

# CAPACIDAD DE SUMIDERO DE CARBONO de las Reservas de la Biosfera Españolas



Cristina Crespo Bastias  
Sonia Vega Rosete  
Rafael Villar Montero  
Rocío Hernández Clemente



ORGANISMO  
AUTÓNOMO  
PARQUES  
NACIONALES





# CAPACIDAD DE SUMIDERO DE CARBONO de las Reservas de la Biosfera Españolas

Cristina Crespo Bastias  
Sonia Vega Rosete  
Rafael Villar Montero  
Rocío Hernández Clemente



ORGANISMO  
AUTÓNOMO  
PARQUES  
NACIONALES



**unesco**  
Red Española de  
Reservas de la Biosfera



**La presente publicación se debe citar como:**

Bastias, Cristina C., Vega-Rosete, Sonia., Villar, Rafael., Hernández-Clemente, Rocío. 2025. Capacidad de sumidero de carbono de las Reservas de la Biosfera Españolas. OAPN. Madrid, pp 195. ISBN 978-84-8014-687-6

**Autores:** Cristina Crespo Bastias, Sonia Vega Rosete, Rafael Villar Montero, Rocío Hernández Clemente

**Coordinación técnica:** Antonio José López Fernández

**Colaboradores:** José Luis Quero Pérez, Pablo César Salazar Zarsoza, Enrique Naranjo Márquez

**Institución:** Universidad de Córdoba

**Fecha:** 21/03/2025

**Diseño gráfico y maquetación:** Cristina Crespo Bastias y Sonia Vega Rosete

**Edición:** Organismo Autónomo Parques Nacionales (OAPN)

**Coordinación:** Secretaría del Comité Español del Programa MaB

**Fotografía de portada:** Atardecer en la Collada de Moandi, Reserva de la Biosfera de Ponga. Autor: Juan de Tury

**ISBN:** 978-84-8014-687-6

**NIPO:** 678-25-003-5

# Prólogo

En un mundo cada vez más consciente de los efectos que está produciendo el cambio climático sobre los ecosistemas y la propia salud humana, y de su necesidad de mitigación, los sumideros de carbono surgen como una propuesta eficaz para capturar y almacenar CO<sub>2</sub> atmosférico. En este contexto, las Reservas de la Biosfera representan un escenario modélico para el estudio y la implementación de estrategias de conservación y gestión sostenible de los recursos naturales que optimicen su capacidad como sumideros de carbono.

Este estudio ofrece un análisis sobre la potencialidad que tienen las Reservas de la Biosfera en España para capturar y almacenar carbono, un aspecto fundamental para la conservación de la biodiversidad, el desarrollo sostenible y la lucha contra el cambio climático. Esto se hace a través de una precisa revisión de métodos de cuantificación y la presentación de herramientas prácticas para la evaluación y mejora de la gestión de los ecosistemas de estos territorios.

Las Reservas de la Biosfera, además de ser refugios de biodiversidad, desempeñan una función esencial en el mantenimiento de los procesos ecológicos, los usos tradicionales y la provisión de servicios ecosistémicos a la población. Como espacios de interacción entre el ser humano y la naturaleza, estas áreas han de ser gestionadas de manera integral, asegurando su sostenibilidad social, ecológica y económica, que es lo que se denomina como “gestión participativa”. El presente trabajo aborda esta realidad desde una perspectiva científica y aplicada, proporcionando herramientas clave para la cuantificación del carbono almacenado en diferentes componentes del ecosistema, incluyendo la biomasa, el carbono orgánico del suelo, la madera muerta y los detritos.

Un elemento importante de este trabajo es la metodología aplicada en la cuantificación de la capacidad de sumidero de carbono en las Reservas de la Biosfera, utilizando como caso de estudio la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena, en Córdoba. Mediante esta aplicación práctica, se exponen los desafíos y oportunidades que enfrentan estos espacios para maximizar su contribución a la mitigación del cambio climático.

Este trabajo no solo proporciona información valiosa para gestores, técnicos e investigadores ambientales, sino que también se presenta como un documento de gran relevancia para el ámbito de la ordenación territorial y la protección y mejora de las funciones de sumidero de carbono, en territorios que cuentan con unos objetivos, una zonificación y una gobernanza propia, como son las Reservas de la Biosfera.

Esta obra contribuirá, sin duda, a comprender mejor el papel crucial que pueden jugar las Reservas de la Biosfera en la lucha contra el cambio climático, y servirá de guía para futuras investigaciones y estrategias de conservación y desarrollo sostenible de administraciones públicas, junto a la comunidad científica y la sociedad en su conjunto.

Para finalizar, quiero agradecer a todos los colaboradores que han hecho posible la realización de este estudio, así como a los lectores que, a través de estas páginas, podrán explorar, cuestionar, replicar en otros lugares y aprender nuevos conocimientos que ayuden a resaltar la oportunidad que supone la figura de la Reserva de la Biosfera y la relevancia de los ecosistemas para el almacenamiento de carbono como herramienta para enfrentarnos al desafío que supone el cambio climático.

Javier Pantoja Trigueros

Director del Organismo Autónomo Parques Nacionales

# Índice de contenidos

<b>1. Antecedentes</b> .....	9
1.1. Cambio climático. Evolución y respuesta internacional .....	11
1.2. España y la gestión del uso del suelo: emisiones de gases de efecto invernadero y absorción de carbono.....	14
<b>2. Las Reservas de la Biosfera Españolas</b> .....	19
2.1. Reservas de la Biosfera: propósitos y contribuciones .....	21
2.2. Reservas de la Biosfera Españolas: descripción y desafíos .....	23
2.3. Objetivos generales y específicos del trabajo .....	27
<b>3. Métodos para la cuantificación de la capacidad de sumidero de     carbono</b> .....	29
3.1. Definición de sumidero de carbono.....	31
3.2. Variaciones en la emisión /absorción de carbono y el Protocolo de Kioto .....	33
3.3. Tipos de sumidero de carbono.....	34
3.4. Métodos de estimación de sumideros de carbono .....	36
3.4.1. Estimación de biomasa aérea y subterránea .....	36
3.4.2. Estimación del carbono orgánico en el suelo .....	48
3.4.3. Estimación del carbono en madera muerta.....	50
3.4.4. Estimación del carbono en detritus.....	55
3.5. Variación anual de las reservas de carbono .....	59
<b>4. Metodología aplicada para cuantificar la capacidad de sumidero de     carbono en las Reservas de la Biosfera</b> .....	61
4.1. Fase I. Extracción de superficie de formaciones vegetales en cada Reserva de la Biosfera .....	64
4.2. Fase II. Cálculo de carbono por tipo de sumidero y formación vegetal .....	65

4.3. Fase III. Cálculo del carbono total acumulado en cada Reserva de la Biosfera.....	70
<b>5. Cuantificación de sumidero de carbono aplicado al caso de estudio de RB Dehesas de Sierra Morena .....</b>	<b>73</b>
5.1. Descripción general de la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena .....	75
5.2. Cálculo de la superficie ocupada por tipo de formación vegetal en la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena .....	77
5.3. Cálculo de la distribución del carbono en los distintos tipos de sumideros.....	78
5.3.1. Resultados del carbono acumulado en la biomasa viva (aérea y subterránea) .....	79
5.3.2 Resultados del carbono orgánico acumulado en el suelo .....	84
5.3.3. Resultados del carbono acumulado en madera muerta.....	86
5.3.4. Resultados del carbono acumulado en detritus.....	87
<b>6. Limitaciones y posibles mejoras .....</b>	<b>89</b>
<b>7. Conclusiones.....</b>	<b>105</b>
<b>8. Referencias bibliográficas .....</b>	<b>109</b>
<b>9. Anexos .....</b>	<b>121</b>
<b>Índice de Tablas .....</b>	<b>188</b>
<b>Índice de Figuras.....</b>	<b>189</b>
<b>Índice de Anexos.....</b>	<b>190</b>
<b>Lista de acrónimos .....</b>	<b>192</b>

