

1. Introducción

1.1. Cambio climático

Las alteraciones ambientales vinculadas a las oscilaciones climáticas y a la actividad antrópica se conocen como Cambio Global (Vitousek *et al.*, 1997; Steffen *et al.*, 2004; Dearing *et al.*, 2006), generando un nuevo escenario entre las relaciones de la sociedad y el medio ambiente. En la misma línea, el Cambio Climático es una de las consecuencias del Cambio Global, entendiéndose como un verdadero riesgo para la totalidad del sistema eco-geomorfológico y a las relaciones existentes entre cada uno de sus componentes (IPCC, 2021).

Han sido muy diversas las visiones aportadas en el ámbito científico con respecto a este término. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2007) define Cambio Climático como un proceso dinámico identificado en el clima mundial o regional que tiene un origen natural o humano. Por su parte, la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en su primer artículo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 1992), define este concepto como un proceso con vinculación directa o indirecta a la acción humana, que modifica los componentes climáticos y atmosféricos.

El Panel Internacional sobre el Cambio Climático (IPCC) comenzó su labor en 1988, y es el principal órgano internacional en las evaluaciones integrales sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta. Su origen se establece en el interés generado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización

Meteorológica Mundial (OMM). Este organismo internacional constata como uno de los principales orígenes del cambio climático las elevadas emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) por parte del ser humano en las últimas décadas, con valores máximos históricos que aumentan la preocupación a escala planetaria e incentivan el desarrollo de grandes proyectos de investigación en este sentido.

Así, en relación con las proyecciones y escenarios definidos en los informes del IPCC, es necesario destacar una serie de consecuencias en el sistema climático a nivel planetario, siendo estas: (i) el aumento de las temperaturas globales o la pérdida de volumen de hielo; (ii) el aumento del nivel del mar; (iii) los cambios en los patrones de precipitación global; entre otras muchas (IPCC, 2021). Asimismo, las afecciones derivadas de estas modificaciones en los sistemas naturales y humanos, atribuidas principalmente a los fenómenos de carácter extremo son igualmente diversas, comprendiendo desde (i) una evidenciada reducción de la seguridad hídrica y alimentaria mundial; (ii) la pérdida y degradación de los ecosistemas; (iii) el deterioro de la calidad y medios de vida; (iv) numerosos daños en las infraestructuras; (v) un aumento de los problemas de salud mental; etc. (IPCC, 2021). Sin embargo, los impactos vinculados a este panorama global no son homogéneos en el territorio. La evaluación territorial muestra como las tendencias climáticas actuales presentan grandes contrastes entre regiones mundiales.

En Europa, los principales riesgos en el marco climático son los asociados con el agua. Sin embargo, no es homogéneo, puesto que a lo largo del continente pueden aparecer riesgos relacionados con la temperatura media y extrema, así como los desajustes relacionados con el modelo pluviométrico (IPCC, 2021). En la franja sur de Europa, existe una alta probabilidad de que la frecuencia de los extremos de calor siga aumentando y, en consonancia, las olas de frío y heladas vayan disminuyendo a lo largo de este siglo, llegando a desaparecer a finales del mismo. En gran parte del continente, se espera una menor disponibilidad de los recursos hídricos, lo cual puede generar grandes contrastes entre la parte norte y sur, con problemas de gestión del agua y con una tendencia a la aridez hacia el incremento (Fernández-Carrasco, 2002). Además, las olas de calor atribuidas a las actividades humanas, superarán umbrales críticos que serán perjudiciales para la salud, la agricultura y otros sectores socioeconómicos (IPCC, 2021). En esta misma línea, los eventos de

carácter extremo serán diversos, destacando (i) el aumento de las inundaciones fluviales en Europa central y occidental; (ii) el aumento de la aridez en, prácticamente, toda la franja continental a mediados y finales de siglo; (iii) el aumento de las sequías agrícolas, ecológicas e hidrológicas en la región mediterránea a mediados y finales de siglo (IPCC, 2021; Coppola *et al.*, 2021; Knutson and Zeng, 2018; Vidal *et al.*, 2016;).

