

CAPÍTULO 4

Degradación y contaminación del suelo

Objetivos del capítulo

En este capítulo se aborda la relevancia del suelo como un componente esencial del ecosistema terrestre, destacando su importancia en diversas funciones ecológicas, económicas y sociales. Se inicia con una introducción a la edafología, ciencia que estudia el suelo, subrayando la complejidad de su estructura, composición y las interacciones dinámicas con los seres vivos y el ambiente. En el texto se hace especial énfasis en el papel que desarrolla el suelo en la producción de alimentos, la regulación del ciclo del agua, la filtración de contaminantes y su contribución a la biodiversidad.

A continuación, se profundiza en las múltiples funciones del suelo, desde su capacidad para sustentar la vida vegetal hasta su papel en el ciclo de nutrientes y como filtro natural para la purificación del agua. La introducción también alerta sobre las crecientes amenazas para la salud y la integridad del suelo, incluyendo la erosión, la contaminación por productos químicos, la pérdida de materia orgánica o la desertificación.

Finalmente, se establece el propósito del capítulo, que no es otro que sensibilizar sobre la importancia de preservar la calidad del suelo y promover prácticas sostenibles para su manejo. Se pretende dotar al lector de los conocimientos necesarios para comprender los desafíos asociados con la contaminación del suelo y las estrategias para mitigar sus efectos adversos, enfatizando en la necesidad de una acción colectiva y responsable para proteger este recurso vital.

1. El suelo

La ciencia que se dedica al estudio del suelo es la *edafología*, que derivada del término griego *edaфos*, que significa *suelo*, y *logía*, que se traduce como *estudio* o *tratado*. Es una disciplina científica dedicada al análisis de la estructura y composición del suelo, examinando cómo este interactúa con las plantas y el ambiente circundante. Esta ciencia se ramifica en áreas teóricas y prácticas que se entrelazan principalmente con aspectos de la física, la química y la biología del suelo.

La palabra *suelo* es un término muy amplio que se utiliza de muchas maneras, por ello tiene un gran número de definiciones, y cada una de ellas será función del ámbito científico de aplicación y el nivel de complejidad que se le quiera dar. Un ingeniero puede considerar los suelos como un material sobre el cual se construye la infraestructura, mientras que un diplomático puede referirse al suelo como el territorio de una nación. La primera definición se debe al ruso Dokucháyev, quien en 1886 sugirió el uso de la palabra *suelo* como término científico para describir las capas terrestres que experimentan cambios casi diarios en sus relaciones debido a la influencia combinada del agua, el aire y los organismos vivos y muertos.

De una forma sencilla, podemos definir el *suelo* como la fina capa superior de la corteza terrestre, que se ha formado a lo largo de grandes períodos de tiempo debido a la interacción gradual de procesos geológicos, climáticos y biológicos, y está compuesta por rocas desintegradas y materia orgánica en diferentes estados de descomposición. Es el medio natural donde crecen las plantas y donde se desarrollan una amplia diversidad de organismos, y, junto con la atmósfera y el agua, sustenta la vitalidad de la biosfera y la existencia humana.

La junta de la revista *Soil Science Society of America Journal* aprobó en 2017 la siguiente definición:

«La capa o capas de material mineral y/u orgánico, generalmente suelto, que se ve afectado por procesos físicos, químicos y/o biológicos en o cerca de la superficie planetaria y que generalmente contiene líquidos, gases y biota a las plantas».

Las principales funciones de los suelos incluyen:

- Actúan como productores de biomasa en general y como fuente de alimentación para los seres vivos. Proporcionan los nutrientes, el agua y el soporte físico necesarios para el crecimiento vegetal.
- Son un componente esencial del ciclo hidrológico al distribuir las aguas superficiales y contribuir a la recarga de las aguas subterráneas.
- Su capacidad de filtrar, almacenar, degradar, neutralizar e inmovilizar sustancias tóxicas es crucial, ya que impide que estas alcancen las aguas subterráneas y el aire o entren en la cadena alimenticia, protegiendo así la salud de los ecosistemas y de los seres vivos.
- Sirven como hábitat natural biológico para una gran variedad de organismos.
- Son una fuente de materias primas importantes.

- Proporcionan el soporte necesario para el desarrollo de numerosas actividades humanas, desde la agricultura hasta la industria, destacando su papel crucial en la sostenibilidad ambiental y el bienestar humano.

2. Características de los suelos

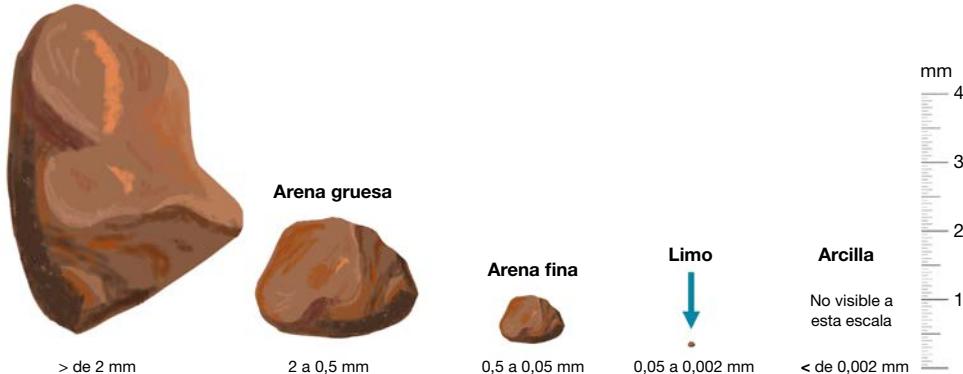
La composición del suelo puede variar significativamente dependiendo, entre otros factores, de la región, el clima, la topografía y la actividad biológica. En términos generales, el suelo se compone de los siguientes componentes principales:

- **Minerales.** Son el componente más abundante del suelo. Derivan de la descomposición física y química de las rocas. Incluyen partículas de diferentes tamaños, como arena (partículas gruesas), limo (partículas finas) y arcilla (partículas muy finas).
- **Materia orgánica.** Está compuesta por restos de plantas y animales en diferentes etapas de descomposición. La materia orgánica mejora la fertilidad del suelo, su capacidad de retener agua, y contribuye a su estructura. Se divide en *humus*, que es materia orgánica completamente descompuesta, y en *materia orgánica fresca* o en descomposición.
- **Agua.** Como se detalló en el capítulo anterior, es el elemento esencial para la vida. En el suelo, disuelve los nutrientes para que estén disponibles para su asimilación por las plantas. La cantidad de agua disponible en el suelo depende de la textura del suelo y de la estructura, así como de la precipitación y de la evaporación.
- **Aire.** Se aloja en los espacios porosos entre las partículas del suelo. También es fundamental para el desarrollo de los organismos que viven en el suelo y para las raíces de las plantas. El contenido de aire varía con la humedad del suelo y su estructura.
- Los organismos vivos incluyen una amplia variedad de microorganismos, como bacterias, hongos, protozoos, además de lombrices de tierra, insectos y otras criaturas más grandes. Estos organismos juegan un papel crucial en el ciclo de nutrientes y en la formación y el mantenimiento de la estructura del suelo.
- Los nutrientes que contiene son los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, incluyendo nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, además de micronutrientes como hierro, manganeso, cobre, zinc y boro, entre otros.