# 1. Antecedentes



*Cañon de Añisclo en la Reserva de la Biosfera de Ordesa y Monte Perdido.*  
*Autor: OAPN*



## 1.1. Cambio climático. Evolución y respuesta internacional

---

La historia climática de la Tierra ha experimentado variaciones significativas a lo largo de sus miles de millones años de existencia (Mitchell, 1976), cubriendo períodos glaciales, en los que vastas capas de hielo cubrían grandes extensiones de la superficie terrestre como ocurrió durante la última edad de hielo hace aproximadamente 10.000 años, hasta períodos cálidos, conocidos como interglaciares, donde una abundante vegetación dominaba los ecosistemas. Los forzamientos externos (e.g. erupciones volcánicas, variaciones orbitales o movimientos del eje de la Tierra, variaciones de manchas solares, entre otros) han sido los principales motores de esta variabilidad climática que ha sufrido la Tierra a lo largo de su historia (Trenberth, 2001).

Sin embargo, el cambio climático actual difiere notablemente de los anteriores en dos aspectos fundamentales. En primer lugar, está íntimamente vinculado al ser humano. Desde la Revolución Industrial, el incremento del uso de combustibles fósiles y otras prácticas insostenibles, como la deforestación y la agricultura intensiva, ha hecho que se liberen a la atmósfera grandes cantidades de gases de efecto invernadero (Karl y Trenberth, 2003). En segundo lugar, la velocidad a la que ocurre el cambio climático actual no tiene precedentes, es decir, el cambio está ocurriendo a un ritmo que no deja suficiente tiempo para que las especies y los ecosistemas se adapten a las nuevas condiciones climáticas (Joos y Spahni, 2008)

Los gases de efecto invernadero (GEI), producto de las actividades humanas, son los principales factores que impulsan el cambio climático actual (Raupach et al., 2007). Estos gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno, compuestos fluorados, entre otros) que se acumulan en la atmósfera, tienen la capacidad de absorber la radiación térmica emitida o reflejada por la Tierra, provocando un calentamiento progresivo de la atmósfera (Schneider, 1989). Este fenómeno ha resultado en un aumento de la temperatura global y ha alterado patrones climáticos a nivel global, generando eventos climáticos extremos como olas de calor, sequías, inundaciones, el aumento del nivel del mar y el deshielo del Ártico y la Antártida. Estos cambios representan una amenaza directa tanto para los ecosistemas como para las sociedades humanas en todo el planeta (IPCC, 2021).

El cambio climático es un desafío global cuyas repercusiones se extienden a todos los países del mundo, lo que resalta la necesidad urgente de una respuesta



coordinada a nivel internacional. En 1990, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) publicó su primer Informe de Evaluación, el cual se convirtió en el principal documento de referencia que impulsó a la necesidad de reflexionar y establecer una convención internacional sobre cambio climático (Alexander, 2016). En este contexto, diversas instituciones multilaterales, especialmente las Naciones Unidas, asumieron un papel de liderazgo, convirtiéndose en actores centrales para garantizar la implementación de medidas efectivas contra el cambio climático.

El primer encuentro multilateral relevante tuvo lugar en 1992, conocida como la Primera Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro, donde los países adoptaron un acuerdo global con el objetivo de "evitar interferencias peligrosas en el sistema climático". Desde entonces, se han celebrado 29 Conferencias de las Partes (COP) hasta noviembre de 2024, reuniones que buscan definir acciones y tomar decisiones para mitigar el cambio climático, comprometiendo a los países con metas específicas en su lucha contra este fenómeno (Kuyper et al., 2018). Entre las COP que han marcado hitos en la agenda climática global, destacan las siguientes:

*Ramas y tronco de Alcornoque en la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena.  
Autor: B. Ruiz Franco*





- La COP3 celebrada en Kioto (1997), donde se adoptó el Protocolo de Kioto, un acuerdo internacional vinculante que establecía compromisos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para los países industrializados (Breidenich et al., 1998). Este protocolo fue un hito en el reconocimiento de la responsabilidad diferenciada, es decir, que los países desarrollados debían liderar los esfuerzos de mitigación debido a su mayor contribución histórica al cambio climático.
- La COP21 celebrada en París (2015), donde se adoptó un tratado global histórico que fijó el objetivo de limitar el aumento de la temperatura global a menos de 2°C sobre los niveles preindustriales, y preferentemente a 1.5°C (Acuerdo de París) (Rhodes, 2016). Este acuerdo fue crucial porque, a diferencia de Kioto, incluyó compromisos de reducción tanto para los países desarrollados como en desarrollo, estableciendo un sistema de revisión periódica de las metas climáticas. Además, orientó los mercados financieros mediante una transición global hacia un modelo bajo en carbono y resiliente al cambio climático (Rhodes, 2016).
- La COP26 celebrada en Glasgow (2021), donde en esta conferencia se adoptó el Pacto Climático de Glasgow, un acuerdo que supuso un punto de inflexión, impulsando a los países a actualizar y fortalecer sus contribuciones determinadas a nivel nacional alineándolas con los objetivos del Acuerdo de París (Smith et al., 2021). Además, se establecieron importantes compromisos relacionados con la reducción de emisiones de metano, la descarbonización progresiva del sector energético, y la financiación climática para apoyar la adaptación y mitigación del cambio climático de los países en desarrollo.

Siguiendo los principios del Acuerdo de París, la Unión Europea se ha comprometido a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en al menos un 55% en comparación con los niveles de 1990 dentro del Marco de Políticas de Energía y Cambio Climático 2021-2030 (Kulovesi y Oberthür, 2020).

*Nieve en la cumbre de la Braña de Mumian, Reserva de la Biosfera de Somiedo.*

*Autor: J.R. García*





## 1.2. España y la gestión del uso del suelo: emisiones de gases de efecto invernadero y absorción de carbono

---

España ratificó la Convención Marco sobre el Cambio Climático el 21 de diciembre de 1993, el Acuerdo de París el 23 de diciembre de 2016, así como el marco de compromisos marcados por la Unión Europea. Con ello, España inició la elaboración periódica de inventarios de emisiones de GEI a finales de los años 80, con el fin de calcular, actualizar y revisar sus emisiones y absorciones de gases contaminantes, tanto de su territorio peninsular, como de las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla y los archipiélagos de las Islas Baleares y las Islas Canarias (MITECO, 2024). En la edición 2024 del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (serie 1990-2022), las estimaciones de emisiones se clasifican en cinco grandes sectores según el IPCC: 1) Energía; 2) Procesos industriales y uso de otros productos; 3) Agricultura; 4) Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura (LULUCF, por sus siglas en inglés); y 5) Residuos (MITECO, 2024).

En lo que compete a estudio sobre cuantificación de sumidero de carbono de las Reservas de la Biosfera y en el marco del protocolo de Kioto, nos enfocaremos en presentar brevemente el papel del Sector de Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (LULUCF) ya que abarca las emisiones y absorciones de los GEI generados por las actividades forestales, los cambios en los usos del suelo y la gestión de los recursos naturales.

Para su análisis y cuantificación, el sector LULUCF clasifica los usos de la tierra en seis categorías principales: tierras forestales, tierras de cultivo, pastizales, humedales, asentamientos y otras tierras (Tabla 1) (MITECO, 2024), más una categoría adicional de productos madereros. Estas categorías, se emplean en los informes internacionales para cuantificar las emisiones y absorciones de carbono en la nomenclatura CRF (*Common Reporting Format*, de la 4A a la 4G, ver Figura 1 para sus equivalencias en las categorías de uso del suelo). Para más información sobre la nomenclatura CRF se puede consultar la página web de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (<https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2023>)(UNFCCC, 2023).