De este modo, la región mediterránea se identifica como una de las áreas de mayor fragilidad e incertidumbre ante los diversos escenarios de Cambio Climático que exhibe el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2021). Existe una gran certeza ante la exacerbación de los riesgos afines al clima, comprometiendo la salud y el bienestar humano, así como, los múltiples sistemas y sectores económicos. Muchos de los riesgos asociados son específicos en determinadas subregiones, lo que conllevará al aumento de las presiones en la economías y sistemas locales de estos territorios (Cramer *et al.*, 2018; MedECC, 2020).

Dentro de la incertidumbre proyectada para esta región, Olcina (2020) destaca entre los principales hechos asociados al Cambio Climático (i) las modificaciones en el patrón pluviométrico, especialmente en su estacionalidad y en su intensidad; (ii) el claro ascenso que registra la temperatura media, haciéndose más intenso en las noches, incrementándose el número de noches tropicales y ecuatoriales, (iii) el calentamiento del agua del mar Mediterráneo, dando lugar, entre otros hechos, al impacto de los impactos anteriores. En relación con la variable pluviométrica, las precipitaciones son cada vez menos frecuentes, tanto en cantidad como en número de días (Dore 2005; Pendergrass y Hartmann 2014). No obstante, la ocurrencia y la intensidad de los eventos catalogados como torrenciales identifica un claro incremento en las últimas décadas (Sillero-Medina *et al.*, 2019). Además, con una aparición tras largos periodos de sequía, igualmente más recurrentes, lo que generan una situación en el sistema eco-geomorfológico de mayor vulnerabilidad ante estos episodios de precipitación extrema (Olcina y Rico, 2000; Ceballos Barbancho *et al.*, 2002; Ruiz Sinoga, *et al.*, 2015). En la franja mediterránea, incluyendo el sur de España, la respuesta del ecosistema es variable debido a que depende de la capacidad de las especies a adaptarse a este tipo de condiciones y a los factores locales (Rahmati *et al.*, 2019). Sin embargo, es en esta zona donde el principal factor determinante de la producción vegetal y de la estructura de las comunidades es el agua (Ferrerías Chasco, 2000; Terradas, 2001).

La regionalización de los dos principales escenarios de cambio climático llevada a cabo por la AEMET (Brunet *et al.*, 2008), para el horizonte 2100 muestra, para Andalucía un indudable incremento de las temperaturas máximas, unido a una mayor concentración temporal de las precipitaciones e, incluso, una reducción en su pluviometría. Según la prospectiva aportada por el estudio denominado «Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía actualizados al 4º Informe del IPCC» acometido por la REDIAM, puede esperarse un aumento de temperatura comprendido entre los 3,9 °C del escenario A2, y los 1,6 °C del escenario B1 para el periodo 2000-2100. Respecto a las precipitaciones, el informe predice una disminución de las mismas de más del 26,6 % de la precipitación anual para el escenario A2, mientras que en el polo opuesto, escenario B1, también estima una disminución de un 13,7 %. En valores absolutos, esta variación se transforma en una disminución de 157 mm y 81 mm en el mejor de los casos. De materializarse dichos cambios en la precipitación y temperatura, para el territorio andaluz, conllevarían daños irreparables a nivel biofísico y socioeconómico, que sin duda alguna necesitan ser evaluados con urgencia (Coyle *et al.*, 2017).

Cabe mencionar que desde el Estrecho de Gibraltar hasta el Cabo de Gata puede observarse claramente la existencia de un gradiente pluviométrico, enmarcado en los rasgos del clima mediterráneo pero con un régimen que oscila desde el húmedo, en el primero, hasta el semiárido, e incluso árido, en el segundo (Ruiz Sinoga *et al.*, 2011, 2012, 2015). Ante esta situación, el Cambio Climático puede modificar la configuración paisajística actual, de modo que áreas que hoy no se consideran semiáridas, pueden pasar a engrosarlas si las predicciones son certeras, con todos los impactos medioambientales que ello conllevaría para los ecosistemas terrestres y los servicios sistémicos que prestan a la sociedad.