La materia sólida, la cual representa el 50 % de su volumen total, incluye tanto componentes inorgánicos o minerales como orgánicos. Según el tamaño de sus partículas, como se muestra en la figura 1, se clasifican en:

- **Cantos o gravas** (con un diámetro mayor a 2 mm).
- **Arenas** (cuyo diámetro varía entre 0,05 y 2 mm).
- **Limos** (con un diámetro que oscila entre 0,002 y 0,05 mm).
- **Arcillas** (con un diámetro inferior a 0,002 mm).

Figura 1. Comparación de tamaños de las partículas del suelo

Cantos/Gravas

Fuente: elaboración propia.

La distribución de estos componentes no es homogénea y varía de manera no uniforme, modificándose gradualmente a medida que se profundiza. Su estructura está formada por distintas capas, llamadas *horizontes*, que se extienden de manera paralela a la superficie y se diferencian por características como la textura, el color y la estructura. Analizar en detalle estos horizontes, considerando la influencia de varios factores ecológicos, permite reconstruir el historial del suelo. Las propiedades de cada capa reflejan la interacción de procesos bioquímicos y fisicoquímicos que ocurren dentro del suelo.

Como se muestra en la figura 2, estos horizontes del suelo se clasifican típicamente en seis categorías principales (O, A, E, B, C y R):

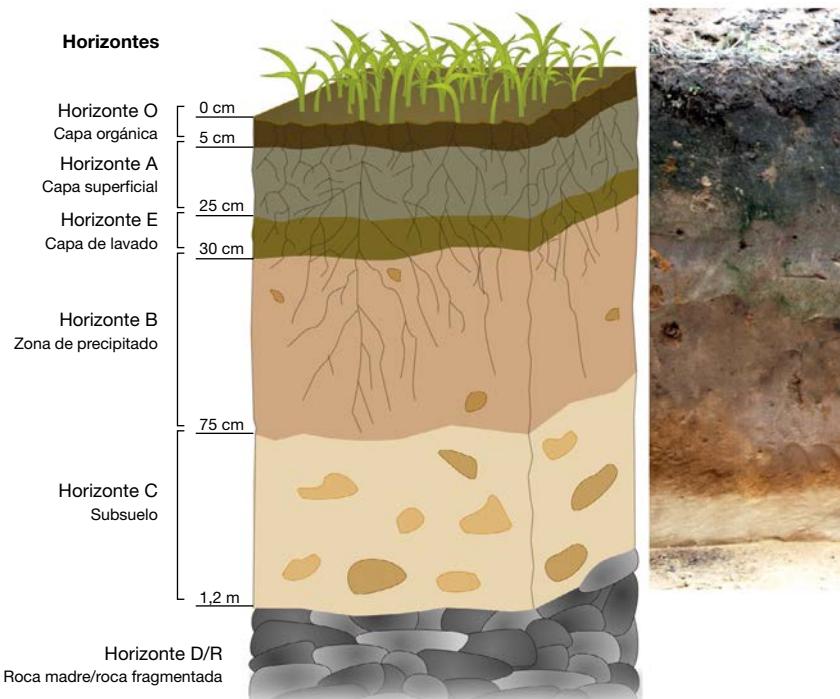
- Horizonte O u horizonte orgánico. Es la parte más superficial y se compone de materia orgánica en descomposición, como hojas y restos de plantas, proporcionando nutrientes esenciales para los horizontes superiores.
- Horizonte A o capa arable (*topsoil*). Contiene materia orgánica mezclada con minerales, siendo crucial para la agricultura debido a su alta fertilidad.
- Horizonte E o de eluvación¹. No está presente en todos los suelos. Es una capa de lixiviación, donde se han lavado o lixivido minerales y materia orgánica, dejándola con una concentración más baja de partículas de arcilla, hierro, aluminio y materia orgánica. A menudo tiene un color más claro que los horizontes A y B.
- Horizonte B o subsuelo (*subsoil*). Está situado por debajo de los horizontes anteriores y acumula minerales lixiviados de los horizontes superiores. Esta acumulación de

¹ La *eluvación*, *iluvación* o *ilimerización* es la migración mecánica de la arcilla de los horizontes superficiales a los horizontes inferiores del perfil.

minerales y materia orgánica, a menudo forma estructuras llamadas *horizontes de acumulación* o *zonas de enriquecimiento*. Este horizonte muestra características de alteración química o física significativas respecto al material rocoso original, con una composición que puede revelar mucho sobre el proceso de formación del suelo.

- Horizonte C. Consiste en el material parental del cual se ha formado el suelo. Este material puede ser roca descompuesta o sedimentos que no han sufrido aún un proceso de pedogénesis (formación del suelo) significativo. Este horizonte se modifica más lentamente que los horizontes superiores. A diferencia de los horizontes superiores, en el horizonte C se observa menos influencia de los procesos biológicos y químicos que caracterizan la formación del suelo.
- Horizonte R (a veces llamado horizonte D, roca madre o material rocoso). Consiste en el lecho de roca no alterado que se encuentra debajo de los horizontes del suelo. No se considera un horizonte del suelo en sí mismo, pero es importante porque es el origen del material parental para la formación del suelo.

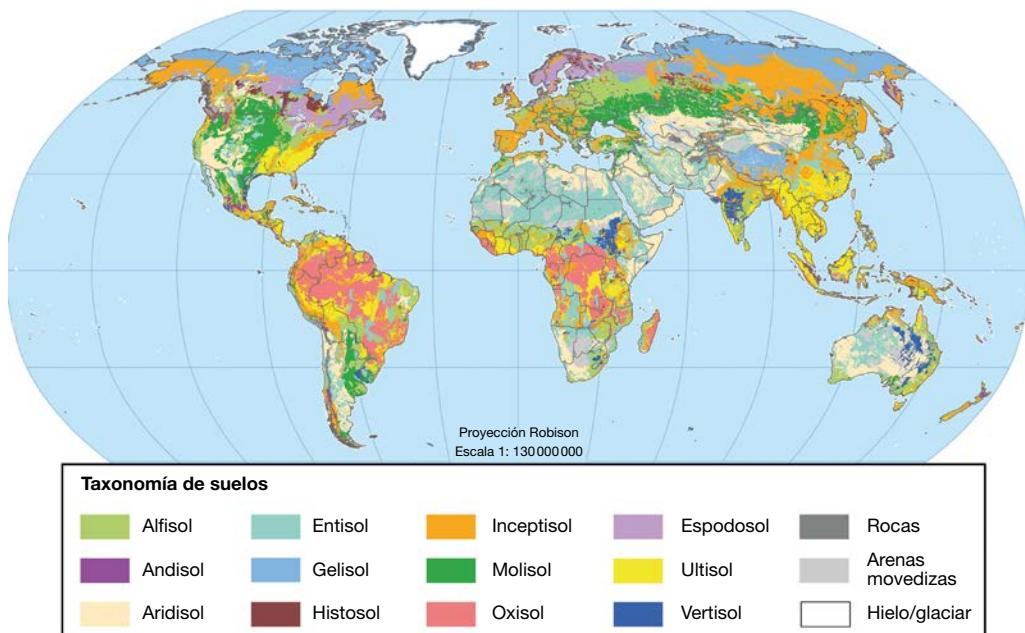
Figura 2. **Estructura del suelo**



Fuente: elaboración propia.