*Ciervos en pradera en la Reserva de la Biosfera de Doñana.*

*Autor: Francisco Galván Morejón*



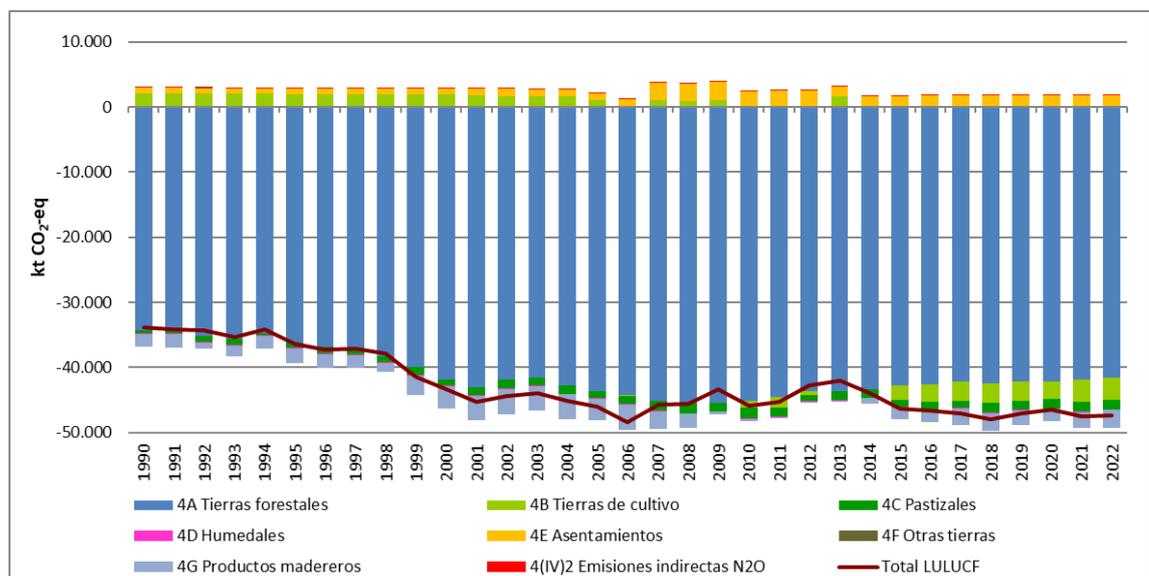


**Tabla 1. Definiciones de las categorías de uso de la tierra del sector LULUCF.** Fuente: extraído de la edición 2024 del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (serie 1990-2022) (MITECO, 2024a).

Categoría	Definición
<b>Tierras forestales (4A)</b>	<p>Tierra con vegetación leñosa y coherente con los umbrales utilizados para definir las tierras forestales en el Inventario Nacional. También comprende sistemas con vegetación actualmente inferior al umbral de la categoría tierras forestales, pero que se espera que lo rebasen.</p> <p>La definición operativa de bosque para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) y para el primer periodo del Acuerdo de París, queda determinada por las siguientes especificaciones:</p> <p><i>Bosque, comprende las tierras pobladas con especies forestales arbóreas como manifestación vegetal dominante y que se ajusten a los siguientes parámetros:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fracción de cabida cubierta arbórea (FCC) <math>\geq 20</math> %.</li> <li>- Superficie mínima 1 hectárea.</li> <li>- Altura mínima de los árboles maduros 3 metros.</li> </ul> <p><i>También deben ser considerados bosques, los sistemas de vegetación actualmente inferiores a dichos umbrales pero que se espera que lo rebasen.</i></p> <p><i>Adicionalmente se ha considerado para el cómputo de las superficies de bosque un umbral de anchura mínima de 25 metros para los elementos lineales.</i></p>
<b>Tierras de cultivo (4B)</b>	<p>Tierra cultivada, incluidos los arrozales y los sistemas de agro-silvicultura donde la estructura de la vegetación se encuentra por debajo de los umbrales utilizados para la categoría Tierras forestales. Esta categoría se divide en: cultivos herbáceos y cultivos leñosos.</p>
<b>Pastizales (4C)</b>	<p>Tierras de pastoreo y pastizales dominados por vegetación herbácea o arbustiva, así como con vegetación leñosa con FCC arbórea mayor o igual a 10 %, que no se consideran tierras de cultivo y que están por debajo de los valores umbrales utilizados en la categoría Tierras forestales.</p>
<b>Humedales (4D)</b>	<p>Superficies cubiertas o saturadas por agua durante la totalidad o parte del año y que no está dentro de las categorías Tierras forestales, Tierras de cultivo o Pastizales.</p>
<b>Asentamientos o artificial (4E)</b>	<p>Toda la tierra desarrollada, incluidas las infraestructuras de transporte y los asentamientos humanos de cualquier tamaño, a menos que estén incluidos en otras categorías.</p>
<b>Otras tierras (4F)</b>	<p>Suelo desnudo, roca, hielo y todas aquellas zonas que no estén incluidas en ningunas de las otras cinco categorías anteriores.</p>



A continuación, se muestra las emisiones y absorciones del sector LULUCF en España expresadas en términos de kilotoneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (kt CO<sub>2</sub>-eq) para el período 1990-2022 para cada categoría de uso de la tierra (Figura 1; Tabla 2) (MITECO, 2024a). Destaca la categoría de Tierras forestales, que ha sido el principal sumidero de carbono a lo largo del período 1990-2022, con absorciones superiores a -40.000 kt CO<sub>2</sub>-eq anuales. La categoría Tierras de cultivo ha pasado de ser una fuente emisora en 1990 (2.093 kt CO<sub>2</sub>-eq) a convertirse en un sumidero en 2022 (-3.344 kt CO<sub>2</sub>-eq), mostrando una tendencia creciente en la absorción de carbono. Los pastizales y humedales han funcionado como sumideros de carbono, aunque con una absorción menor en comparación con otras categorías. La categoría Asentamientos y Otras tierras ha sido una fuente de emisiones en aumento. La categoría Productos madereros ha mostrado variaciones, con períodos de menor absorción de carbono, seguidos de una ligera recuperación en los años más recientes. En general, el sector LULUCF ha mejorado su capacidad de absorción, pasando de -33.893 kt CO<sub>2</sub>-eq en 1990 a -47.417 kt CO<sub>2</sub>-eq en 2022 (Tabla 2), consolidándose como un sector desumidero de carbono clave en España.



**Figura 1. Emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub> en el sector LULUCF (kt CO<sub>2</sub>-eq).** Figura extraída de la edición 2024 del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (serie 1990-2022)(MITECO, 2024).

*Excursionistas en el interior de la formación de laurisilva.*

*Autora: Mónica Moraleda Altares*





**Tabla 2. Emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub> en el sector LULUCF (kt CO<sub>2</sub>-eq).** Fuente: extraído de la edición 2024 del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (serie 1990-2022) (MITECO, 2024).