En definitiva, resulta fundamental considerar la variable pluviométrica, consolidándose como elemento clave en el correcto funcionamiento del sistema eco-geomorfológico mediterráneo en su conjunto (Martín-Vide, 1994; Lavee *et al.*, 1998; Senciales y Ruiz, 2013; Maestre *et al.* 2016; Hueso-González *et al.*, 2018). Una variable climática que registra una clara tendencia hacia el aumento de su intensidad, con una mayor presencia de eventos de carácter torrencial (Sillero-medina *et al.*, 2019), generando cada vez más situaciones de incertidumbre en los meses equinocciales, con importantes consecuencias

en la región mediterránea como el incremento de los procesos de erosión, degradación y, por tanto, de calidad del suelo (Sillero-Medina *et al.*, 2020); los importantes desequilibrios en la planificación hídrica en su conjunto, con problemas ligados a la escasez del agua (Hueso-González *et al.*, 2018; Olcina, 2020; Sillero-Medina *et al.*, 2021); la mayor aparición de riesgos naturales (Ferrari *et al.*, 2013; Martínez-Navarro, 2018) e, incluso, el condicionamiento y supervivencia de diferentes tipo de vegetación (Bréda *et al.*, 2006).

La gestión y restauración de los ecosistemas, así como, la planificación del uso de la tierra se encuentra entre las diversas acciones que propone el Informe Especial del IPCC sobre los fenómenos extremos (SREX) para mitigar, en cierto modo, una serie de escenarios futuros y, al mismo tiempo, ofrecer numerosos beneficios al clima actual. Es por ello que, la consideración de la dinámica paisajística en su conjunto y bajo el paradigma de la actual dinámica climática es una tarea clave en la actualidad, especialmente en estas áreas más vulnerables y frágiles, donde las tendencias muestran un escenario crítico tanto en los componentes naturales como humanos que componen el paisaje.

1.2. Calidad del suelo

El suelo es un sustento indispensable para la vida que, a lo largo del tiempo, ha ido adquiriendo una mayor importancia tanto en el ámbito de la investigación como en la sociedad. Específicamente, el suelo es una interfaz dinámica en la que interactúan diversos elementos como la litosfera (roca), la atmósfera (aire), la hidrosfera (agua) y la biosfera (seres vivos) (Ortiz-Zamora, 2020).

Se trata de un recurso de gran valor, debido a que, sin perder sus propiedades físicas, químicas o biológicas, (i) favorece la salud de las plantas, animales y humanos; (ii) promueve la productividad del sistema; y (iii) atenúa contaminantes ambientales y patógenos (Doran y Parkin, 1994; Karlen *et al.*, 1997; Figura 1.1).

A nivel internacional, el valor de este recurso y su correcta conservación ha sido y es, en la actualidad, una tarea sustancial (Dilly *et al.*, 2018). El suelo es un recurso multifuncional, el cual, a pesar de las múltiples connotaciones y enfoques que se le han conferido para definirlo, comprende un recurso holístico y exhorta de una evaluación multicriterio (Singer y Ewing, 2000). Los



Figura 1.1. Funciones del suelo.

Fuente: FAO (2015) (<http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/294325/>).

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) publicados por la ONU en la Agenda 2030 han considerado que las políticas destinadas a conservar el suelo en un óptimo estado de salud deben ser consideradas prioritarias, resultandos fundamentales para alcanzar algunos objetivos y metas propuestas como el de Hambre Cero y Seguridad Alimentaria. De esta forma, actividades básicas como la propia producción alimentaria va a depender, en gran parte, del uso y manejo que se le otorgue al suelo (Martin y Adad, 2006) y, por supuesto, del estado de calidad o degradación del mismo. En base a esta premisa surge la preocupación por mantener el suelo en unas condiciones óptimas, especialmente en el área de la investigación en las últimas décadas (Bautista *et al.*, 2004; Tesfahunegn, 2013; Muñoz-Rojas, 2018).

La calidad del suelo es un factor clave para determinar un buen funcionamiento del suelo y del sistema por suponer, el suelo, un substrato básico para las plantas y el medio ambiente (Larson y Pierce, 1991; Buol, 1995). Así, el término calidad del suelo ha sido percibido y definido desde muchas perspecti-

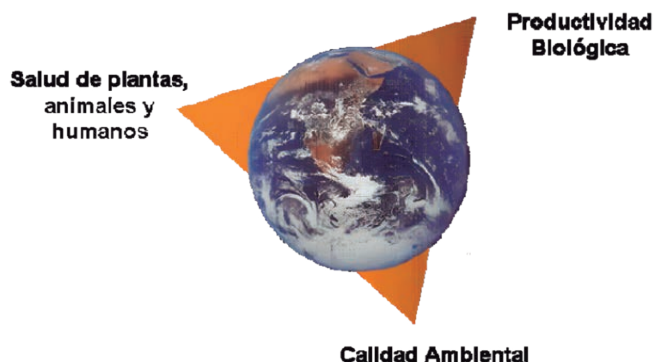


Figura 1.2. Principales componentes de la calidad del suelo.

