respecto a suministros y mercado de la producción; Rt = relieve y topografía.

P5. Codificación, se asume como el marco legal, social y político, una vez que la condición del suelo y su capacidad se abordan adecuadamente.

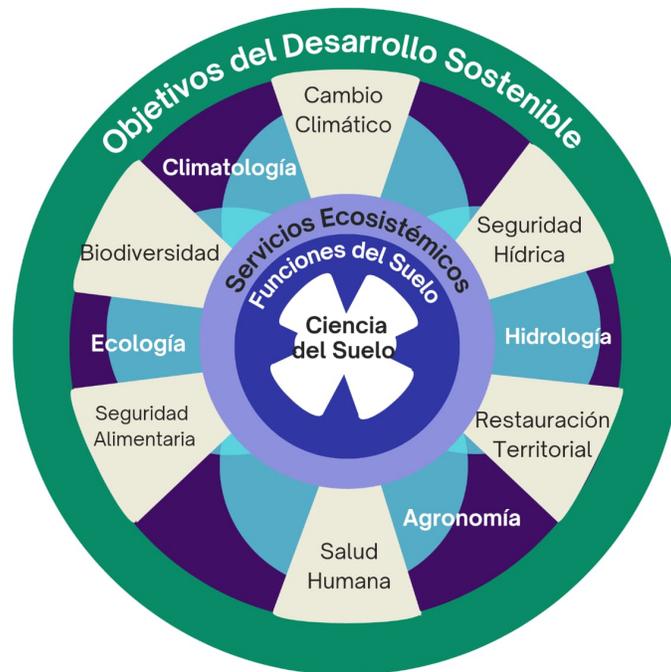


Figura 1. Ilustración de las relaciones entre las funciones del suelo, los servicios ecosistémicos y los Objetivos de Desarrollo Sustentable (Adaptado de Bouma, 2019b).

Figure 1. Illustration of the relationships between soil functions, ecosystem services and the Sustainable Development Goals (Adapted from Bouma, 2019b).

Importancia del Suelo en Cuanto a sus Cualidades de Soporte y Provisión

Soporte y Provisión son dos de los servicios ecosistémicos, quizás mejor documentados, ya que presentan una coincidencia en cuanto a que el primero implica la producción de todos los demás servicios ecosistémicos, y se menciona que sus impactos en las personas a menudo son indirectos, o bien ocurren durante un tiempo muy largo; en tanto que el segundo, tiene que ver con la obtención directa e indirecta de bienes y servicios del ecosistema, por ejemplo, la cosecha de alimentos (FAO, 2015).

El suelo es un componente del territorio, producto de factores naturales y antrópicos; la presencia de este componente ocurre en tiempos y espacios diversos, cuyas propiedades de fertilidad (física, química y biológica) son diferenciadas de un lugar a otro, tanto en términos de extensión (superficie) como en términos su profundidad (perfil); ambas propiedades son modeladas en distintos grados de intensidad y duración, dando lugar a suelos con capacidades particulares en virtud su ocurrencia geográfica (FAO, 2015; Evangelista *et al.*, 2023).

Desde el origen de la humanidad, la riqueza y prosperidad de los países en primer lugar ha dependido de la fertilidad de sus suelos y acceso al agua, primordialmente para la producción de alimentos; actualmente, se estima que solo el 3% de los alimentos se cultivan en medios distintos al suelo (ElRamady *et al.*, 2022); datos recientes (FAOSTAT, 2023) indican que las tierras agrícolas cubren el 36.5% de la superficie mundial, donde por ejemplo se cultiva maíz, cereal de mayor consumo a nivel global, en una superficie de alrededor de 200 millones de hectáreas.

En México se identifican 26 de los 32 grupos de suelos principales (GSP), en seis de los cuales: Luvisol, Vertisol, Phaeozem, Leptosol, Regosol y Calcisol se basa la producción de alimentos de origen agrícola y ganadero (SEMARNAT, 2022). En los pasados 15 años (2007-2022) el país ha dedicado a la producción de alimentos alrededor de 899 727 km², lo que representa casi el 46% del territorio continental (1.96 millones de km²); por superficie ocupada destaca la ganadería con el 64% en tanto que la agricultura el 36% restante que se distinguen en cinco regiones agroalimentarias (Figura 2).

México dedica un promedio de 22 millones de hectáreas a la producción de alimentos; en la mitad de dicha superficie (10 781 632 ha) en 2022 destacan seis alimentos clave: Maíz grano blanco (62%), Sorgo grano (12%), Maíz grano amarillo (10%), Trigo (9%), Papa (5%), y Frijol (3%) los cuales en conjunto produjeron 35.6 millones de toneladas de estos alimentos (INEGI, 2023). En particular, en 2020 la producción de maíz grano fue de 27.4 millones de toneladas (+0.7% en comparación con 2019), las cuales fueron obtenidas de 7.1 millones de hectáreas cosechadas (+7.0%), por lo que el rendimiento promedio nacional quedó en 3.8 toneladas por hectárea (-5.8%), (SADER, 2023).

Extensión por GSP de México

GSP	km ²	%
Leptosol	537 092	27.4
Regosol	276 387	14.1
Feozem	229 342	11.7
Calcisol	199 939	10.2
Luvisol	180 337	9.2
Vertisol	168 576	8.6
Cambisol	92 129	4.7
Solonchak	35 283	1.8
Arenosol	35 283	1.8
Kastañozem	29 403	1.5
Chernozem	29 403	1.5
Fluvisol	25 482	1.3
Andosol	23 522	1.2
Otros GSP	70 567	3.6
Otros	27 443	1.4