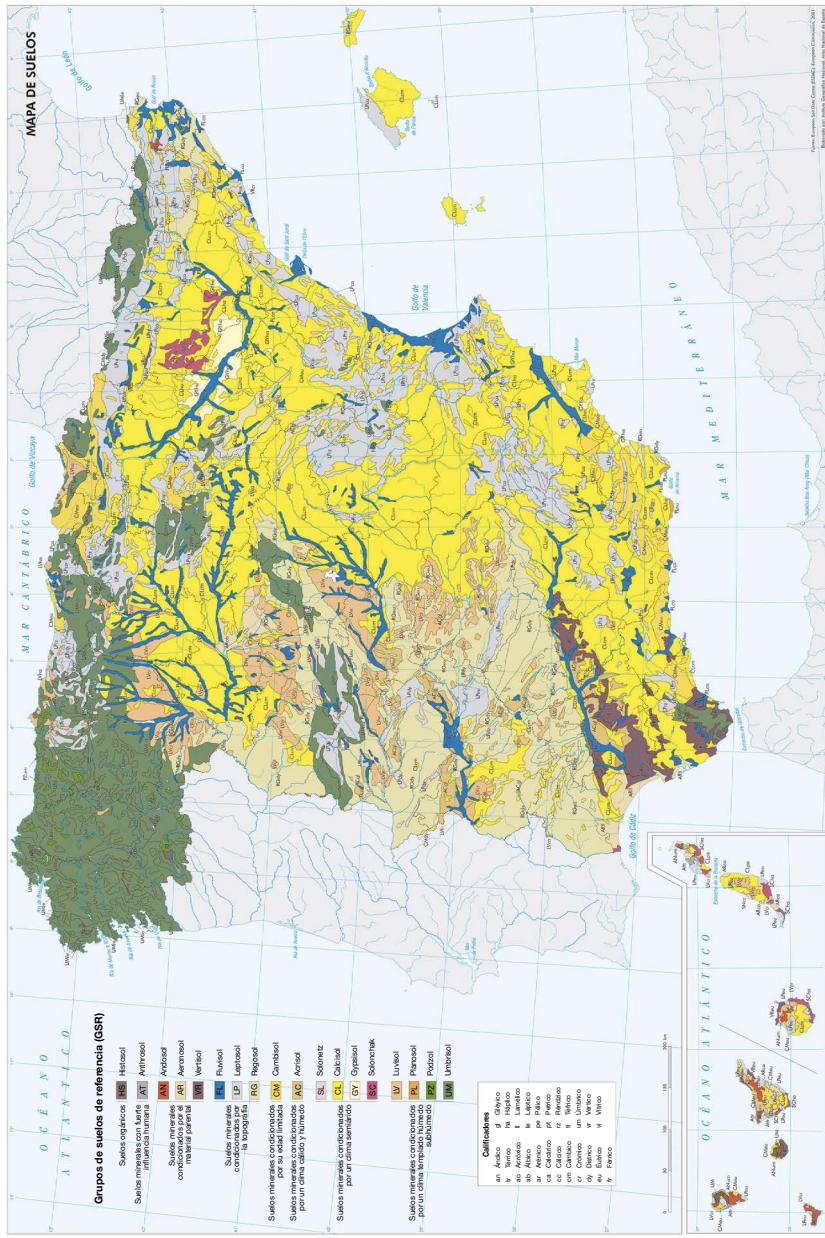
Los suelos se suelen clasificar por *taxonomías*, que es una categorización y clasificación de los mismos en función de sus características físicas, químicas y biológicas. Esta clasificación se basa en sistemas jerárquicos que agrupan los suelos en diferentes categorías, desde unidades amplias hasta unidades más específicas, con el fin de facilitar su estudio, comprensión y gestión. Los sistemas de clasificación de suelos más utilizados a nivel mundial son el Sistema de Clasificación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (United States Department of Agriculture [USDA]) y el Sistema Mundial de Referencia para la Clasificación de Suelos (World Reference Base for Soil Resources [WRB]), desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Food and Agriculture Organization [FAO]) en colaboración con la Unión Internacional de Ciencias del Suelo (International Union of Soil Sciences [IUSS]). Estos sistemas clasifican los suelos en función de criterios como textura, estructura, composición química y horizontes del suelo, así como de características climáticas y biológicas, entre otros. La taxonomía del suelo es fundamental para la gestión sostenible de los recursos naturales, la agricultura, la silvicultura, la ingeniería civil y otras disciplinas relacionadas con el uso y manejo de la tierra. En la figura 3 se muestran los diferentes tipos de suelos a nivel mundial según el USDA, mientras que en la figura 4 se detallan los de España según la clasificación del WRB.

Figura 3. Regiones de suelos en el mundo según el USDA



Fuente: adaptado de Natural Resources Conservation Service (USDA).

Figura 4. Regiones de suelos en España según el WRB



Fuente: Atlas Nacional de España (Suelos)/Instituto Geográfico Nacional/Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (https://atlasnacional.ign.es/images/e/e4/Espana_Mapa-de-suelos_2001_mapa_15220_spa.jpg).