Fuente: Dorian y Parkin, 1994.

vas (Karlen *et al.*, 1997), entendiéndose según Gregorich *et al.* (1994) como la capacidad del suelo para poder funcionar correctamente en un uso específico. Sin embargo, para el Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America la definición de calidad del suelo se basa en la *capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de las plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat*. Es necesario considerar el nivel de habitabilidad en un marco en el que permita un correcto desarrollo humano de forma sostenible, si se quiere llevar a cabo una buena evaluación de la salud edáfica (Karlen *et al.*, 1997). Esto significa que la calidad del suelo debe ofrecer información del sistema eco-geomorfológico y, también, información específica del suelo (Dilly *et al.*, 2018), teniendo en cuenta la multifuncionalidad del territorio (Singer y Ewing, 2000).

Por la USDA (1999), el término de calidad del suelo fue entendido como «la capacidad de funcionar de un tipo específico de suelo» y, también como «la capacidad de funcionamiento de un suelo en el ámbito de un ecosistema o agroecosistema con miras a una productividad sostenible de plantas y animales, preservación y mejoramiento de la calidad del agua y del aire, a fin de soportar la salud y vida de la especie humana». Para Doran y Parkin (1994), el término calidad del suelo se empezó a delimitar al reconocer las funciones del suelo, considerando la productividad del sistema (productividad biológica sostenible), los niveles de contaminación del suelo (calidad ambiental) y, por

último, la salud de los elementos a los que sirve de soporte (plantas, animales y humanos) (Figura 1.2.). Sin embargo, a pesar de la importancia que ampara actualmente, fue a finales del siglo XX cuando se comienza a utilizar indicadores de calidad de suelo y, además, se plantea las diversas opciones de uso del suelo para preservar y mejorar la calidad de este (Pla Sentís, 2013). Pese a ser bien reconocida su importancia en el área medioambiental, no existen métodos ni criterios universales predefinidos para llevar a cabo una evaluación de la calidad del suelo (Arshad y Coen, 1992; Andrews *et al.*, 2002; García *et al.*, 2012). En esta misma línea, surge la consciencia y necesidad de conocer e interpretar los cambios en las funciones del suelo, teniendo en cuenta las prácticas de manejo que se usan en el mismo. Es entonces cuando las tendencias a largo plazo, unido a la valoración de las diversas propiedades que puede conformar el suelo, tal y como son los factores físicos, químicos o biológicos, comprenden el estudio de las funciones y procesos que puede llevar a cabo el suelo (USDA, 1999).

Desde la perspectiva de la planificación y ordenación del territorio y de la sostenibilidad ambiental, es fundamental comprender que el uso que desempeña un suelo determinado debe ser acorde a sus características y a su calidad (Allende-Landa, 1991). Así pues, la calidad del suelo, es imprescindible para atender al manejo y conservación del suelo, incluyéndose en políticas territoriales y sectoriales. De este modo, en términos de erosión y degradación del suelo, la determinación de la calidad del suelo supone un proceso fundamental tanto para las políticas medioambientales como para el conocimiento científico y técnico (Wilson *et al.*, 2017). Además, en ambientes agrícolas, esta evaluación de la salud y calidad del suelo supone una fuente de información precisa para la detección de tendencias del sistema y poder llevar a cabo actuaciones paisajísticas y agrarias (Lupi y Mórtola, 2017).

Sin embargo, es importante señalar el significado de salud del suelo, puesto que no se trata de un sinónimo de calidad del suelo. Este aspecto lo especifica Roming *et al.* (1995), refiriéndose a salud del suelo como el estado de la materia orgánica, productos microbianos y diversidad de organismos que contiene un suelo en un momento determinado. Así, Benegas (2014) concierne el término salud de suelo como balance entre los organismos del suelo y el ambiente.