Categoría	1990	2005	2010	2015	2019	2020	2021	2022
Tierras forestales	-34.250	-43.678	-45.085	-42.731	-42.192	-42.116	-41.884	-41.631
Tierras de cultivo	2.093	1.009	-1.136	-2.197	-2.968	-2.739	-3.424	-3.344
Pastizales	-433	-1.081	-1.574	-1.095	-1.370	-1.440	-1.473	-1.487
Humedales	-138	-104	-129	-112	-96	-83	-79	-75
Asentamientos	830	1.115	2.408	1.596	1.790	1.805	1.816	1.828
Otras tierras	5	9	6	4	6	6	6	6
Productos madereros	-2.020	-3.308	-368	-1.836	-2.168	-1.919	-2.488	-2.725
Emisiones indirectas de N <sub>2</sub> O	20	18	16	13	10	10	9	9
<b>TOTAL LULUCF (kt CO<sub>2</sub>-eq)</b>	<b>-33.893</b>	<b>-46.020</b>	<b>-45.862</b>	<b>-46.358</b>	<b>-46.988</b>	<b>-46.475</b>	<b>-47.516</b>	<b>-47.417</b>
<b>Emisiones LULUCF</b>	<b>2.947</b>	<b>2.151</b>	<b>2.430</b>	<b>1.614</b>	<b>1.806</b>	<b>1.821</b>	<b>1.832</b>	<b>1.843</b>
<b>Absorciones LULUCF</b>	<b>-36.840</b>	<b>-48.171</b>	<b>-48.292</b>	<b>-47.972</b>	<b>-48.794</b>	<b>-48.296</b>	<b>-49.348</b>	<b>-49.260</b>

Evolución de las emisiones (+) y absorciones (-) de CO<sub>2</sub> en el sector LULUCF.

Para más información sobre la cuantificación de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero para cada categoría de uso de la Tierra en España por diversas actuaciones antrópicas (e.g. forestaciones o reforestaciones que conducen a un cambio de uso de la tierra, etc) o naturales (e.g. crecimiento de los árboles), se puede consultar el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, disponible en el portal del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) (MITECO, 2024): <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-spanol-de-inventario-sei-/inventario-gases-efecto-invernadero.html>.

Nuestro trabajo, a diferencia de evaluar las ganancias o pérdidas como hace este Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, calcula el stock o acumulación de carbono total en diferentes tipos de sumidero y formaciones vegetales propias de diferentes usos de la tierra.

*Vistas del pueblo de Sotres en la Reserva de la Biosfera Picos de Europa.*  
 Autor: José Luis Carrera Codeseira





## 2. Las Reservas de la Biosfera Españolas



*Lago Ercina en la Reserva de la Biosfera Picos de Europa.  
Autor: José Luis Carrera Codeseira*



## 2.1. Reservas de la Biosfera: propósitos y contribuciones

---

Las Reservas de la Biosfera españolas se rigen por tres propósitos interrelacionados, que son esenciales para su funcionamiento: i) proteger los ecosistemas y paisajes representativos de la diversidad biológica de cada región; ii) mantener la diversidad genética de las especies y asegurar su supervivencia, especialmente aquellas que están amenazadas o en peligro de extinción; y iii) garantizar que los procesos ecológicos y los servicios ecosistémicos continúen funcionando de manera saludable (Álvarez et al., 2012)

Por lo que respecta al desarrollo sostenible, las Reservas de la Biosfera promueven actividades económicas y humanas que sean ecológicamente sostenibles y socialmente equitativas, además de asegurar que las comunidades locales se beneficien del uso sostenible de los recursos naturales. Ello pasa por valorar y utilizar los conocimientos tradicionales y las prácticas culturales en la gestión de los recursos naturales (Araya y Clüsener-Godt, 2007).

Por último, las Reservas de la Biosfera deben facilitar una investigación científica que contribuya a la conservación y al uso sostenible de la biodiversidad, así como una educación ambiental que promueva la conciencia pública sobre la importancia de la conservación y el desarrollo sostenible y fomente el intercambio de conocimientos y experiencias a nivel local, regional e internacional (Mulero - Mendigorri, 2004).

En cuanto a sus contribuciones, las Reservas de la Biosfera son áreas clave para armonizar la relación entre las personas y la naturaleza, asegurando que las actividades humanas se lleven a cabo de manera que se preserve el medio ambiente para las futuras generaciones y reconociendo todos los valores que los recursos naturales y la biodiversidad aportan a la humanidad. Esta importancia se puede concretar y derivar en los siguientes aspectos (Álvarez et al., 2012; Araya y Clüsener-Godt, 2007; OAPN, 2009).

- Bancos de genes y conservación de la biodiversidad: Las Reservas de la Biosfera actúan como reservorios genéticos al preservar una amplia diversidad de genes, especies y ecosistemas, muchos de los cuales se encuentran amenazados debido al cambio climático y la actividad humana.
- Ecosistemas saludables: fortalecen el mantenimiento de los procesos ecológicos que dan soporte a la vida. Entre sus principales contribuciones en este ámbito están: evitar la erosión del suelo, proteger los manantiales y



fuentes de agua, mantener los agentes descomponedores que facilitan el reciclaje de nutrientes y reducir los contaminantes del aire y del agua.

- **Aulas abiertas:** son espacios para investigar la organización y el movimiento dinámico de los recursos naturales, incluyendo el efecto del ser humano. Permiten, a través de la investigación, restaurar los paisajes que han sido afectados por la actividad humana, identificar especies que han desaparecido, monitorear procesos de cambio climático para la búsqueda de recuperación de los ecosistemas y sus componentes, ayudando a tomar mejores decisiones en la conservación y manejo sostenible.
- **Ordenamiento del territorio:** Una de las grandes fortalezas de las Reservas de la Biosfera es su enfoque de gestión territorial integrada, basado en la participación activa de diversos actores. Todos los grupos sectoriales, propietarios de terrenos, instituciones públicas, científicos, agricultores, industriales, grupos conservacionistas, inmersos en estos territorios pueden debatir los conflictos e intereses comunes, coordinar y trabajar unidos para la búsqueda de una gestión integral del territorio.
- **Empoderamiento:** Las Reservas de la Biosfera desempeñan un papel clave en el fortalecimiento del liderazgo local y la gobernanza participativa. Estos espacios permiten que los gobiernos locales y las comunidades tengan un mayor control y autonomía en la toma de decisiones ambientales, promoviendo soluciones adaptadas a sus necesidades y realidades socioeconómicas.

*Paneles en una exposición en la Reserva de la Biosfera de la Sierra del Rincón.*

*Autor: OAPN*





## 2.2. Reservas de la Biosfera Españolas: descripción y desafíos

En 2024, la Red Mundial de Reservas de la Biosfera de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) cuenta con un total de 759 reservas distribuidas en 136 países (UNESCO, 2024). España lidera esta iniciativa global con 55 Reservas de la Biosfera, lo que representa el 7,3 % del total mundial, consolidándose como referente internacional en el programa Hombre y Biosfera (MaB) de la UNESCO (UNESCO, 2024). Estas reservas están distribuidas en 16 de las 17 comunidades autónomas, incluidas cuatro transfronterizas: tres con Portugal y una intercontinental con Marruecos (Figura 2), con una superficie terrestre total protegido del territorio de 8.006.890 ha y de superficie marina de 962.942 ha (Tabla 3). Este liderazgo no solo evidencia el compromiso de España con la conservación y la sostenibilidad, sino que refleja también su carácter de propuesta de soluciones innovadoras frente a desafíos ambientales globales.



Figura 2. Mapa de distribución de las Reservas de la Biosfera Españolas en 2024.



**Tabla 3. Superficie total de las Reservas de la Biosfera Españolas.** T: superficie terrestre, M: superficie de agua. <sup>1</sup>Reservas transfronterizas. Fuente: Organismo Autónomo de Parques Nacionales (OAPN).