GPS = Grupo de Suelo Principal

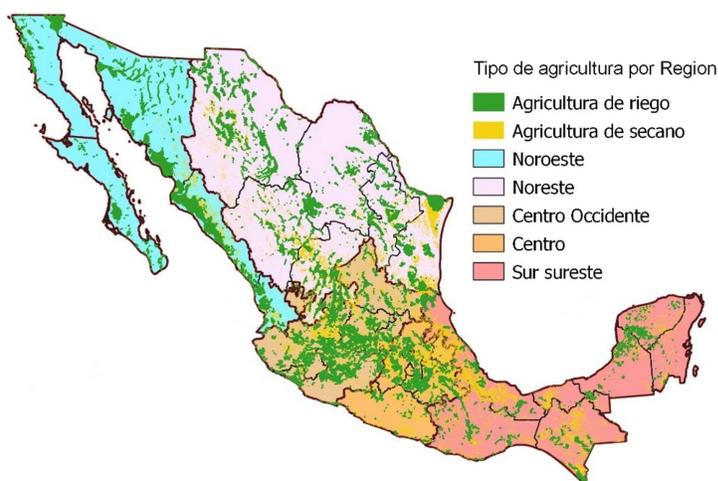


Figura 2. Extensión de los GSP y distribución de la agricultura por Región Agroalimentaria y fuente de agua. (Fuente: INEGI, 2018).

Figure 2. Extension of GSP and distribution of agriculture by Agri-Food Region and water source. (Source: INEGI, 2018).

Importancia del suelo en Cuanto a sus Cualidades de Regulación

El servicio ecosistémico del suelo en cuanto a la regulación tiene que ver con los beneficios obtenidos como consecuencia de la resiliencia (o recuperación) que posee este para la estabilidad ecosistémica, algunos ejemplos: 1) el agua de calidad depende la función de filtrado a través de las distintas capas y composición que conforma el perfil edáfico; 2) en la regulación de emisiones de gases de efecto invernadero CO_2 , N_2O , y CH_4 el suelo puede funcionar como almacén, pero también como fuente de emisión; 3) en el control de la erosión por la retención de suelo en la superficie, entre otros (FAO, 2017).

La constante presión de uso del suelo ya sea directa (vgr. agrícola, ganadero, forestal) e indirecta (vgr. urbano, minero, petrolero), ha provocado su deterioro en distintos grados; la degradación del suelo y recursos afines como el agua, vegetación y fauna se identifica como degradación territorial (DT); se ha documentado (Stavi y Lal, 2015; IPBES, 2018; Feng *et al.*, 2018; Erkossa, Geleti, Williams, Laekemariam y Hailelassie, 2022) que el uso y manejo inapropiado del suelo, desencadena procesos de reducción de la productividad, pérdida de biodiversidad, disminución de las funciones y servicios ecosistémicos que no puede recuperarse por completo sin intervenciones o ayuda dentro de una escala de tiempo determinada.

Evidencias integradas en estudios realizados entre los años 70's y 90's del Siglo XX permitieron identificar y reconocer por su magnitud a nivel global cuatro tipos de DT, y en particular para el recurso suelo como se indica a continuación: 1) erosión hídrica (10.9×10^8 ha); 2) erosión eólica (5.5×10^8 ha); 3) degradación física (2.4×10^8 ha); y 4) degradación química (0.8×10^8 ha), (Gnacadja, 2012).

Uno de los estudios más relevantes en términos del diagnóstico sobre la problemática de la degradación de suelo (DS) fue presentado por Nkonya *et al.*, (2011) bajo el título: Economía de la degradación territorial (The economics of land degradation), estudio que sigue vigente por tratarse de una evaluación de la DS a nivel global; por ejemplo, este estudio fue retomado en el reporte sobre el estado de los recursos del suelo del mundo (Status of the World's Soil Resources) elaborado por el panel técnico intergubernamental sobre suelos (FAO, 2015), organismo del que México forma parte (Espinosa-Victoria, 2014). En dicho estudio (Nkonya *et al.*, 2011) se observa que la principal causa de la DRE inducida por las actividades humanas es la relativa a erosión hídrica y eólica; ambas formas de erosión afectan casi el 84% de un total de 1964 millones de hectáreas por los cuatro tipos de DS; además, las regiones más afectadas corresponden a Asia (38%), África (25.2%), y América Latina (15.6%), (Cuadro 1).

Cuadro 1. Extensión de la degradación de suelos inducida por el hombre (millones ha).

Table 1. Extent of human-induced soil degradation (millions ha).

Tipo de degradación	Mundial	Asia	Asia Occidental	África	América Latina	América del Norte	Australia y Pacífico	Europa	Total
									%
Erosión hídrica	1094	440	84	227	169	60	83	115	55.7
Erosión eólica	548	222	145	187	47	35	16	42	27.9
Agot. nutrientes	135	15	6	45	72	---	1	3	6.87
Salinidad	76	53	47	15	4	---	---	4	3.87
Contaminación	22	2	+	+	+	-	-	19	1.12
Física	79	12	4	18	13	1	2	36	4.02
Otra	10	3	1	2	1	-	1	2	0.51
Total	1964	747	287	494	306	96	103	221	100
% del Total	100	38		25.2	15.6	4.9	5.2	11.3	

Agotamiento de Nutrientes = agotamiento de nutrientes; + = incremento de la degradación con valores inferiores a 1; - = disminución de la degradación con valores inferiores a 1. (Fuente: Nkonya *et al.*, 2011).

Nutrient Depletion = nutrient depletion; + = increase in degradation with values less than 1; - = decrease in degradation with values less than 1. (Source: Nkonya *et al.*, 2011).

En México la DS ha sido evaluada en diversos estudios, tanto a nivel regional (Guevara *et al.*, 2018) como local (Pérez-Rodríguez, López, Velásquez, Villanueva y García, 2021), sin que a la fecha sean considerados como concluyentes (CONAFOR-UACH, 2015); se estima que el promedio de la DS, con una incertidumbre de 10.6%, es de 1.3 millones de km², lo que representa cerca del 70% del territorio nacional (López-Santos, 2016). El costo total por degradación y agotamiento de los recursos naturales para 2020 fue de 4.6% del Producto Interno Bruto (PIB), en tanto que para los suelos el costo estimado fue del 0.7% del PIB (INEGI, 2021).