Para comprender la funcionalidad e importancia que supone el suelo para el medio eco-geomorfológico, así como, las numerosas interrelaciones que abarca, se ha incorporado en la Tabla 1.1 una clasificación de los servicios ecosistémicos del suelo, realizada por Dominati *et al.* (1997).

Es necesario poner en valor la investigación a escala regional tanto en escenarios presentes como futuros en un contexto de cambio climático. En los ecosistemas mediterráneos, la estructura y funcionamiento de los suelos están sufriendo los efectos de este cambio. En este contexto de mediterraneidad, cabe destacar que se prevé que (i) las temperaturas sean más altas, (ii) aumente el grado de aridez, (iii) se produzca un cambio en los regímenes pluviométricos estacionales con una mayor frecuencia de circunstancias extremas (Reynolds *et al.*, 2007).

Los índices de calidad del suelo son instrumentos de medida que informan sobre las características del suelo, así como de los procesos y propiedades que residen en el mismo (Dilly *et al.*, 2018). Por ello, es necesario que la metodología exprese la interacción que se produce entre los factores bióticos y abióticos en donde se describa el estado y salud del suelo (Koellner *et al.*, 2013). También es fundamental considerar cuál es el objetivo con el que se pretende evaluar el suelo, de tal modo que, la selección de los indicadores se enfoque respecto a lo que se procure abordar, sin dejar de lado la dinámica paisajística y los contrastes territoriales (de Andrade-Barbosa *et al.*, 2019). En base a esta premisa, Wilson *et al.* (2017) y Dilly *et al.* (2018) remarcan la necesidad de que los indicadores se agrupen en clústeres diferenciados por la naturaleza de la propiedad que se quiera analizar. Esto es, que los indicadores se dividan en propiedades físicas, químicas y biológicas.

Las propiedades físicas del suelo incluyen el uso eficiente del agua, los nutrientes y pesticidas (Navarro *et al.*, 2008). Los químicos se centran en la calidad del agua, la disponibilidad de agua y nutrientes y las condiciones de las que dispone la relación suelo-planta (SQI, 1996). Los indicadores biológicos contemplan la abundancia de macroinvertebrados y los subproductos, entre otros factores (Karlen *et al.*, 1997). Así pues, bajo estas consideraciones, el desarrollo de las tecnologías de información geográfica en combinación con las metodologías estadísticas vinculadas a la evaluación multicriterio ha generado un mayor acercamiento a la calidad del suelo desde una perspectiva más objetiva (Gómez y Barredo, 2005; Lamelas, 2009; Belenguer-Plomer, 2016; da

Silva y Cardozo, 2015). Un hecho que ha facilitado la cartografía a diferentes escalas de un concepto clave en el actual paradigma de cambio climático como es la calidad edáfica.

Tabla 1.1. Clasificación de los servicios ecosistémicos del suelo
(Dominati et al. 1997)

Servicio		Definición
Servicios de aprovisionamiento	Suministro de alimentos, madera y fibra	Los suelos apoyan físicamente a las plantas y les suministran nutrientes y agua. Al permitir que las plantas crezcan, los suelos permiten a los seres humanos utilizar plantas para una diversidad de propósitos.
	Suministro de materias primas	Los suelos pueden ser fuente de materias primas (turba, arcilla), pero la renovabilidad de estas poblaciones es cuestionable.
	Prestación de apoyo a las infraestructuras humanas y a los animales	Los suelos representan la base física sobre la que se encuentran las infraestructuras humanas y los animales (por ejemplo, el ganado).
Regulación de servicios	Mitigación de inundaciones	Los suelos tienen la capacidad de almacenar y retener agua, mitigando así las inundaciones.
	Filtrado de nutrientes y contaminantes	Los suelos pueden absorber y retener nutrientes (N, P) y contaminantes (E-coli, pesticidas) y evitar su liberación en cuerpos de agua.

Regulación del almacenamiento de carbono y los gases de efecto invernadero	Los suelos tienen la capacidad de almacenar carbono y regular su producción de gases de efecto invernadero como el óxido nitroso y el metano
Desintoxicación y reciclaje de residuos	Los suelos pueden absorber (físicamente) o destruir compuestos dañinos. La biota del suelo degrada y descompone la materia orgánica muerta, reciclando así los desechos.
Regulación de poblaciones de plagas y enfermedades	Al proporcionar hábitat a especies beneficiosas, los suelos pueden controlar la proliferación de plagas (cultivos, animales o seres humanos) y vectores de enfermedades nocivas (virus y bacterias).