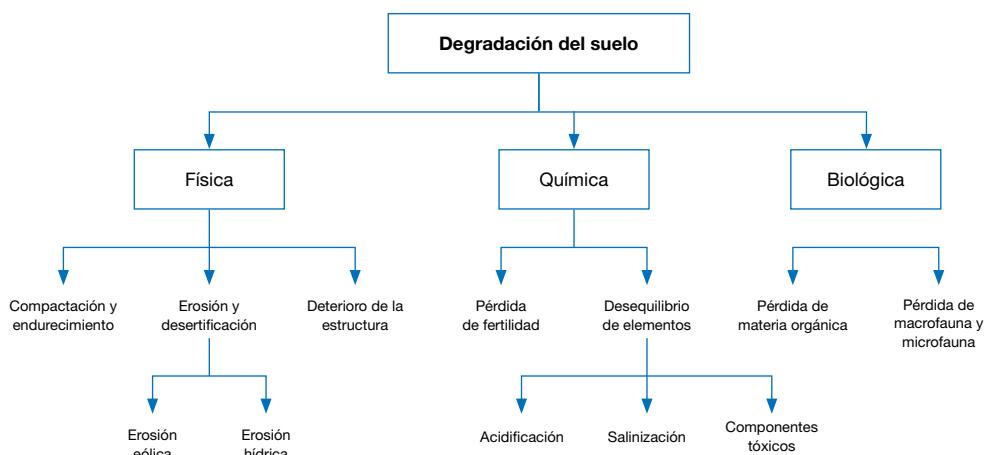
3. Degradación del suelo

El suelo no es un recurso renovable a corto o medio plazo, ya que los procesos que lo generan son sumamente lentos y pueden requerir miles de años. Es un sistema frágil y susceptible a la alteración, lo que puede resultar en la pérdida de su equilibrio natural y afectar a su interacción con otros componentes ambientales. Una vez que el suelo alcanza su estado de madurez y equilibrio, puede mantenerse dinámicamente en dicho estado durante largos períodos. Sin embargo, este equilibrio puede verse fácilmente perturbado por actividades principalmente de origen humano, como la agricultura, la industria, la minería y la ganadería, entre otras. Estas acciones pueden provocar modificaciones negativas en el suelo, afectando a su capacidad actual y potencial para producir bienes y servicios, tanto en términos cuantitativos como cualitativos.

Dado que la formación y regeneración del suelo ocurren a un ritmo muy lento, mientras que la degradación puede ser considerablemente más rápida e incluso llevar a su completa destrucción, resulta evidente la importancia de controlar los procesos de degradación. Existen muchos términos para referirse a la degradación de los suelos que debemos saber manejar, ya que a veces se pueden confundir:

- Degradación potencial. Se refiere a los cambios que ocurrirían si se mantienen las condiciones de uso y manejo actuales. En este sentido también se habla de *riesgo de degradación* como la disminución de la productividad actual o potencial como resultado de uno o más procesos de degradación.
- Degradación actual. Se relaciona con el estado actual del suelo en relación con tipos específicos de degradación.

Figura 5. Tipos de degradación de suelos



Fuente: adaptado de Lal y Stewart (2012).

En la figura 5 se representan todas las formas de degradación del suelo. La contaminación del suelo puede entenderse como una forma de degradación química que implica la pérdida de productividad debido a la recepción de sustancias tóxicas en concentraciones que exceden la capacidad natural del suelo para depurarse a sí mismo. En este sentido, la acumulación de sales también podría considerarse como un tipo de contaminación del suelo.

Entre los diversos procesos de degradación del suelo, como la erosión, la salinización y la acidificación, la contaminación química destaca como uno de los más significativos. En las últimas décadas, esta contaminación ha provocado una disminución en la calidad de numerosos suelos, especialmente en las áreas más industrializadas del planeta.

España no es inmune a estos problemas, y, desde la década de los noventa del siglo XX, se han implementado a nivel estatal y autonómico una gran variedad de planes y legislaciones dirigidos a abordar la problemática de los suelos contaminados.

Según la Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular, se define *suelo contaminado* como «aquel cuyas características han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes químicos de carácter peligroso procedentes de la actividad humana en concentración tal que comporte un riesgo inaceptable para la salud humana o el medioambiente, de acuerdo con los criterios y estándares que se determinen por el Gobierno». La principal diferencia con respecto a la Ley 10/1998 estriba en que solo se consideran contaminantes los componentes químicos, dejando fuera los de origen físico y biológico. Además, señala que la presencia de las sustancias peligrosas debe ser consecuencia de la actividad humana. Por lo tanto, se excluyen las concentraciones elevadas de compuestos peligrosos originadas por causas naturales, incluso si estas pudieran crear una situación de riesgo inaceptable según las definiciones previamente establecidas.

En el título VIII de esta ley se tratan los aspectos relativos a los suelos contaminados, que incluyen las actividades potencialmente contaminantes, la declaración de suelos contaminados, los sujetos responsables de la descontaminación y recuperación de suelos contaminados, el inventario de suelos contaminados, así como la descontaminación y recuperación de estos suelos.

4. Contaminantes de los suelos

Los principales contaminantes del suelo son sustancias o compuestos que pueden degradar la calidad del suelo, afectar negativamente a los organismos que viven en él y a las plantas que crecen sobre él, así como tener impactos adversos en la salud humana.

Estos contaminantes pueden provenir de diversas fuentes, incluyendo actividades industriales, agrícolas, desechos urbanos y accidentes químicos. Algunos de los principales contaminantes del suelo incluyen:

- Metales pesados. Tales como plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd), cromo (Cr), arsénico (As) y zinc (Zn). Estos pueden provenir de la minería, de industrias metalúrgicas, de aguas residuales industriales, de pesticidas y de residuos electrónicos. Los metales pesados son especialmente preocupantes debido a su toxicidad, persistencia en el medioambiente y capacidad para bioacumularse en la cadena alimentaria.
- Compuestos orgánicos persistentes (COP). Incluyen pesticidas (como DDT, aldrín, dieldrín, etc.), herbicidas (como el agente naranja) y productos industriales o subproductos, como bifenilos policlorados (*polychlorinated biphenyls [PCB]*) y dioxinas. Estos compuestos son resistentes a la degradación ambiental y pueden permanecer en el suelo durante décadas, contaminando la cadena alimentaria y afectando a la salud humana y animal.
- Petróleo y sus derivados. Derrames de petróleo, fugas de tanques de almacenamiento subterráneos y desechos de refinado pueden contaminar el suelo con hidrocarburos, afectando a la calidad del suelo y al agua subterránea.
- Productos químicos agrícolas. Incluyen fertilizantes sintéticos, pesticidas, herbicidas y fungicidas que se utilizan en la agricultura para aumentar la productividad de los cultivos. Aunque son esenciales para la producción de alimentos, su uso excesivo o inadecuado puede llevar a la contaminación del suelo y el agua, afectando a los ecosistemas y a la salud humana.
- Desechos sólidos. La disposición inadecuada de desechos sólidos, incluyendo basura doméstica, residuos industriales y materiales de construcción, puede contaminar el suelo con una variedad de sustancias químicas tóxicas.
- Aguas residuales y lodos de depuradora. El riego con aguas residuales no tratadas o el uso de lodos de depuradoras como fertilizantes puede introducir metales pesados, patógenos y compuestos orgánicos en el suelo.
- Radiactivos. Sustancias radiactivas provenientes de accidentes nucleares, pruebas de armas nucleares y residuos de la producción de energía nuclear pueden contaminar el suelo y ser extremadamente persistentes, representando riesgos para la salud a largo plazo.

Las acciones correctivas para mitigar el impacto de la contaminación pueden variar dependiendo de si se enfocan en la fuente misma o en los efectos resultantes. Es importante destacar que las estrategias dirigidas a mitigar los efectos en el suelo deben ir acompañadas con acciones dirigidas a contrarrestar la contaminación en su origen.