CCAA	Provincia	Reserva de la Biosfera	Superficie (ha)
Andalucía	Cádiz y Málaga	Sierra de Grazalema <sup>1</sup>	53.411
	Huelva, Sevilla y Cádiz	Doñana	264.785 (T)/ 5.378 (M)
	Jaén	Sierras de Cazorla, Segura y las Villas	201.064
	Huelva	Marismas de Odiel	12.447 (T)/ 6.429 (M)
	Granada, Almería	Sierra Nevada	172.238
	Málaga	Sierra de las Nieves <sup>1</sup>	932.864
	Almería	Cabo de Gata-Níjar	37.499 (T) /12.013 (M)
	Huelva, Sevilla y Córdoba	Dehesas de Sierra Morena	424.400
	Cádiz y Málaga / Marruecos / Aguas intermedias	Intercontinental del Mediterráneo <sup>1</sup>	423.535 (T) / 470.600 (T) / 13.050 (M)
Aragón	Huesca	Ordesa-Viñamala	117.364
	Teruel (Aragón), Albacete y Cuenca (Castilla-La Mancha), Valencia (Comunidad Valenciana)	Valle del Cabriel	421.766
Baleares	Baleares	Menorca	69.480 (T) / 445.005 (M)
Canarias	Santa Cruz de Tenerife	La Palma	70.832 (T) / 20.894 (M)
	Las Palmas	Lanzarote	90.610 (T) / 38.700 (M)
	Santa Cruz de Tenerife	El Hierro	26.871 (T) / 31.731 (M)
	Santa Cruz de Tenerife	La Gomera	37.178 (T) / 47.343 (M)
	Santa Cruz de Tenerife	Macizo de Anaga	15.489 (T) / 33.236 (M)
Castilla La Mancha	Albacete, Ciudad Real, Cuenca y Toledo	La Mancha Húmeda	418.087
Castilla La Mancha y Valencia	Cuenca y Valencia	Alto Turia	67.080
Castilla y León	León	Valle de Laciana	21.700
	León	Babia	38.146
	León	Alto Bernesga	33.442
	León	Los Argüellos	33.260
	León	Valles de Omaña y Luna	81.162
	León	Ancares Leoneses	56.786
	Salamanca	Sierras de Béjar y Francia	199.140
	Segovia	Real Sitio de San Ildefonso - el Espinar	35.414
	León (Castilla y León), (Principado de Asturias) y (Cantabria)	Picos de Europa	64.660
	Zamora y Salamanca (Castilla y León/España) - Portugal	Meseta ibérica <sup>1</sup>	475.241
Cataluña	Barcelona y Girona	Montseny	50.167
	Tarragona	Terres de l'Ebre	287.444 (T) / 80.286 (M)
	Lleida	Val d'Aran	63.168
Comunidad de Madrid	Comunidad de Madrid	Cuencas altas de los ríos Manzanares, Lozoya y Guadarrama	105.654
	Comunidad de Madrid	Sierra del Rincón	116.092
Comunidad Foral de Navarra	Comunidad Foral de Navarra	Irati	53.660
	Comunidad Foral de Navarra	Bardenas reales	39.273
Extremadura	Cáceres	Monfragüe	116.160
	Cáceres (España) / Portugal	Tajo-Tejo internacional <sup>1</sup>	259.643 /168.533
	Badajoz	La Siberia	155.717
Galicia	Lugo	Terras do Miño	363.669
	Orense	Área de Allariz	21.482
	Lugo	Os Ancares Lucenses y Montes de Cervantes, Navia y Becerreá	53.664
	A Coruña	Mariñas Coruñesas e Terras de Mandeo	113.970 (T) / 2.866,45 (M)
	Lugo y Orense	Ribeira Sacra e Serras do Oribio e Courel	306.535
	Orense (Galicia-España) - Portugal	Gêres-Xurés <sup>1</sup>	62.819 / 196.838
Gran Canaria	Las Palmas	Gran Canaria	65.992 (T) / 37.604 (M)
	Las Palmas	Fuerteventura	166.452 (T) / 187.836 (M)
La Rioja	(La Rioja)	Valles del Leza, Jubera, Cidacos y Alhama	122.810
País Vasco	Bizkaia (País Vasco)	Urdaibai	22.068
Principado de Asturias	Principado de Asturias	Somiedo	29.121
	Principado de Asturias	Muniellos	55.657
	Principado de Asturias	Redes	37.803
	Lugo y Principado de Asturias	Río Eo, Oscos y Terras de Burón	158.883 (T) / 571 (M)
	Principado de Asturias	Las Ubiñas - La Mesa	45.163
	Principado de Asturias	Ponga	20.506



Desde su objetivo inicial como áreas de conservación, las Reservas de las Biosfera han evolucionado hacia una visión más amplia como "laboratorios de sostenibilidad", donde se diseñan y prueban estrategias para mitigar problemas globales como la pérdida de biodiversidad y el cambio climático (UNESCO, 2010).

En España, las Reservas de la Biosfera protegen una gran diversidad de ecosistemas, incluyendo bosques mediterráneos, atlánticos y de ribera, formaciones arbustivas, praderas de alta montaña, humedales y ecosistemas marinos. Como referencia, el Anexo 1 presenta un listado de los ecosistemas presentes en algunas de estas reservas. Además de su función como figura de protección, estas áreas garantizan la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano, como la regulación del agua, la captura de carbono y la prevención de la erosión (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Asimismo, fomentan el desarrollo de actividades humanas sostenibles, promoviendo la participación activa de las comunidades locales en su gestión y conservación (Castaño-Quintero et al., 2019).

No obstante, este modelo enfrenta desafíos significativos bajo el escenario de cambio global que vivimos. La pérdida creciente de biodiversidad, el abandono de prácticas agrícolas tradicionales, y la presión del turismo masivo están poniendo en riesgo el buen funcionamiento y la provisión de servicios ecosistémicos de los ecosistemas, y de las Reservas de la Biosfera en particular (UNESCO, 2024). La pérdida de biodiversidad, por ejemplo, no solo compromete el equilibrio de los ecosistemas, sino que también incrementa la vulnerabilidad de éstos ante cambios abruptos (Sanz y Galán, 2021). A esto se suman problemas estructurales como el financiamiento insuficiente, la débil coordinación institucional y la falta de participación comunitaria, que limitan la efectividad del modelo (IUCN, 2023).



*Cartel informativo de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai junto a la carretera.  
Autor: OAPN*



Para superar estos desafíos, es fundamental avanzar en la puesta en valor de los servicios ecosistémicos que, según el Millennium Ecosystem Assessment (2005), se clasifican en servicios de aprovisionamiento (agua, alimentos, energía), regulación (purificación del agua, regulación climática y captación de carbono), culturales (educación, recreación), todos ellos sustentados en los servicios de soporte (ciclo de nutrientes, formación del suelo, entre otros).

En este contexto, España cuenta con herramientas de planificación y monitoreo clave, como el Sistema de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental, desarrollado por el MITECO (MITECO, 2023). Esta herramienta permite evaluar la eficacia de las acciones implementadas en las reservas, proporcionando datos esenciales para ajustar estrategias y mejorar la gestión de estos espacios protegidos.

Además, el compromiso de España con el programa MaB se refuerza mediante iniciativas de educación ambiental y sensibilización social. Estas acciones buscan generar un mayor compromiso hacia la protección de estos espacios, promoviendo la sostenibilidad y garantizando la provisión de servicios ecosistémicos para las generaciones futuras. La experiencia española en gestión de Reservas de la Biosfera, si bien enfrenta desafíos, puede servir como modelo para otros países, destacando la importancia de un enfoque integrador que equilibre la conservación de la naturaleza con las necesidades humanas (OAPN, 2009).

En conclusión, las Reservas de la Biosfera en España tienen el desafío de mantener un equilibrio entre la conservación y el desarrollo sostenible en beneficio de la humanidad y el planeta (Araya y Clüsener-Godt, 2007). Con un compromiso continuo hacia la investigación, la educación y la planificación estratégica, estas áreas protegidas tienen el potencial de consolidarse como referentes globales en la lucha contra la crisis climática y la pérdida de biodiversidad.