Construcción de Conocimientos del Suelo Asociado a una Condición Humana

Importancia del Suelo en Cuanto a la Parte Cultural

La importancia del suelo desde el punto de vista cultural se ha establecido (FAO, 2015) de la siguiente forma: "...este recurso genera beneficios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas a través del enriquecimiento espiritual, las experiencias estéticas, la preservación del patrimonio y la recreación".

La CS tiene raíces tan antiguas como la misma humanidad (Gong *et al.*, 2003; Churchman, 2010; Brevik and Hartemink, 2010); la construcción del conocimiento en esta materia se origina con el mismo nacimiento de la agricultura surgida hace más o menos 10 mil años, como una necesidad para el sostenimiento de comunidades humanas sedentarias (Lal *et al.*, 2007; Churchman, 2010; Brevik y Hartemink, 2010).

Es decir, la CS posee un componente evolutivo que acompaña el desarrollo de la humanidad en la comprensión de su entorno (Yaalon, 1999; Gong *et al.*, 2003; Krasilnikov *et al.*, 2013; Mizuta *et al.*, 2021; ElRamady *et al.*, 2022); por ejemplo, ElRamady *et al.* (2022) dicen que el origen de la palabra humano es '*humus*', lo cual significa suelo.

Una ruta inequívoca sobre el progreso de la CS se ubica en la definición su objeto de estudio: el suelo (FAO, 2015; Mizuta *et al.*, 2021; Dazzi y Lo Papa, 2022; McBratney y Hartemink, 2024), cuya complejidad se deriva del descubrimiento paulatino de sus múltiples funciones y los servicios ecosistémicos previamente mencionados (provisión, regulación, soporte, y cultural).

Las evidencias antropológicas reveladas alrededor del mundo sobre la relación suelo/hombre indican que el servicio ecosistémico más relevante desde el nacimiento de las sociedades sedentarias en un naciente estilo de vida urbana es el de provisión, ya que implicó desde entonces la obtención del ecosistema beneficios directos para la gente tales como: alimentos, fibras, agua limpia, refugio, y recursos genéticos, entre otros (Gong *et al.*, 2003; Krasilnikov *et al.*, 2013; FAO, 2015).

El conocimiento del suelo y su relación con otros componentes de la naturaleza tuvo que ser pieza clave para lograr la prosperidad de las antiguas civilizaciones, por ejemplo, como las del oriente medio que surgen en las riberas de los ríos Tigris y Éufrates en Irak, zona que se convirtió en el asiento de las civilizaciones de la mesopotamia; estas si bien nacieron y se desarrollaron a expensas de cuerpos de agua, también fue bajo la dependencia directa de suelos adecuados y fértiles (Churchman, 2010).

Brevik y Hartemink (2010) mencionan que los conocimientos tempranos sobre el suelo y sus propiedades se identifican desde hace 11 mil años con el nacimiento de la agricultura que detona otras artes; uno de los principales inventos que permitió la rápida apertura de áreas de cultivo y posterior desarrollo como actividad agrícola preponderante es el arado (Lal *et al.*, 2007), herramienta que paulatinamente fue mejorada en su desempeño conforme avanzó el dominio del hierro que se da entre 1200 y 587 AC (Bruins, 2012).

En el continente americano, mayas e incas desarrollaron sistemas de terracedo sobre las laderas de montañas mediante el relleno con distintos materiales, donde se incluía suelo fértil traído de otros lugares; esto necesariamente tuvo que estar basado en conocimientos sobre las características de los suelos para edificaciones con diversos usos como vivienda, espacios religiosos, y probablemente de áreas para la recreación (Brevik y Hartemink, 2010).

En México, es reconocido que las culturas antiguas como la Azteca, la Purepecha, la Otomí, y la Maya desarrollaron conocimientos relacionados con sistemas de clasificación de suelos, que en algunos casos se siguen empleando; además, en mesoamérica y el sureste mexicano (actual) mayas y olmecas desarrollaron prácticas de fertilización, irrigación, y drenaje (Krasilnikov *et al.*, 2013; Fedick, Morell y Dussol, 2024; Arias *et al.*, 2024); por ejemplo, para los antiguos mayas de la península de Yucatán, los cenotes formaron parte indisoluble de su cosmovisión; los cenotes son depresiones circulares provocadas por el hundimiento del terreno (suelo y roca) que contienen agua estacional o permanente (Arias, Arcos y Aguilar, 2024).

Importancia del Suelo como un Tema de Gestión de Conocimientos para la Solución de Problemas desde una Escala Local

Como ha quedado de manifiesto en secciones previas, desde hace varias décadas el tema de la degradación territorial (DT) ha cobrado relevancia a nivel global, pues este forma parte de la agenda de organismos internacionales tales como la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD), el Panel Internacional para la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos (IPBES), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), entre otros; por ejemplo, el IPBES (2018) a finales de la pasada década hizo la siguiente declaración:

"...la DT representan un riesgo para el bienestar de no menos de 3200 millones de personas, empujando al planeta hacia una sexta extinción masiva de especies, y con un costo de más del 10 por ciento del producto bruto mundial anual en pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos".

Además, es importante mencionar que en septiembre del 2015 los países miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) acordaron la agenda 2030 denominada Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) basada en 17 Objetivos y 169 acciones; este evento, fue el resultado de consultas públicas, así como de la interacción con organizaciones de la sociedad civil y otras partes interesadas en todo el mundo (ONU, 2015).

Con relación al suelo y recursos naturales asociados, destaca el Objetivo 15 (O15) que se refiere a la protección, restauración y la promoción del desarrollo sustentable de los ecosistemas terrestres, así como el manejo forestal, combate de la desertificación, reversión de la degradación, así como detener la pérdida de la biodiversidad (UN, 2024); los temas sobre el combate a la desertificación y la sequía, definidos en el O15.3, previamente fueron integrados en la agenda internacional desde finales del siglo XX con la creación de la CNULCD (UNCCD, por sus siglas en inglés, organismo del que México forma parte desde su fundación en 1994).