1.2.1. Secuestro del carbono orgánico

El suelo es un factor activo en la agricultura, no solo como soporte de materia orgánica y nutrientes, sino también como reservorio o almacén del agua infiltrada (Hueso-González *et al.*, 2014, 2015, 2018). El análisis de determinadas propiedades edáficas indicadoras de la calidad del mismo es fundamental en este tipo de investigaciones, dado que cualquier cambio en los elementos que constituyen el sistema eco-geomorfológico (fundamentalmente, la cubierta vegetal y/o usos del suelo a medio y largo plazo, así como el Cambio Climático, a medio y largo plazo) tiene consecuencias individuales o conjuntas sobre los restantes elementos del mismo. En especial, cobra más relevancia cuando el propósito es implementar modelos dirigidos a la evaluación y predicción de la captura de carbono orgánico en el suelo, así como de su respuesta hidrológica, bajo diferentes ambientes mediterráneos, a fin de identificar tendencias futuras que permitan gestionar mejor el Cambio Global

y su afición territorial sobre dichos ambientes y su población. De hecho, las inversiones en secuestro de carbono, pueden contribuir a detener y revertir la degradación del suelo, así como a restaurar o rehabilitar terrenos degradados y marginales (IPCC, 2019); por ejemplo, forestar o reforestar áreas degradadas, puede incrementar el almacenamiento de carbono en la vegetación y el suelo, incrementar los sumideros de carbono (Amichev *et al.*, 2012) y aportar beneficios para la biodiversidad y los ecosistemas, si se emplea una diversidad de especies locales; en este sentido, las experiencias en algunos suelos mediterráneos son positivas en cuanto a la modificación de las características del terreno y la retención hídrica (Senciales y Blanco, 2001; Martínez Murillo y Senciales, 2004).

El almacenamiento de contenido de carbono orgánico (CO) de los suelos es controlado por el balance entre insumos de la biomasa vegetal y los retornos a la atmósfera (CO₂, metano, etc.), vía descomposición de la materia orgánica. Para la Sociedad Española de Ciencias Forestales (2022) define el término sumidero de carbono como almacén que proporcionan los bosques por la absorción de anhídrido carbónico de la atmósfera y, en consecuencia, la reducción de efecto invernadero. Ya existen indicios de que el contenido de CO del suelo se está viendo afectado por el aumento de las temperaturas y los cambios en las pautas de precipitación como consecuencia del Cambio Global. Las proyecciones futuras apuntan a que esta tendencia puede continuar, de modo que el contenido de CO del suelo se podría ver alterado en la mayor parte de Europa entre 2021 y 2050, con importantes descensos en la región mediterránea y algunos incrementos en el nordeste europeo. El suelo juega un papel fundamental en el contexto de Cambio Climático. Partiendo de la base de que una de las principales causas del Cambio Global se origina en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), los suelos pueden desempeñar un rol estratégico para disminuir los efectos del Cambio Climático por su intervención en el ciclo del carbono (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2015; Dimas y Gnacadja, 2009). En este sentido, es necesario señalar la importancia del manejo y gestión del suelo en el ámbito de las prácticas agrícolas y silvícolas, donde mantenga su potencial y, a su vez, aumente la disminución del CO₂ atmosférico, la cobertura vegetal y desacelere el aumento de la temperatura global (Gabathuler *et al.*, 2009; Agencia Europea del Medio Ambiente, 2015).

El almacenamiento de carbono a largo plazo comienza con la conservación de los bosques y el establecimiento de sistemas agroforestales (SAF). Su contribución a la remoción del carbono atmosférico y a la incorporación de la materia orgánica del suelo, lo convierte en el mayor sumidero de carbono de la naturaleza (Gallardo, 2002; Vela *et al.* 2012). A nivel cuantitativo, supone un medio de almacenaje que contempla una capacidad dos o tres veces mayor que la atmósfera y la vegetación, respectivamente, en el primer metro de suelo (Burbano-Orjuela, 2018). Cuando el carbono forma parte de los GEI se convierte en problema; sin embargo, cuando se encuentra en la parte orgánica del suelo se transforma en solución. De esta forma, cuando el carbono se encuentra integrado en el suelo contribuye a la fertilidad y, por ende, a la generación y mejora de los ecosistemas naturales y agrícolas, manteniendo la biodiversidad y los recursos naturales y, además, supone una fuente de abastecimiento alimenticio para la población mundial. Se obtiene, entonces, un ambiente en el que ayuda a la mitigación de los efectos del cambio climático reduciendo las emisiones de CO₂, disminuyendo las tasas de erosión y degradación de las tierras y la pérdida de la diversidad biológica (UNCCD, 2015; Cotler *et al.*, 2016).