*'Saca de las Yeguas' en la Reserva de la Biosfera Doñana.  
Autor: Manuel Simón Martínez Martín*





## 2.3. Objetivos generales y específicos del trabajo

---

El objetivo general de este libro es establecer un método de cálculo que permita estimar de un forma práctica, accesible y fiable la capacidad de almacenamiento de carbono que tienen las Reservas de la Biosfera Españolas en función de sus diferentes formaciones vegetales y tipos de sumidero.

Para alcanzar el objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- **Revisión bibliográfica exhaustiva:** Se llevará a cabo una búsqueda sistemática de estudios previos que hayan hecho estimaciones de almacenamiento de carbono en las Reservas de la Biosfera, con el fin de recopilar y analizar la información más relevante disponible.
- **Recopilación de estudios de caso:** Se identificarán investigaciones similares que puedan servir como referencia para la aplicación de metodologías y la comparación de resultados.
- **Identificación de métodos de cálculo:** Se analizarán y seleccionarán las metodologías más adecuadas para estimar la capacidad de carbono acumulado en los principales ecosistemas peninsulares, incluyendo bosques y matorrales esclerófilos, sistemas adhesionados, pastizales mediterráneos, bosques de ribera, de coníferas y frondosas, humedales, cultivos, entre otros.
- **Aplicación práctica:** Se implementará la metodología propuesta de cálculo para la capacidad de sumidero de carbono en el caso de estudio concreto de la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena, como ejemplo representativo del enfoque desarrollado en este libro.

Esta investigación pretende aportar herramientas útiles para la gestión y conservación de los ecosistemas naturales, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático a través de una mejor comprensión del papel de las Reservas de la Biosfera en la captura y almacenamiento de carbono.

Es importante destacar que este estudio se centra en los distintos tipos de sumideros de carbono presentes en los ecosistemas terrestres. No obstante, algunas Reservas de la Biosfera también incluyen superficies marinas dentro de sus límites, las cuales desempeñan un papel relevante en la captura y almacenamiento de carbono. La exclusión de estos sumideros marinos en el análisis se debe principalmente a la falta de datos disponibles que permitan una evaluación precisa de su contribución en este contexto.



### 3. Métodos para la cuantificación de la capacidad de sumidero de carbono



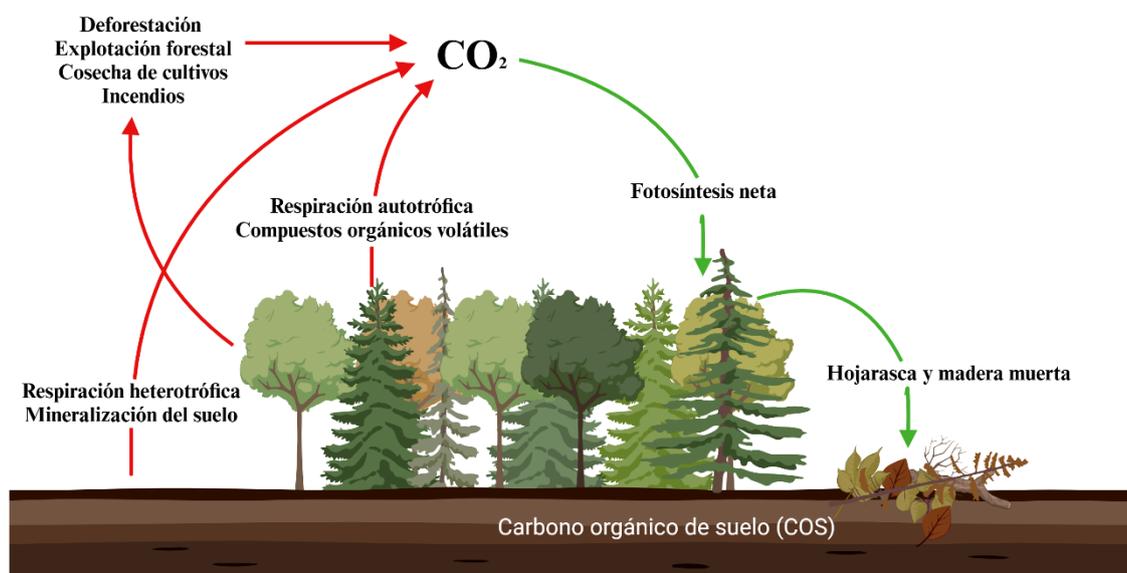




### 3.1. Definición de sumidero de carbono

El concepto de sumidero de carbono hace referencia a cualquier sistema natural o artificial capaz de absorber y almacenar carbono, regulando su flujo en el medio ambiente (Grace, 2004). En el caso de los ecosistemas vegetales, este proceso ocurre principalmente a través de la fotosíntesis, mediante el cual las plantas capturan dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) de la atmósfera y lo utilizan para sintetizar compuestos orgánicos esenciales para su crecimiento (Figura 3).

Parte de este carbono queda retenido en la biomasa vegetal, fracción que con la caída de hojarasca y madera muerta se deposita en el suelo y se incorpora al mismo en forma de materia orgánica (COS, Carbono Orgánico del Suelo). Sin embargo, existen procesos que pueden liberar nuevamente este carbono al ambiente. Por ejemplo, la mineralización del suelo y la respiración heterotrófica conducen a la pérdida de carbono almacenado. Por otra parte, la respiración autótrofa de las plantas y la emisión de compuestos orgánicos volátiles también contribuyen a la liberación de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera (Grace, 2004). Otro factor que influye en el balance de carbono es la eliminación de vegetación debido a actividades humanas como la deforestación, la cosecha de cultivos y la explotación forestal, o por fenómenos naturales como incendios, lo que provoca una liberación significativa de carbono a la atmósfera (Figura 3).



**Figura 3. Flujos de absorción y emisión de carbono y almacenamiento de carbono (sumideros) en ecosistemas vegetales.** Las líneas en verde representan las absorciones y las líneas rojas las emisiones.



El equilibrio entre estos procesos determina si un ecosistema actúa como sumidero o fuente de carbono (Fatichi et al., 2018). Si la absorción de carbono por fotosíntesis y su retención en el suelo superan las emisiones generadas por respiración y degradación, el ecosistema funciona como un sumidero de carbono, ayudando a mitigar el cambio climático. En cambio, si las emisiones superan la capacidad de absorción, el ecosistema se convierte en una fuente de carbono, contribuyendo al aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y al calentamiento global (Figura 3).



*Robles melojos con helechos comunes en la Reserva de la Biosfera Sierras de Béjar y Francia. Autor: OAPN*



*Sendero a través entre pastizales y dehesas en la Reserva de la Biosfera de Monfragüe. Autor: OAPN*



## 3.2. Variaciones en la emisión /absorción de carbono y el Protocolo de Kioto

---

En el artículo 3.3 del Protocolo de Kioto (ONU, 1998), menciona *“las variaciones netas de las emisiones por las fuentes y la absorción por los sumideros de gases de efecto invernadero que se deban a la actividad humana directamente relacionada con el cambio del uso de la tierra y la selvicultura, limitada a la forestación, reforestación y deforestación desde 1990, calculadas como variaciones verificables del carbono almacenado en cada período de compromiso, será utilizadas a los efectos de cumplir los compromisos de cada Parte [...]”*.

En otras palabras, de acuerdo con el artículo 3.3 del Protocolo, los países firmantes (entre ellos España) tienen obligación de informar sobre actividades de forestación, reforestación, y deforestación, contabilizándose las absorciones, pero también las emisiones si estas actividades reducen el carbono almacenado en vez de aumentarlo (emisiones netas de CO<sub>2</sub>).