5. Efectos de la degradación de los suelos

La FAO designó el 2015 como Año Internacional de los Suelos. Esta designación formó parte de los esfuerzos de la Alianza Mundial por el Suelo y tenía como objetivo apoyar políticas e inversiones en la gestión sostenible de los suelos, la protección de los recursos del suelo y la educación de la población en aspectos como la seguridad alimentaria, la adapta-

ción y mitigación del cambio climático y el desarrollo sostenible. Todo esto se hizo con el fin de crear una mayor conciencia en la sociedad y en los responsables de la toma de decisiones sobre la importancia del suelo para la vida humana.

El primer informe sobre el Estado Mundial del Recurso Suelo, elaborado por la FAO y el Grupo Intergubernamental del Suelo, destaca cuatro áreas prioritarias de actuación para abordar la degradación del suelo y promover su restauración. Estas áreas incluyen:

- Restauración de suelos degradados y reducción de la degradación del suelo en peligro.
- Aumento de los depósitos de materia orgánica en el suelo.
- Reducción -o al menos estabilización- del uso a nivel global de fertilizantes con nitrógeno y fósforo.
- Mejora del conocimiento sobre los suelos.

Recordemos, como se mencionó en el capítulo 1, que en la Cumbre de la Tierra celebrada en 1992 en Río de Janeiro se identificó la *desertificación* como uno de los tres procesos naturales en alto riesgo, además de la pérdida de biodiversidad y el cambio climático. Por ello se creó la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD), cuyo principal objetivo es luchar contra la desertificación e intentar mitigar los efectos de la sequía en los países afectados por la desertificación, adoptando medidas eficaces en todos los niveles, apoyadas por acuerdos de cooperación y asociación internacionales. La Conference of Parties sobre la desertificación es el órgano rector supremo de esta convención. Se reúne cada dos años y, actualmente, tiene 197 partes, tras la reciente retirada de Canadá en 2020.

A nivel europeo, el VIII Programa de Acción en Materia de Medio Ambiente, que comenzó en mayo de 2022, establece que «los suelos siguen degradándose a causa de una amplia gama de actividades humanas, como la gestión deficiente de la tierra, el cambio de uso de la tierra, las prácticas agrícolas insostenibles, el abandono de tierras, la contaminación, las prácticas forestales insostenibles y el sellado del suelo, y debido a la pérdida de biodiversidad y al cambio climático, que se combinan a menudo con otros factores, con lo que se reduce la capacidad de la tierra y los suelos para proporcionar servicios y funciones relacionados con los ecosistemas». Además, hace especial hincapié en el cuidado del suelo, marcando uno de los seis objetivos en la lucha contra la desertificación y la degradación del suelo.

El suelo está cada vez más amenazado, aumentando progresivamente su deterioro. Algunos factores que contribuyen a este daño son la erosión, la reducción de su contenido de materia orgánica, la contaminación (tanto a nivel local como difuso), la compactación, la pérdida de biodiversidad y la salinización. Este proceso es lento, pero es continuo y culmina con la desertificación del suelo.

Los principales efectos de la degradación del suelo son:

- Acidificación del suelo. Esto ocurre cuando el pH del suelo disminuye debido a la acumulación de ácidos. La acidificación del suelo puede hacer que los nutrientes

importantes para las plantas, como el calcio y el magnesio, estén menos disponibles, lo que puede tener graves consecuencias para la producción agrícola. Además, la acidificación del suelo puede afectar a la calidad del agua subterránea y a las especies de vida silvestre que dependen de ella.

- Pérdida de materia orgánica. Es importante para la salud del suelo y su capacidad para soportar la vida vegetal. Cuando se pierde esta materia orgánica, la estructura del suelo se debilita, lo que puede afectar a la infiltración de agua y a la capacidad del suelo para retener nutrientes. Además, la pérdida de materia orgánica puede aumentar la erosión del suelo, lo que puede causar daños a las tierras cercanas y a los cuerpos de agua.
- Compactación del suelo. Se produce cuando los poros del suelo se llenan de partículas de suelo más pequeñas, lo que reduce su capacidad para retener agua y nutrientes. La compactación del suelo puede ser causada por el tráfico de vehículos pesados, la labranza excesiva del suelo y el pastoreo desmesurado de animales.
- Pérdida de calidad y productividad de la tierra. Con la disminución de la calidad del suelo, la productividad de la tierra puede disminuir, lo que puede tener consecuencias económicas significativas para los agricultores y los consumidores. La pérdida de la productividad también puede llevar a una dependencia creciente de los productos químicos y fertilizantes para mejorar la producción agrícola, lo que puede aumentar el daño ambiental.
- Pérdida de biodiversidad. Como la degradación del suelo puede llevar a la pérdida de humedales, bosques y otros hábitats naturales, esto puede tener un impacto negativo en la biodiversidad. Además, la pérdida de biodiversidad puede afectar a la capacidad de la naturaleza para proporcionar servicios ecosistémicos importantes, como la polinización y la purificación del agua.
- Expansión urbana. Representa otra gran amenaza para el suelo, ya que tiende a ocupar principalmente las tierras agrícolas de mejor calidad. Según las Naciones Unidas, en 2014, el 54 % de la población mundial vivía en áreas urbanas y se espera que esta cifra aumente al 66 % para el 2050. El desarrollo urbano y la construcción de infraestructura conducen a una mayor impermeabilización del suelo, lo que implica la cobertura permanente de la superficie con materiales artificiales como el asfalto.
- Desertificación. Es la fase final y la más importante del proceso de degradación del suelo. Esta desertificación se produce cuando la tierra pierde su capacidad para sostener la vida vegetal, lo que puede llevar a la erosión del suelo y a la formación de dunas de arena. La desertificación puede ser causada por la acumulación de efectos anteriormente detallados, además de por una explotación excesiva del suelo, la tala desmedida de árboles o el pastoreo desmesurado, que eliminan la cubierta vegetal.

En la tabla 1 se muestran los métodos o criterios visuales sencillos para la identificación de los procesos de degradación de los suelos según la FAO.

Tabla 1. Métodos para la identificación de los procesos de degradación de los suelos