La CNULCD coloca en la agenda internacional el paradigma de la neutralidad en la degradación del territorio (LDN, Land Degradation Neutrality por sus siglas en inglés), cuya idea se define como (UNCCD, 2023):

"...un estado en el que la cantidad y la calidad de los recursos de la tierra necesarios para respaldar las funciones y los servicios de los ecosistemas para mejorar la seguridad alimentaria se mantienen estables o aumentan dentro de escalas y ecosistemas temporales y espaciales específicos."

LDN tiene dos momentos, el reconocimiento del problema y la implementación del paradigma LDN (UNCCD, 2023); es así como los gobiernos miembros ONU, han adoptado programas como el de cambio climático, el cual cuenta con una serie de convenciones donde se destacan las de CBD (Diversidad Biológica), FCCC (Cambio Climático) y WSFS (Agricultura y alimentación), las cuales están íntimamente relacionadas y encaminadas a lograr el desarrollo sostenible de la población mundial, pero con una participación desde lo local (Figura 3).

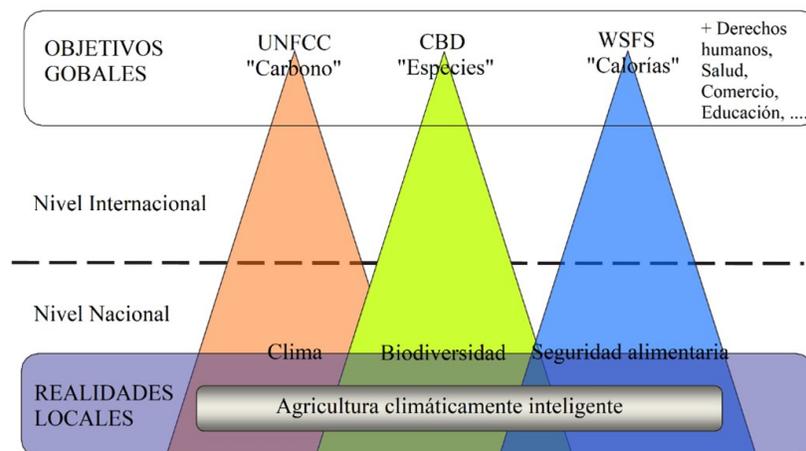


Figura 3. Convergencia de objetivos basados en problemas vinculados a realidades locales (Fuente: Adaptado de Holgren, 2012).

Figure 3. Convergence of objectives based on problems linked to local realities (Source: Adapted from Holgren, 2012).

La CS al tenor de los objetivos LDN definidos por los países miembros de la UNCCD (2023), les dan un carácter transdisciplinar, ya que fueron establecidos como a continuación se indica: 1) mantener o mejorar la prestación sostenible de los servicios ecosistémicos; 2) mantener o mejorar la productividad de la tierra para mejorar la seguridad alimentaria mundial; 3) aumentar la resiliencia de la tierra y de las poblaciones que dependen de ella buscando sinergias con otros objetivos sociales, económicos y ambientales; y 4) reforzar y promover una gobernanza de la tierra responsable e inclusiva.

Por último, es importante mencionar que en el desafío de solución de brechas en el conocimiento en esta materia hay un crecimiento vertiginoso que se verifica desde hace poco más de tres décadas (Pozza y Field, 2020; Borrelli *et al.*, 2021; Yu y Song, 2023); por ejemplo, para los temas de uso del suelo y el secuestro de carbono, Yu y Song (2023) mencionan que el suelo por ser una parte importante de los ecosistemas terrestres, el interés manifiesto en publicaciones científicas presenta un crecimiento exponencial en el transcurso de diez años (2010-2021).

Estos mismos autores (Yu y Song, 2023) hicieron una selección de artículos publicados entre 1985 y 2021, y encontraron que las 25 mejores revistas (RTop25) que convergen con la CS con un total de 4073 artículos publicados son: Ciencias del Ambiente, Bosques, Conservación de la Biodiversidad y Agronomía, donde la mayor parte (19/25) se ubican en el cuantil 1 (Q1), seguidas (5/25) por las de cuantil 2 (Q2); este RTop25 presenta un factor de impacto (FI) promedio de 6.86, con valores mínimo y máximo de 3.29 y 13.11, respectivamente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Las 25 mejores revistas en términos del impacto del cambio de uso territorial y en la captura de carbono del suelo de 1985 a 2021.
Table 2. The 25 best journals in terms of the impact of land use change and soil carbon capture from 1985 to 2021.

Nombre de la revista	Categoría	FI	Quartil	AP
Global Change Biology Biodiversity	Conservation	13.111	Q1	431
Science of The Total Environment	Environmental Sc	10.237	Q1	379
Agriculture Ecosystems & Environment	Agriculture, Multidisciplinary	7.088	Q1	370
Geoderma	Soil Science	7.444	Q1	344
Forest Ecology and Management	Forestry	4.584	Q1	317
Biogeosciences	Ecology	5.157	Q1	256
Catena	Geosciences, Multidisciplinary	6.497	Q1	228
Land Degradation & Development	Environmental Sc	5.205	Q2	196
Soil & Tillage Research	Soil Science	7.829	Q1	191
Environmental Research Letters	Environmental Sc	8.414	Q1	188
Journal of Environmental Management	Environmental Sc	8.549	Q1	179
Sustainability	Environmental Sc	4.089	Q2	150
Forests	Forestry	3.292	Q1	148
Global Biogeochemical Cycles	Environmental Sc	7.067	Q1	145
PLoS ONE	Multidisciplinary Sc	4.069	Q2	140
Soil Science Society of America Journal	Soil Science	3.564	Q3	138
Climatic Change	Environmental Sc	6.058	Q2	136
Soil Biology & Biochemistry	Soil Science	9.956	Q1	135
Ecological Indicators	Environmental Sc	6.643	Q1	133
Global Change Biology Bioenergy	Agronomy	6.293	Q1	129
Journal of Cleaner Production	Engineering, Environmental	11.016	Q1	129
Agricultural and Forest Meteorology	Agronomy	7.021	Q1	124
Land Use Policy	Environmental Studies	6.158	Q1	124
Plant and Soil	Agronomy	5.44	Q1	123
Scientific Reports	Multidisciplinary Sc	5.516	Q2	120
	Suma	164.78		4073
	Promedio	6.86		

AP= artículos publicados; Sc = Sciences; Q3 = cuartil 3.
AP= published articles; Sc = Sciences; Q3 = quartile 3.