Se entiende por:

- **Forestación** es la conversión, por actividad humana directa, de tierras que carecían de bosque, durante un periodo de al menos 50 años, en tierras forestales mediante plantación, siembra o fomento antrópico de semilleros naturales (FAO, 2018).

- **Reforestación** es la conversión por actividad humana directa de tierras no boscosas en boscosas mediante plantación, siembra o fomento antrópico de semilleros naturales, en tierras que estuvieron forestadas pero que actualmente están deforestadas (FAO, 2018).

- **Deforestación** es la conversión de tierras boscosas en no forestales por actividad humana directa (FAO, 2018).

*Pinar de Pinus pinea en la Reserva de la Biosfera de Doñana. Autor: OAPN*





### 3.3. Tipos de sumidero de carbono

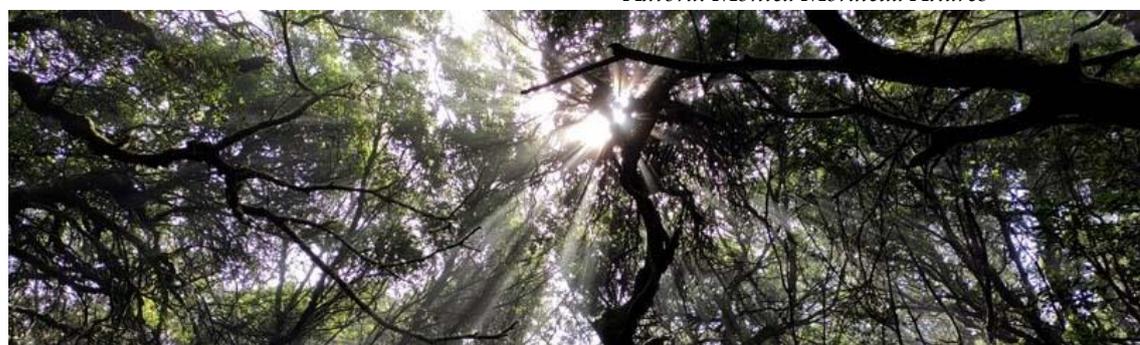
Se reconocen cinco tipos de sumidero de carbono en los ecosistemas terrestres según el Reglamento LULUCF (Tabla 4), obtenidos de la separación de las categorías de sumidero de carbono contemplados en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) (UNFCCC, 2023). Estos sumideros se encuentran conectados por distintos flujos que transfieren el carbono de unos a otros sumideros (Figura 4).

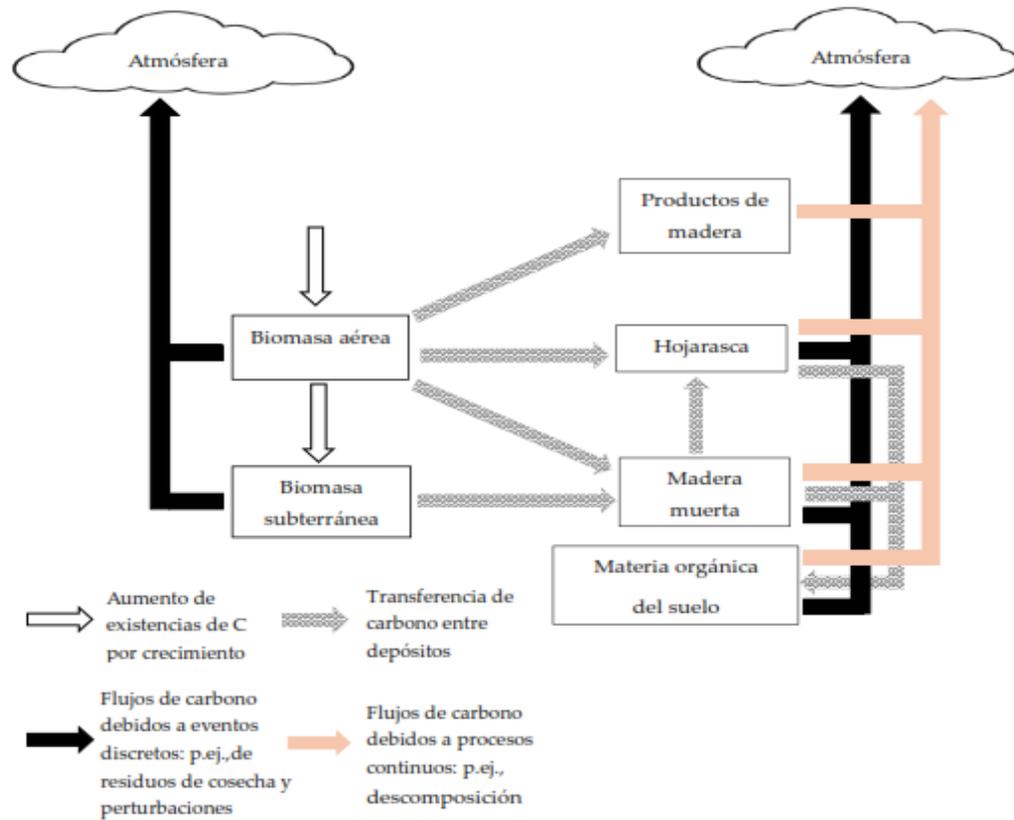
**Tabla 4. Definición de los tipos de sumidero de carbono en ecosistemas terrestres que se contemplan en UNFCCC y LULUCF.**

Tipo de sumidero (UNFCCC)	Tipo de sumidero (LULUCF)	Descripción
<b>Biomasa viva</b>	Biomasa aérea	Es la cantidad total de biomasa vegetal que se encuentra por encima del suelo en un área determinada. Esta biomasa incluye todos los componentes vivos de las plantas, tales como troncos, ramas y hojas.
	Biomasa subterránea	Toda la biomasa de raíces vivas.
<b>Suelo</b>	Carbono orgánico del suelo	Comprende el carbono orgánico en los suelos minerales y orgánicos a una profundidad específica seleccionada.
<b>Materia orgánica muerta</b>	Madera muerta	Toda biomasa vegetal muerta sobre el suelo: troncos en pie, madera caída sobre el suelo y material leñoso enterrado, además de raíces muertas y cepas con un diámetro igual o superior a 10 cm.
	Detritus o Hojarasca	Toda biomasa vegetal muerta sobre el suelo: hojas, ramas, semillas y cáscaras de frutos en diferentes estados de descomposición.

A estos depósitos se les debería añadir una categoría adicional representada por los Productos madereros, considerados como una categoría por la UNFCCC y como un depósito adicional por el Reglamento LULUCF en las categorías contables de tierras forestadas y tierras forestales gestionadas.

*Rayos de sol penetrando el dosel de la laurisilva en la Reserva de la Biosfera El Hierro.  
Autora: Mónica Moraleda Altares*





**Figura 4. Ciclo de carbono generalizado en los ecosistemas terrestres.** Extraída del capítulo 2, volumen 4, Guía IPCC 2006.

*Costa acantilada de Anaga con cardones en la Reserva de la Biosfera Macizo de Anaga. Autora: Pilar Martín Peinado*





## 3.4. Métodos de estimación de sumideros de carbono

---

### 3.4.1. Estimación de biomasa aérea y subterránea

Actualmente, existen diversos métodos para la estimación de la biomasa aérea y subterránea, clasificados principalmente con dos enfoques diferentes: métodos directos basados en técnicas destructivas y métodos indirectos basados en técnicas no destructivas. Cada metodología presenta ventajas y limitaciones específicas, y su elección va a depender de las características ecológicas, la extensión del área de estudio y los datos y recursos disponibles para su estimación. A continuación, se pasa a detallar la metodología para ambos tipos de métodos.