| | |
|---|---|
| <p>Erosión hídrica: los indicios se observan mejor durante las tormentas o poco después de ellas</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Surcos o pequeños canales formados por el agua, especialmente cerca de la parte alta de los declives, en las cunetas o en los terrenos cultivados. • Aguas fangosas y corrientes de lodo que discurren durante las tormentas y después de estas. • Cárcavas de todo tipo que normalmente indican un problema de erosión. • <i>Pedestales de erosión</i>, que son columnas de suelo que quedan debajo de las piedras cuando la erosión se ha llevado el suelo circundante. Este fenómeno ocurre con máxima frecuencia en campos de cultivo. • Pavimentos de erosión, que están constituidos por grava y piedras que quedan sobre la superficie del terreno luego que el suelo fino ha sido arrastrado por las aguas. Se pueden observar en muchos campos arados y en pastizales. • Montoncitos de tierra residual con manojo de hierba adheridos. • En los terrenos en declive, acumulación de sedimentos en la base de los tallos de los árboles, las piedras y las cercas. • Raíces de árboles y arbustos que quedan al descubierto. Los cambios de color de la corteza de los troncos y tallos. Los anillos sin chamuscar en los tallos de los arbustos indican, por lo común, que la erosión se produjo después de una quema. • Franjas de color claro en los lados de las rocas. Análogamente, las líneas de líquenes donde la erosión se lleva el suelo de alrededor de las rocas, de tal manera que el liquen aparece como una línea divisoria debajo de la cual habría ocurrido remoción del suelo por erosión. • Depósitos de sedimentos en las laderas de declive suave. • Roca madre que se queda al descubierto. • Rocas y arenas secas, recientemente desprendidas y depositadas al pie de los declives de gran pendiente. Además de la fuerza de gravedad, contribuyen a este fenómeno el viento y el agua de escorrentía. • Calveros o manchas de terreno sin vegetación en pastizales y praderas que muy probablemente se deben al pastoreo excesivo. En ellos puede que haya erosión o es probable que esta se produzca. • Capa arable desigual y manchas en superficie del suelo de color claro y oscuro. • Depósitos de grava, arena y limo en los cursos de agua. Estos depósitos pueden proceder de sedimentos formados el año anterior, aguas arriba, en el mismo cauce. • Raíces que quedan al aire en los cauces de los cursos de agua. • Hojarasca superficial que se acumula o que es arrastrada por las aguas. La erosión laminar tiende a llevarse la hojarasca reciente. • Huellas de las pisadas hechas por los animales al pastar. • Cambios en las especies vegetales. • Depósito de sedimentos en los reservorios de agua. |
|---|---|

| | |
|------------------------------|---|
| Degradación química | <ul style="list-style-type: none"> Aparición de plantas resistentes a la acidificación, hasta pH bajo, en barbechos o después de cultivo, o entre hileras de cultivo según la región ecológica. Estas plantas pueden ser juncos, helechos, cola de caballo, acederilla, licopodio, plantas ericáceas, etc. Arcilla dispersa en los charcos después de llover. El suelo se puede mostrar apelmazado y pegajoso. Falta de respuesta a los fertilizantes. Aparición de síntomas de toxicidad en las hojas (por exceso de hierro, cobre, manganeso, boro o cinc) o síntomas de deficiencia de potasio, azufre y fósforo. Aumento de enfermedades de las plantas. Disminución de los rendimientos de los cultivos. |
| Degradación física | <ul style="list-style-type: none"> Apelmazamiento y encostramiento de la superficie del suelo después de las tormentas. Degrado de los semilleros y mala germinación de las semillas. Aumento de la escorrentía y disminución de la disponibilidad del agua en el suelo. Degrado estructural, estructura escamosa o laminar de la superficie del terreno o estructura masiva más o menos compacta y endurecida en la estación seca. Limitación en el desarrollo de las raíces que se puede manifestar a través de la presencia de raíces de profundidad limitada o que se quedan detenidas ante horizontes compactados o bifurcadas por coerciones, especialmente las raíces principales. Hidromorfismo de los horizontes superficiales, con el estancamiento del agua después de las tormentas. Disminución del rendimiento; primeramente, en manchas aisladas del terreno y, después, en toda su superficie. |
| Degradación biológica | <ul style="list-style-type: none"> Disminución de la materia orgánica cuando la biomasa o los residuos de los cultivos no bastan para reemplazar la degradación del humus. El color del suelo se vuelve más claro. Apelmazamiento, encostramiento y escorrentía mayores. Disminución de la agregación de las partículas de suelo en la superficie. Disminución de la cantidad de lombrices de tierra, hormigas y roedores. Disminución de la respuesta a los fertilizantes. La mayoría de los criterios que sirven para identificar la degradación física. |

4.1. Erosión del suelo

El proceso de *erosión del suelo* es un fenómeno natural que se produce por la remoción del material terrestre en la superficie o a escasa profundidad debido a la acción del agua o del viento. Este proceso puede ocurrir a lo largo de un periodo geológico, lo que permite la formación de paisajes únicos y variados. Sin embargo, la *erosión antrópica* es aquella que se produce debido al uso inadecuado de los recursos por parte del hombre, destruyendo la capa vegetal que protege el suelo de la acción del viento y las lluvias, lo que puede tener graves consecuencias tanto para el ambiente como para la economía y la sociedad.

En la actualidad, la erosión del suelo es un problema que afecta a muchos lugares del mundo, especialmente a aquellos que dependen de la agricultura y la ganadería como fuente de sustento. El uso intensivo de la tierra para la producción de alimentos, la tala de bosques y la explotación de recursos minerales son algunas de las actividades humanas que contribuyen significativamente a la erosión antrópica.

La erosión que puede sufrir un suelo es función de algunas variables, como son:

- **Erosividad.** Se refiere a la capacidad potencial de la precipitación para causar erosión durante un periodo específico. Se representa por la energía con que las gotas de lluvia que caen con una determinada intensidad pueden llegar a romper los agregados superficiales en partículas de un tamaño transportable. La intensidad, duración y temporada de la precipitación son factores determinantes en la erosividad de la lluvia.
- **Erodabilidad.** Se define como la susceptibilidad del suelo a la erosión debido a la facilidad con la que sus partículas se desprenden por la acción del agua o el viento, así como por la pendiente y la composición textural del suelo. La erodabilidad es un factor dinámico que puede variar durante una tormenta, a lo largo del año o de un año a otro. Los suelos pueden variar en contenido de humedad, lo que afecta a su resistencia a la erosión.
- **Cobertura.** Se refiere a la vegetación natural, a los cultivos o a cualquier otra forma de cobertura que proteja el suelo. La eliminación de la cubierta vegetal puede alterar la capacidad de infiltración del suelo. La relación entre la erosión y la cobertura vegetal es un proceso complejo y variable.
- **Manejo del cultivo.** Implica el tipo de uso de tierras cultivadas e involucra variables como los métodos de cultivo, los patrones de cultivo, las prácticas de labranza o el uso de cobertura muerta, los cuales influyen en la erosión del suelo y en su conservación.

La erosión del suelo puede tener consecuencias negativas en muchos aspectos. Por ejemplo, puede reducir la capacidad de la tierra para producir cultivos, lo que a su vez puede afectar a la seguridad alimentaria de una región. Además, la erosión también puede causar daños a las infraestructuras, como carreteras y edificios, y provocar la pérdida de hábitats naturales y la disminución de la biodiversidad.

Figura 6. Vista aérea de terrazas en contorno y canales con hierba para el control de la erosión (Kansas)



Fuente: Servicio de Conservación de Recursos Naturales del USDA.

Para prevenir la erosión del suelo, es necesario adoptar prácticas sostenibles en el uso de los recursos naturales y fomentar la educación sobre la importancia de la conservación del suelo. Esto incluye la implementación de técnicas de conservación del suelo, como la rotación de cultivos, la construcción de terrazas y la reforestación de áreas degradadas. En la figura 6 se muestra un cultivo con terrazas y canales de hierba para evitar la erosión del suelo. Cada vez es más necesario tener en cuenta el enfoque de la preservación del suelo para poder garantizar un futuro sostenible para las generaciones venideras.