Asimismo, es importante mencionar que el estudio del suelo ha motivado la formación de sociedades científicas en todo el mundo; en este sentido la Unión Internacional de Ciencias del Suelo (IUSS) cuenta con 86 sociedades nacionales y regionales, con alrededor de 55 000 científicos en todo el mundo y miembros individuales en alrededor de 57 países; la IUSS sesiona cada tres años en sedes previamente acordadas por su membresía, cuyas contribuciones van más allá de lo estrictamente científico, sino también en lo artístico-cultural donde destaca una melodía (Anexo 1), que fue presentada en la clausura del XVII Congreso de éste organismo en julio del 2006 (IUSS, 2023).

Un ejemplo del grado de integración de intereses a nivel global y regional se ubica en la creación de la Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo, la cual a su vez integra a las sociedades científicas nacionales del continente americano, como es el caso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia de Suelo, S. C., fundada el 19 de octubre de 1962; esta organización gremial nace al calor de las acciones impulsadas por el Dr. Reggie J. Laird Broom, a quien se le reconoce como pionero de la Ciencia del Suelo en México bajo un marco académico creciente en la Universidad Autónoma Chapingo (Espinosa-Victoria, 2017).

En cuanto a la divulgación especializada en esta materia y la formación de recursos humanos destacan dos experiencias emblemáticas:

1) La rama de edafología del Colegio de Posgraduados con antecedentes desde 1946, cuando entonces pertenecía a la Escuela Nacional de Agricultura con un programa de Maestría en Ciencias y Doctorado desde 1971; a partir de 1979 en Montecillo, Estado de México la rama de suelos se transformó en el Centro de Edafología y en 1994 se convierte en el Instituto de Recursos Naturales (Espinosa-Victoria, 2004).

2) La revista Terra Latinoamericana es un medio de divulgación científica de la SMCS creada en la década de los años 80's la cual tuvo como política editorial cuatro ramas a saber: a) Diagnóstico, metodología y evaluación, b) Suelo-clima-biota, c) Aprovechamiento del recurso suelo, y d) Enseñanza y asistencia técnica. Áreas que en la actualidad se han extendido como consecuencia de los avances en el conocimiento en la CS (Castellanos-Ramos y Etchevers, 2022).

Esta gran comunidad es responsable de mantener la existencia de al menos 73 revistas científicas de prestigio internacional como se muestra en el Anexo 2.

CONCLUSIONES

El reconocimiento de las diversas funciones del suelo como servicios ecosistémicos es esencial, y países como México deben sumarse al impulso global de valorar y promover la importancia de este recurso vital. Este ensayo ha destacado la urgencia de considerar los recursos edáficos como un asunto de seguridad mundial, fundamentando esta necesidad en los servicios que el suelo brinda. Asimismo, se ha subrayado la relevancia de construir conocimientos sobre el suelo en el contexto de la condición humana y la importancia de gestionar estos conocimientos para abordar problemas cruciales. La información recopilada de fuentes especializadas en Edafología respalda la necesidad de adoptar una perspectiva hedónica del suelo.

La naturaleza holística del suelo, al definir su importancia en la estabilidad y preservación de la vida terrestre, justifica la aplicación de un enfoque transdisciplinario. La colaboración entre biólogos, geólogos, antropólogos, químicos, economistas y otros expertos es esencial para comprender y abordar los desafíos asociados con el suelo. En este sentido, la integración de conocimientos especializados es clave para desarrollar estrategias efectivas que permitan la gestión sostenible de este recurso crucial para la vida en el planeta. En última instancia, la reflexión sobre la importancia del suelo nos insta a asumir un compromiso colectivo para preservar y proteger este recurso fundamental para las generaciones presentes y futuras.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, investigación y preparación del borrador original: A.L.S. Supervisión, visualización, revisión y edición: A.L.S.

AGRADECIMIENTOS

El origen del presente documento tiene que ver con los trabajos de actualización de los programas de posgrado en Recursos Naturales y Medio Ambiente de Zonas Áridas que ofrece la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de Universidad Autónoma Chapingo; gracias a ello, se estableció el reto de integrar una reflexión sobre el recurso suelo. Además, se agradece el apoyo del Dr. Gabriel de Jesús Peña Uribe en la preparación de la versión final del presente ensayo.