En ambientes mediterráneos con patrones que conciernen periodos de sequías más longevos y precipitaciones más intensas e irregulares, unido a las actividades antropogénicas aceleradas conducen a una pérdida de la fertilidad de suelo (Jiménez *et al.*, 2013; Eaton *et al.*, 2008; Hueso-González *et al.*, 2016). Ante el aumento de los procesos de degradación y desertificación de los suelos, Yi *et al.* (2014) ha constatado que el intercambio de CO₂ se ha incrementado en un 6 % desde 1948 y se prevé que amplifique en un 8 % más desde la actualidad hasta 2050. Y es que, la disminución del secuestro de carbono y el aumento del riesgo de la degradación y desertificación se está produciendo ante la expansión potencial de las tierras secas (Huang *et al.* 2017), afirmando que la captación neta de carbono es un 27 % menor que en otros lugares (Yi *et al.* 2014). En contraposición, los bosques viejos comprenden un reservorio de carbono que supera, incluso, a aquellos entornos que conforman una aforestación, debido a que el depósito de carbono aumenta en este tipo de hábitats por comprender un lugar estable para la reserva de carbono (Jandl, 2005). Es por ello que, para una garantía de la sostenibilidad de sus funciones y una capacidad depuradora de contaminantes del suelo, es necesario una

adecuada gestión ambiental y residual en la que se integra el concepto calidad ambiental y economía. En consecuencia, se obtiene una recuperación de suelo contaminado y/o degradado, y un aumento de la cantidad y estabilidad de la biomasa y carbono secuestrado (Macías, 2004).

1.3. Erosión, degradación y desertificación

El Informe Especial sobre el Cambio Climático y la Tierra (SRCCL) define la tierra como «la parte terrestre de la biosfera que comprende los recursos naturales (suelo, aire cercano a la superficie, vegetación y otra biota, y el agua), los procesos ecológicos, la topografía y los asentamientos humanos e infraestructuras que operan dentro de este sistema» (Henry *et al.* 2018, adaptado de FAO 2007; UNCCD 1994). En un contexto de Cambio Climático, el suelo también se concibe como un elemento de gran fragilidad ante las fluctuaciones y el desequilibrio del sistema eco-geomorfológico, con una tendencia negativa inducida por la acción antropogénica, que desemboca en diversos aspectos en términos de reducción o pérdida de (i) productividad biológica, (ii) integridad ecológica o (iii) valor para los seres humanos (IPCC, 2019). En otras palabras, el Cambio Climático tiene una repercusión directa para la degradación del suelo, suponiendo un problema crítico para todos los ecosistemas del mundo (Ravi *et al.* 2010; Mirzabaev *et al.* 2015; FAO e ITPS 2015; Cerretelli *et al.* 2018). Esta pérdida de sustrato puede centrarse en uno o varios aspectos, con diversos énfasis en una mayor pérdida para la biodiversidad, los servicios del ecosistema o las funciones que pueda desempeñar el mismo (Montanarella, *et al.* 2018).

La degradación del sustrato se atribuye, junto a los factores climáticos, a la agricultura y la silvicultura insostenibles, a las prácticas de producción insostenibles y a las presiones antrópicas y socioeconómicas, entre las que se encuentran la rápida urbanización y el crecimiento de la población (Field *et al.* 2014b; Lal 2009; Beinroth *et al.* 1994; Abu Hammad y Tumeizi 2012; Ferreira *et al.* 2018; Franco y Giannini 2005; Abahussain *et al.* 2002). Anualmente, los suelos de la UE pierden más de 7 millones de toneladas de carbono debido a la gestión insostenible del territorio, es más, más del 25 % de las tierras de la UE se encuentran en riesgo de desertificación, especialmente en el área mediterránea (ECA, 2018).