En la tabla 2 y en la figura 7 se muestran los datos de la cantidad de superficie afectada por la erosión en el territorio español. En la tabla se muestran los datos en hectáreas, mientras que en la gráfica se muestran los datos en porcentaje.

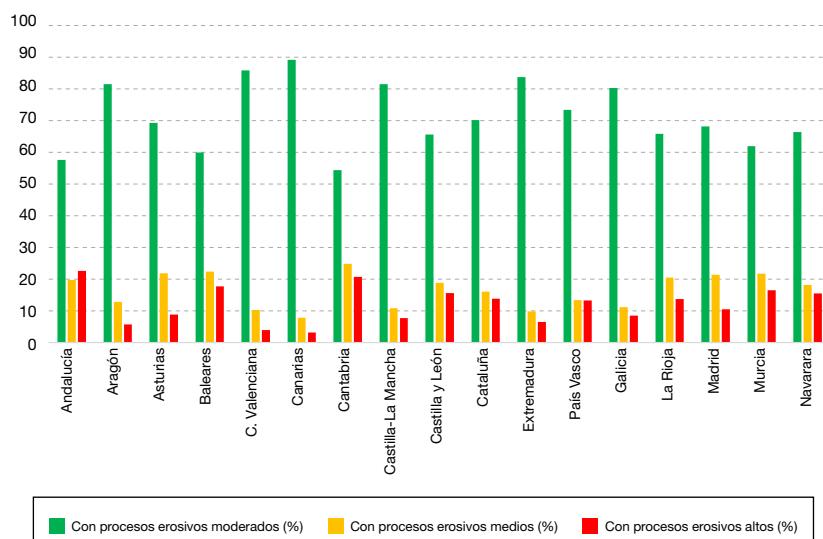
Tabla 2. Pérdida de suelo por erosión

| Comunidad autónoma | Con procesos erosivos moderados (Ha) | Con procesos erosivos medios (Ha) | Con procesos erosivos altos (Ha) | Superficie erosionable |
|--------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| Andalucía | 4817693,69 | 1650519,56 | 1890596,75 | 8358810,00 |
| Aragón | 3816122,25 | 599776,00 | 265561,81 | 4681460,06 |
| Asturias | 487614,25 | 153539,69 | 62270,88 | 703424,81 |
| Baleares | 306583,31 | 114549,25 | 90528,44 | 511661,00 |

| Comunidad autónoma | Con procesos erosivos moderados (Ha) | Con procesos erosivos medios (Ha) | Con procesos erosivos altos (Ha) | Superficie erosionable |
|-------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| Comunidad Valenciana | 6692848,56 | 797717,94 | 302197,19 | 7792763,69 |
| Canarias | 8234176,25 | 717298,88 | 286516,69 | 9237991,81 |
| Cantabria | 1658622,38 | 757774,50 | 632242,06 | 3048638,94 |
| Castilla-La Mancha | 573217,13 | 75677,13 | 54427,13 | 703321,38 |
| Castilla y León | 669215,94 | 191515,06 | 158732,13 | 1019463,13 |
| Cataluña | 1520213,69 | 347587,88 | 299241,00 | 2167042,56 |
| Extremadura | 3390526,50 | 396891,06 | 260453,69 | 4047871,25 |
| País Vasco | 2121850,75 | 384631,25 | 383952,06 | 2890434,06 |
| Galicia | 382314,69 | 53132,63 | 40533,56 | 475980,88 |
| La Rioja | 324070,19 | 100528,25 | 67520,50 | 492118,94 |
| Madrid | 459474,44 | 144175,44 | 70885,44 | 674535,31 |
| Murcia | 642364,00 | 224810,44 | 170335,63 | 1037510,06 |
| Navarra | 731078,44 | 199480,69 | 170212,75 | 1100771,88 |

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2023).

Figura 7. Porcentaje de pérdida de suelo por erosión en 2022



Fuente: elaboración propia con datos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2023).

4.1.1. Desertificación

Durante la Tercera Reunión del Grupo Asesor Técnico sobre Evaluación y Cartografía de la Desertificación convocada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 1991, se debatió sobre el término *desertificación* y se estableció su definición como «la degradación de la tierra en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas que resulta principalmente de actividades humanas adversas». Esta degradación de la tierra es un cambio en el estado del componente terrestre de los ecosistemas globales que supone una amenaza para el bienestar presente y/o futuro de la humanidad. La *tierra*, en este contexto, incluye la superficie, el suelo y los recursos hídricos locales, la vegetación natural y los cultivos. La *degradación* implica la reducción del potencial del recurso por algún proceso o combinación de procesos que actúan sobre la tierra. Estos procesos incluyen la erosión hídrica, la erosión eólica y la sedimentación, la reducción a largo plazo de la abundancia o diversidad de la vegetación natural, la disminución del rendimiento de los cultivos cuando sean relevantes y la salinización del suelo.

La desertificación se ha convertido en un desafío global que afecta a millones de personas en todo el mundo. Es un fenómeno complejo causado por una combinación de factores naturales y humanos, entre los que se incluyen el cambio climático, las prácticas no sostenibles de uso de la tierra, el pastoreo excesivo, la deforestación y la gestión inadecuada del agua. El impacto de la desertificación sobre el medioambiente y el bienestar humano es significativo, ya que provoca la pérdida de biodiversidad, la reducción de la fertilidad del suelo y el aumento de la pobreza y la inseguridad alimentaria.

Una de las principales causas de la desertificación es el impacto de actividades humanas como el pastoreo excesivo, la deforestación y la agricultura intensiva. Estas actividades suelen provocar la degradación del suelo y la pérdida de la cubierta vegetal, lo que a su vez dificulta la recuperación del ecosistema. Además, las actividades humanas también pueden provocar el agotamiento de los recursos hídricos subterráneos, lo que puede exacerbar los efectos de la sequía. Sin embargo, es importante señalar que factores naturales como las sequías recurrentes también pueden desempeñar un papel importante en el proceso de desertificación. Cuando se producen sequías, pueden causar un descenso de los niveles de humedad del suelo, lo que puede provocar la muerte de la vegetación y la pérdida de fertilidad del suelo. Esto puede ser especialmente problemático en zonas que ya son vulnerables a la desertificación, ya que la resistencia natural del ecosistema puede verse debilitada.