LITERATURA CITADA

- Alix-García, J., & Sellars, E. A. (2020). Locational fundamentals, trade, and the changing urban landscape of Mexico. *Journal of Urban Economics*, 116, 103213. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2019.103213>
- Arias, E. M. M., Arcos, L. A., & Aguilar, M. L. H. (2024). Servicios ecosistémicos culturales de los cenotes del municipio de Tulum, Quintana Roo: usos, beneficios y amenazas. *Investigaciones Geográficas*, 113, 1-20. <https://doi.org/10.14350/rig.60807>
- Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J. A. A., Baartman, J., Ballabio, C., ... & Panagos, P. (2021). Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. *Science of the Total Environment*, 780, 146494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146494>
- Bouma, J. (2019a) How the soil security concept can pave the way to realizing some soil related UN-SDG's. In A. Richer-de-Forges, F. Carré, A. B. McBratney, & J. Bouma (Eds.). *Dominique Arrouays Global Soil Security* (pp. 3-20). London, United Kingdom: Taylor & Francis Group. ISBN 978-1-138-09305-8
- Bouma, J. (2019b). Soil security in sustainable development. *Soil Systems*, 3(1), 5. <https://doi.org/10.3390/soilsystems3010005>
- Brevik, E. C., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J. N., Six, J., & Van Oost, K. (2015). The interdisciplinary nature of SOIL. *Soil*, 1(1), 117-129. <https://doi.org/10.5194/soil-1-117-2015>
- Brevik, E. C., & Hartemink, A. E. (2010). Early soil knowledge and the birth and development of soil science. *Catena*, 83(1), 23-33. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.06.011>
- Bruins, H. J. (2012). Ancient desert agriculture in the Negev and climate-zone boundary changes during average, wet and drought years. *Journal of Arid Environments*, 86, 28-42. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.01.015>
- Cabrera, G., & Lezama, J. L. (2008). La expansión demográfica en México (1930-1970). In J. M. Espinosa (Ed.). *Revista Diálogos: Antología* (pp. 403-413). México: El Colegio de México. <https://doi.org/10.2307/j.ctv6mtcf8.84>
- Calzolari, C. (2013). Research in pedology: A historical perspective. In E. A. C. Costantini, & C. D. Dazzi, (Ed.). *The Soils of Italy* (pp. 1-17). The Netherlands: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5642-7_1
- Castellanos-Ramos, J. Z., & Etchevers-Barra, J. D. (2022). TERRA Latinoamericana, medio siglo de historia. *Terra Latinoamericana*, 40(1-5), 1-5. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1624>
- Churchman, G. J. (2010). The philosophical status of soil science. *Geoderma*, 157(3-4), 214-221. <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.04.018>
- CONAFOR-UACH (Comisión Nacional Forestal - Universidad Autónoma Chapingo). (2015) Línea base nacional de degradación de tierras y desertificación. Informe final. Consultado 15 de abril, 2023 desde <http://www.gob.mx/semarnat/documentos/linea-base-nacional-degradacion-de-tierras-y-desertificacion-parte-1>
- Dazzi, C., & Lo Papa, G. (2022). A new definition of soil to promote soil awareness, sustainability, security and governance. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(1), 99-108. <http://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.07.001>
- Elramady, H., Brevik, E. C., Elsakhawy, T., Omara, A. E. D., Amer, M. M., Abowaly, M., ... & Prokisch, J. (2022). Soil and Humans: A Comparative and A Pictorial Mini-Review. *Egyptian Journal of Soil Science*, 62(2), 101-122. <http://doi.org/10.21608/EJSS.2022.144794.1508>
- Erkossa, T., Geleti, D., Williams, T. O., Laekemariam, F., & Haileslassie, A. (2022). Restoration of grazing land to increase biomass production and improve soil properties in the Blue Nile basin: effects of infiltration trenches and Chloris Gayana reseeding. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 37(1), 64-72. <https://doi.org/10.1017/S1742170519000425>
- Espinosa-Victoria, D. (2017). Dr. Reggie J. Laird Broom: pionero de la ciencia del suelo en México. *Terra Latinoamericana*, 35(1), 1-6.
- Espinosa-Victoria, D. (2014). El Panel Técnico Intergubernamental de Suelos y la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, AC. *Terra Latinoamericana*, 32(4), 339-346.
- Espinosa-Victoria, D. (2004). Cuarenta y cinco años de la Ciencia del Suelo en el Colegio de Postgraduados-México. *Terra Latinoamericana*, 22(4), 523-531.
- Ettler, V. (2016). Soil contamination near non-ferrous metal smelters: A review. *Applied geochemistry*, 64, 56-74. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.09.020>

- Evangelista, S. J., Field, D. J., McBratney, A. B., Minasny, B., Ng, W., Padarian, J., ... & Wadoux, A. M. C. (2023). A proposal for the assessment of soil security: Soil functions, soil services and threats to soil. *Soil Security*, 10, 100086. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2023.100086>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2017). *Soil Organic Carbon: the hidden potential*. Rome, Italy: FAO. Consultado 15 de abril, 2023 desde <https://www.fao.org/3/i6937EN/i6937en.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2015). *Status of the World's Soil Resources (SWRS) - Main Report*. Rome, Italy: FAO. Consultado 11 de noviembre, 2023, desde <https://www.fao.org/3/bc589e/bc589e.pdf>
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database). (2023). Uso de la tierra. Metadatos. Consultado 12 de abril, 2023, desde <https://www.fao.org/faostat/es/#data/RL/metadata>
- Fedick, S. L., Morell-Hart, S., & Dussol, L. (2024). Agriculture in the ancient Maya Lowlands (Part 2): Landesque capital and long-term resource management strategies. *Journal of Archaeological Research*, 32(1), 103-154. <https://doi.org/10.1007/s10814-023-09185-z>
- Feng, T., Wei, W., Chen, L., Rodrigo-Comino, J., Die, C., Feng, X., ... & Yu, Y. (2018). Assessment of the impact of different vegetation patterns on soil erosion processes on semiarid loess slopes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(9), 1860-1870. <http://doi.org/10.1002/esp.4361>
- Gnacadjia, L. (2012). *Moving to zero-net rate of land degradation. Statement by Executive Secretary. UN convention to combat desertification, Rio de Janeiro*. Consultado 12 de abril, 2023, desde https://catalogue.unccd.int/58_Zero_Net_Land_Degradation.pdf
- Gong, Z., Zhang, X., Chen, J., & Zhang, G. (2003). Origin and development of soil science in ancient China. *Geoderma*, 115(1-2), 3-13. [http://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00071-5](http://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00071-5)
- Guevara, M., Olmedo, G. F., Stell, E., Yigini, Y., Aguilar Duarte, Y., Arellano Hernández, C., ... & Vargas, R. (2018). No silver bullet for digital soil mapping: country-specific soil organic carbon estimates across Latin America. *Soil*, 4(3), 173-193. <http://doi.org/10.5194/soil-4-173-2018>
- Holgren, P. (2012). Agriculture and climate change—overview. In A. Meybeck, J. Lankoski, S. Redfern, N. Azzu, & V. Gitz (Eds.). *Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector* (pp. 15-19). Rome, Italy: ISBN 978-92-5-107373-5.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2021). Comunicado de prensa núm. 705/21 del 02 de diciembre de 2021. Cuentas económicas y ecológicas de México 2021. Consultado el 15 de noviembre, 2023, desde <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/ee/CtasEcmcasEco2020.pdf>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2018). Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000, serie VII (Conjunto Nacional). Consultado el 15 de noviembre, 2023, desde <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/#descargas>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2023). Resultados definitivos del censo agropecuario 2022. Consultado el 11 de junio, 2024, desde <https://www.inegi.org.mx/programas/ca/2022/>
- IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). (2018). The IPBES assessment report on land degradation and restoration. Consultado 10 de noviembre, 2023, desde <https://www.ipbes.net/assessment-reports/ldr>
- IUSS (International Union of Soil Sciences). (2023). IUSS Soil Song. Consultado 10 de noviembre, 2023, desde <https://www.iuss.org/about-the-iuss/iuss-soil-song/>
- Koch, A., McBratney, A., & Lal, R. (2012). Global soil week: Put soil security on the global agenda. *Nature*, 492(7428), 186. <https://doi.org/10.1038/492186d>
- Koch, A., McBratney, A., Adams, M., Field, D., Hill, R., Crawford, J., ... & Zimmermann, M. (2013). Soil security: solving the global soil crisis. *Global Policy*, 4(4), 434-441. <https://doi.org/10.1111/1758-5899.12096>
- Krasilnikov, P., Gutiérrez-Castorena, M., Ahrens, R. J., Cruz-Gaistardo, C. O., Sedov, S., & Solleiro-Rebolledo, E. (2013). *The soils of Mexico*. Berlin, Germany: Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5660-1>
- Lal, R., Reicosky, D. C., & Hanson, J. D. (2007). Evolution of the plow over 10 000 years and the rationale for no-till farming. *Soil and tillage research*, 93(1), 1-12. <http://doi.org/10.1016/j.still.2006.11.004>
- Lal, R., Bouma, J., Brevik, E., Dawson, L., Field, D. J., Glaser, B., ... & Zhang, J. (2021). Soils and sustainable development goals of the United Nations: An International Union of Soil Sciences perspective. *Geoderma Regional*, 25, e00398. <http://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00398>
- López-Santos, A. (2016). Neutralizar la degradación de las tierras, una aspiración global. ¿Es posible lograrlo en México? *Terra Latinoamericana*, 34, 239-249.
- McBratney, A. B., Santos, M. M., & Minasny, B. (2003). On digital soil mapping. *Geoderma*, 117(1-2), 3-52. [http://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](http://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4)
- McBratney, A. B., Field, D., Morgan, C. L., & Huang, J. (2019). On soil capability, capacity, and condition. *Sustainability*, 11(12), 3350. <https://doi.org/10.3390/su11123350>
- McBratney, A. B., & Hartemink, A. E. (2024) Define soil. *Soil Security*, 14, 100135 <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2024.100135>
- McGinley, J., Healy, M. G., Ryan, P. C., O'Driscoll, J. H., Mellander, P. E., Morrison, L., & Siggins, A. (2023). Impact of historical legacy pesticides on achieving legislative goals in Europe. *Science of the Total Environment*, 873, 162312. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162312>
- Mizuta, K., Grunwald, S., Cropper Jr, W. P., & Bacon, A. R. (2021). Developmental history of soil concepts from a scientific perspective. *Applied Sciences*, 11(9), 4275. <http://doi.org/10.3390/app11094275>
- Mulwafu, T., & Kamchedzera, G. (2024). Land degradation neutrality and the weak avoid, reduce and reverse priorities in Malawi's soil laws. *Soil Security*, 14, 100134. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2024.100134>
- Nkonya, E., Gerber, N., Baumgartner, P., von Braun, J., De Pinto, A., Graw, V., ... & Walter, T. (2011). *The economics of land degradation. Toward an integrated global assessment*. Frankfurt, Germany: Peter Lang Publishing Group.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2015). A/RES/70/1 - Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Consultado el 19 de abril, 2023, desde <http://sdgs.un.org/documents/ares701-transforming-our-world-2030-agen-22298>
- Ortiz-García, S. O., Santillan, V. S., Vivier, V. B., Anglés-Hernández, M., Pérez, M. E., & Prado, B. (2022). Soil governance and sustainable agriculture in Mexico. *Soil Security*, 7, 100059. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2022.100059>
- Ortiz, V.B., & Ortiz, S. C. A. (1990) Edafología. Texcoco, Estado de México, México: Universidad Autónoma Chapingo. ISBN: 968-884-090-4
- Pérez-Rodríguez, G., López-Santos, A., Velásquez-Valle, M. A., Villanueva-Díaz, J., & García-Rodríguez, J. L. (2021). Spatial distribution of soil organic carbon by digital mapping: the case of the Medio Aguanaval river sub-basin. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 13(2), 227-245. <http://dx.doi.org/10.5154/r.inagbi.2021.03.055>
- Porta, J., López-Acevedo, M., & Poch, R. M. (2014). *Edafología, uso y protección del suelo* (3ª ed.). Editorial Mundi-Prensa. ISBN: 978-84-8476-661-2
- Pozza, L. E., & Field, D. J. (2020). The science of soil security and food security. *Soil Security*, 1, 100002. <http://doi.org/10.1016/j.soisec.2020.100002>
- Quillérou, E., & Thomas, R. J. (2012). Costs of land degradation and benefits of land restoration: a review of valuation methods and suggested frameworks for inclusion into policy-making. *CABI Reviews*, 2012, 1-12. <https://doi.org/10.1079/PAVSNR20127060>