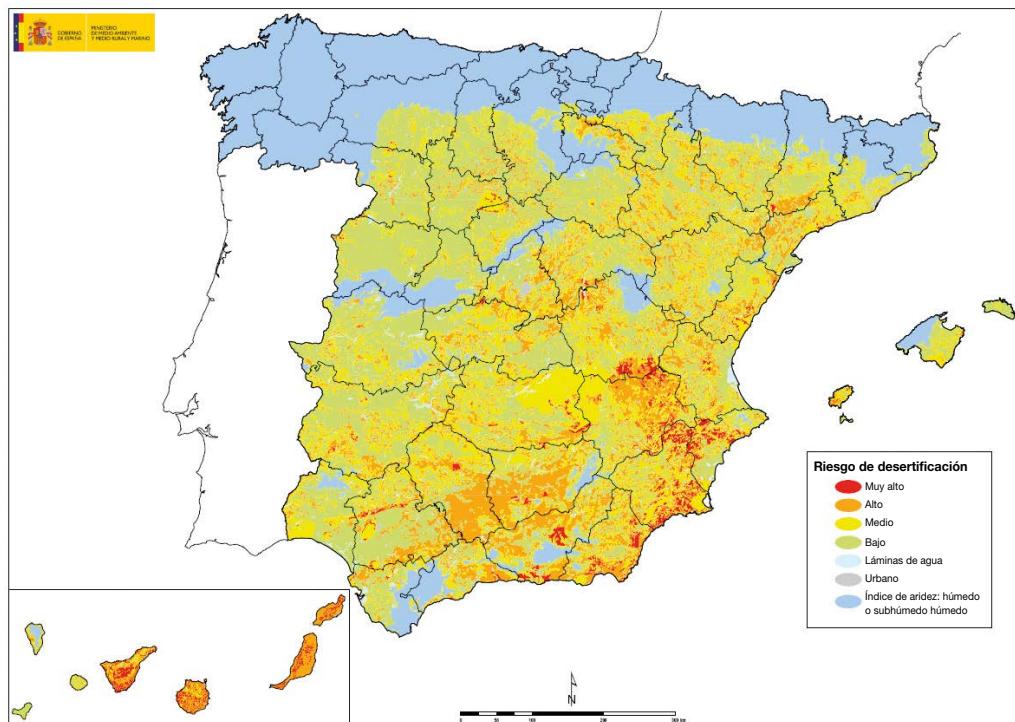
También es importante distinguir entre la desertificación y otros fenómenos relacionados, como la sequía y la expansión y contracción de los desiertos. Aunque estos procesos pueden compartir algunas similitudes, son fundamentalmente diferentes. La sequía es un fenómeno natural que puede darse en cualquier ecosistema, mientras que la desertificación es un proceso inducido por el hombre que se caracteriza por la pérdida de productividad del suelo y la degradación del ecosistema en su conjunto. La expansión y contracción de los desiertos, por otro lado, es un proceso natural impulsado por cambios en el clima y otros factores.

Para hacer frente a este desafío, se han desarrollado diversas estrategias a nivel local, nacional e internacional. Estas estrategias pretenden promover prácticas sostenibles de ges-

tión de la tierra, restaurar las tierras degradadas y mejorar los medios de subsistencia de las comunidades afectadas. Algunas de estas estrategias incluyen la aplicación de medidas de conservación del suelo y el agua, la promoción de la agrosilvicultura, el uso de cultivos resistentes a la sequía y la provisión de medios de subsistencia alternativos para las comunidades afectadas.

La desertificación es un grave desafío medioambiental y social que requiere medidas urgentes. La adopción de prácticas sostenibles de gestión de la tierra y la aplicación de políticas y estrategias eficaces son cruciales para hacer frente a este desafío. Es esencial trabajar por la restauración de las tierras degradadas, la promoción de la biodiversidad y la mejora de los medios de subsistencia de las comunidades afectadas. Trabajando juntos, podemos evitar una mayor degradación de nuestras preciadas tierras y garantizar un futuro sostenible para las generaciones venideras.

Figura 8. Mapa de riesgo de desertificación en España



Fuente: Programa de Acción Nacional contra la Desertificación del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Ejercicios voluntarios

1. Busque las clasificaciones de los suelos según la USDA. ¿Cuántos ordenes tiene? ¿Cuál es el criterio de clasificación?
2. Busque las clasificaciones de los suelos según la WRB. ¿Cuántos grupos tiene? ¿Cuál es el criterio de clasificación?
3. ¿Qué es un suelo contaminado? ¿Y un suelo alterado?
4. ¿Cuál es la normativa que regula en España los suelos contaminados?
5. ¿Se puede declarar un suelo como contaminado por contaminantes que sean radiactivos o biológicos según la legislación actual que rige en España?
6. Busque datos de la erosión de suelos de su comunidad autónoma. Existen datos de distintos tipos de erosión. ¿Cuál es la que predomina en su comunidad? ¿Se podría mitigar? ¿Cuáles serían las soluciones?

Referencias bibliográficas

Decisión (UE) 2022/591 del Parlamento Europeo y del Consejo de 6 de abril de 2022 relativa al Programa General de Acción de la Unión en materia de Medio Ambiente hasta 2030 (Documento Oficial de la Unión Europea [DOUE] núm. 114, de 12 de abril de 2022). <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2022-80590>

Dregne, H., Kassas, M. y Rozanov, B. (1991). A new assessment of the world status of desertification. *Desertification Control Bulletin*, 20, 6-18.

Es, H. van. (2017). A new definition of soil. *CSA News*, 62(10), 20-21. <https://doi.org/10.2134/CSA2017.62.1016>

Kyuma, K. (2021). V. V. Dokuchaev-On his way to pedology. *Pedorojisuto*, 65(1), 1-11.

FAO. (1984). *Metodología provisional para la evaluación y la representación cartográfica de la desertización*.

FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos* (4.^a ed.).

FAO. (2015). *Status of the World's Soil Resources: Main Report*.

Lal, R. y Stewart, B. A. (1990). Soil degradation: a global threat. *Advances in Soil Science*, 2. Springer-Verlag.

López-Falcón, R. A. (2002). *Degradación del suelo: causas, procesos, evaluación e investigación*. CIDIAT.

Mainguet, M. M. (1999). Desertification. En C. W. Finkl (Ed.), *Environmental Geology. Encyclopedia of Earth Science* (pp. 125-129). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-4494-1_79

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2022). *Inventario nacional de erosión de suelos*. Secretaría General Técnica/Centro de Publicaciones.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2023). *Perfil ambiental en España 2022*. <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/indicadores-ambientales/perfil-ambiental-2022.html>

Porta Casanellas, J., Lopez-Acevedo, M. y Poch Claret, R. (2019). *Edafología: uso y protección de suelos*. Mundi-Prensa.

Rusakova, E., Sukhacheva, E. y Hartemink, A. E. (2022). Vasiliiy Dokuchaev-A biographical sketch on the occasion of his 175th birthday. *Geoderma*, 412. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115718>

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision* (ST/ESA/SER.A/420).

Usui-Kämppä, J. (2021). Quantifying and managing soil erosion on cropland. En N. M. Holden, M. L. Wolfe, J. A. Ogejo y E. J. Cummins (Eds.), *Introduction to Biosystems Engineering* (pp. 335-357). American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE)/Virginia Tech Publishing. <https://doi.org/10.21061/IntroBiosystemsEngineering>