- Ritchie, H., Rodés-Guirao, L., Mathieu, E., Gerber, M., Ortiz-Ospina, E., Hasell, J., & Roser, M. (2023). Population Growth. Consultado el 19 de abril, 2023, desde <http://ourworldindata.org/population-growth>
- Rubio, J. L., Reyes-Sánchez, L. B., Duihu, N., Costantini, E. A., Horn, R., & Zlatic, M. (2024). Protecting the soil is protecting the climate WASWAC and IUSS position paper on the inter linkages of soil and climate change. *Soil Security*, 14, 100124. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2023.100124>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2022). Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales, Atlas Geográfico. Consultado el 11 de junio, 2024, desde <https://ideinfoteca.semarnat.gob.mx/esdig/AtlasEntrada/index.html>
- SADER (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural). (2023). Estadísticas de la Producción agrícola y ganadera. Consultado el 15 de abril, 2023, desde <http://www.gob.mx/siap>
- Sims, D. (1997). *Negotiating a sustainable future for land. Structural and Institutional Guidelines for Land Resources Management in the 21st Century*. Rome, Italy: FAO-UNEP
- Stavi, I., & Lal, R. (2015). Achieving zero net land degradation: challenges and opportunities. *Journal of Arid Environments*, 112, 44-51. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.01.016>
- UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification). (2023). Land and life. LDN, overview. Consultado el 20 de abril, 2023, desde <http://www.unccd.int/land-and-life/land-degradation-neutrality/overview>
- UN (United Nations). (2024). Department of Economic and Social Affairs Sustainable Development. Consultado el 25 de mayo, 2024, desde <https://sdgs.un.org/goals/goal15>
- Wadoux, A. M. C., & McBratney, A. B. (2023). Participatory approaches for soil research and management: A literature-based synthesis. *Soil Security*, 10, 100085. <http://doi.org/10.1016/j.soisec.2023.100085>
- Yalon, D. H. (1999). On the importance of international communication in Soil Science. *Eurasian Soil Science*, 32(1), 30-32.
- Yu, H., & Song, W. (2023). Research progress on the impact of land use change on soil carbon sequestration. *Land*, 12(1), 213. <https://doi.org/10.3390/land12010213>

**ANEXO 1. Music: "Boxturtle Bob" Chirside.
ANNEX 1. Lyrics: "Boxturtle Bob" Chirside and Alfred Hartemink.**

Autoría (letra original en alemán)

Versión en español traducida por el autor

Verso I

De los podsoles debajo de la nieve acumulada
A los aridsoles donde viven pocos cultivos.
El suelo es tan variado como el arcoíris.
Y es tan precioso como la olla de oro de un arcoíris.

Coro

Verso II

Algunos suelos están secos, otros están húmedos.
Algunos suelos son fértiles y de ellos se obtienen altos rendimientos.
Pero si no lo haces, dale al suelo.
Entonces no cosecharás nada con todo tu trabajo.

Coro

Verso III

Estudiamos quelatos, lixiviados y porosidad.
Aprendemos nuestra suciedad, turba y mineralogía.
Algunos estudian urbano, otros estudian rural
Y podemos saber sólo por el olor quién está en manural

Coro

Verso IV

Los suelos son como la humanidad.
Con amarillo, marrón, rojo, negro y blanco, verás
Que algunos son aburridos y otros grises
Y podemos ser presa de la avaricia del hombre, esa es nuestra decadencia.

Coro

Verso V

Un mundo vivo bajo nuestros pies
Incluso vive, debajo de nuestras calles.
Con flora y fauna, tan completa.
Que puede salvarnos de los terrenos abandonados de la derrota

Coro (fuera)

**ANEXO 2. Lista de revistas científicas que incluyen el tema de suelo en sus publicaciones.
ANNEX 2. List of scientific journals that include soil in their publications.**

No.	Revista	No.	Revista
1	Access to Global Online Research in Agriculture (AGORA)	38	Ukrainian Soil Science Journal
2	Advances in Agronomy	39	Acta Agriculture Scandinavica Section B, Soil and Plant Science
3	Applied Soil Ecology	40	Aeolian Research
4	Arid Land Research and Management	41	Archives of Agronomy and Soil Science
5	Biology and Fertility of Soils	42	Biogeochemistry
6	Canadian Journal of Soil Science	43	Catena
7	Communications in Soil Science and Plant Analysis	44	Clays and Clay Minerals
8	Environment, Biodiversity & Soil Security (EBSS)	45	Earth Science Reviews
9	Erosion Control	46	Egyptian Journal of Soil Science (EJSS)
10	Geoderma	47	Etude et Gestion des Sols
11	Journal of Environmental Quality	48	Journal of Plant Nutrition and Soil Science (Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde)
12	Journal of Rare Earths	49	Journal of Soil and Water Conservation
13	Journal of Soils and Sediments	50	Eurasian Journal of Soil Science - EJSS
14	European Journal of Soil Biology	51	European Journal of Soil Science
15	Land Degradation & Development	52	Moscow University Soil Science Bulletin
16	Pedobiologia	53	Pedosphere
17	Plant and Soil	54	Revista Brasileira de Ciência do Solo
18	Revista Terra Latinoamericana	55	Rhizosphere
19	Sciences of Soils	56	Soil and Sediment Contamination
20	Soil Biology and Biochemistry	57	Soil Research
21	Soil Science	58	Soil Science and Plant Nutrition
22	Soil Science Society of America Journal	59	Soil Survey Horizons
23	Soil Use and Management	60	Soil and Tillage Research
24	Soils and Fertilizers	61	Spanish Journal of Soil Science
25	Water, Air, and Soil Pollution	62	Applied and Environmental Soil Science
26	Open Access Journals	63	Edafologia, Journal of the Spanish Society of Soil Science
27	Air, Soil and Water Research	64	International Journal of Forest, Soil, and Erosion
28	International Agrophysics	65	Journal of Soil Science and Plant Nutrition
29	International Journal of Soil, Sediment and Water	66	Jurnal Tanah Tropika (Journal of Tropical Soils)
30	Journal Ilmu Tanah dan Lingkungan (IPB)	67	Polish Journal of Soil Science
31	PeerJ	68	Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal
32	Plant, Soil and Environment	69	Soil Forming Factors and Processes from the Temperate Zone
33	Soil & Environment	70	Journal of the Indian Society of Soil Science
34	Soil Survey Journal	71	Loess letter online
35	Jurnal Tanah dan Iklim	72	Nigerian Journal of Soil and Environmental Research
36	Malaysian Journal of Soil Science	73	Soil Security
37	AGROCIENCIA, CP-Mexico		

Fuente: <https://www.iuss.org/>
Source: <https://www.iuss.org/>