#### 3.4.1.1. Métodos directos basados en técnicas destructivas

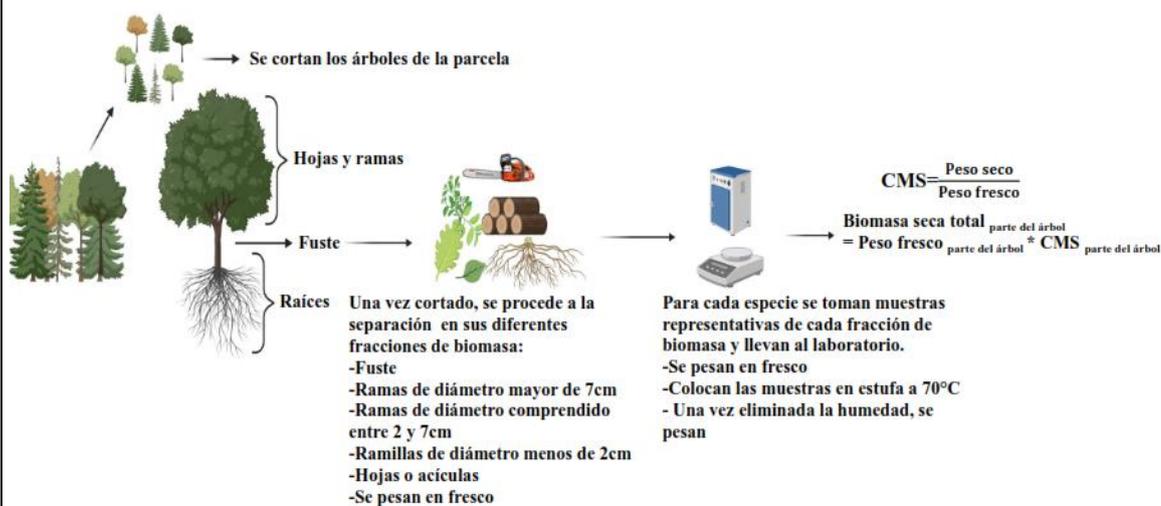
Los métodos directos basados en técnicas destructivas para cuantificar la biomasa y el contenido de carbono en los árboles, tal y como lo describen en Montero (2005), implica una serie de pasos detallados que comienzan mediante la selección de parcelas en las áreas de interés con muestras de árboles representativos en tamaño y especie dentro del área de estudio. Para cada árbol seleccionado, se toman datos dasométricos como son la altura de los árboles (H), el diámetro a la altura del pecho (DAP), el estado fitosanitario, la cobertura del dosel o el índice de área foliar (IAF). El árbol es talado y dividido en sus componentes principales: tronco, ramas, hojas y, en algunos casos, raíces, las cuales se extraen cuidadosamente mediante excavación (Figura 5). Cada una de estas partes se pesa inmediatamente después de la separación para registrar su peso fresco. Posteriormente, se toman muestras representativas de cada componente y se someten a un proceso de secado en horno a una temperatura constante, generalmente alrededor de 70 °C, hasta que alcanzan un peso constante, eliminando así toda la humedad (Figura 5). Con los datos del peso seco y el peso fresco de las muestras representativas se calcula el contenido de materia seca ( $CMS = \text{peso seco} / \text{peso fresco}$ ). La biomasa seca total de cada parte del árbol se calcula como peso fresco  $\times$  CMS de cada parte.

Al igual que para los árboles, la metodología para el matorral consiste en la selección de parcelas representativas de cada tipo de formación de matorral distribuidas en todo el territorio nacional, se identifican a las especies de matorral clave, y se recolectan datos sobre la fracción de cubierta (Fcc) y la altura media del matorral (Hm). Cada parcela seleccionada (entre 4 y 20 m<sup>2</sup>) se desbroza y se pesa en verde. A continuación, se toma una muestra representativa de tallos gruesos, medianos y finos de 1,5 a 2,5 kg de cada parcela para su desecación en



el laboratorio a 102 °C hasta alcanzar peso constante y su transformación en materia seca. El peso seco total de la parcela se calcularía de la misma forma que para el caso de los árboles (multiplicando el peso fresco por el contenido de materia seca de las muestras). Además, en el laboratorio se estima la edad media del matorral y el crecimiento medio anual en biomasa mediante el análisis de anillos de crecimiento en tallos representativos. En Montero et al., (2020) se llegó a estudiar 786 parcelas y 1878 secciones de tronco de 72 especies, determinándose las relaciones diámetro-edad en 52 especies.

Estos **métodos directos** para la estimación de biomasa aérea o subterránea (arbórea o arbustiva) se caracterizan por su capacidad de ofrecer datos de alta precisión y gran detalle, pero también presentan desventajas significativas al requerir la alteración o remoción del material estudiado, lo cual puede impactar negativamente en el ecosistema y alterar el hábitat local. Además, son laboriosos y costosos, lo que limita la frecuencia y el alcance espacial de las mediciones.



**Figura 5. Cadena de procesos para la medición de la biomasa viva total a través de los métodos directos.**

#### 3.4.1.1.1. Conversión de biomasa a carbono

Se asume que aproximadamente el 50% de la biomasa vegetal está compuesta por carbono (IPCC 2006). Este porcentaje puede determinarse con mayor precisión para cada especie en particular (eq. 1). Para ello, una porción de la biomasa seca de cada componente (raíz, tallo, hoja) se analiza químicamente en laboratorio mediante métodos de análisis elemental que miden directamente el contenido de



carbono en cada uno de los componentes de la planta (Thomas y Martin, 2012). A partir de estos resultados sobre el contenido de carbono, se establece un factor de conversión específico (CF) de biomasa a contenido de carbono para cada especie forestal (Anexo 2) (Montero et al., 2005). En caso de no contar con datos del factor de conversión específico para la especie, el IPCC (2003) proporciona valores de referencia estándar.

$$CC = B_s * P_c \quad eq. 1$$

- $CC$  = Contenido total de carbono (kg)
- $B_s$  = Biomasa seca total del árbol (kg)
- $P_c$  = Porcentaje de carbono en la biomasa seca (proporción decimal).

Para expresar el carbono total como equivalente de  $CO_2$ , se multiplica el contenido de carbono total por el factor 3,67 (la relación entre las masas moleculares de  $CO_2$  y C).

#### 3.4.1.2 Métodos indirectos basados en técnicas no destructivas

Los **métodos indirectos** ofrecen una alternativa que evita dañar el entorno. Estos métodos están basados en modelos que estiman el peso de la biomasa seca a través del empleo de ecuaciones alométricas ajustadas a cada especie o tipo de vegetación en su componente aéreo y subterráneo (Renna et al., 2024), y permiten estimar con precisión la biomasa y el carbono almacenado para las diferentes especies (Cotillas et al., 2016). Sin embargo, la implementación de estos métodos indirectos también tiene sus retos: requieren personal especializado y un tiempo considerable de trabajo para obtener los datos de altura y diámetro a la altura del pecho de todos los árboles del área a muestrear (Figura 6). Esto se hace especialmente tedioso en áreas extensas y densamente vegetadas, donde además aumenta el riesgo de errores en las mediciones. Hay que tener en cuenta que para obtener las ecuaciones alométricas para la biomasa es necesario realizar una cosecha destructiva por los métodos directos.

*Vista de la Reserva de la Biosfera de Ponga.*

*Autor: Noé Baranda*





**Figura 6. Medición de diámetro a la altura del pecho con forcípula de un individuo de alcornoque (*Quercus suber*).**

#### *3.4.1.2.1 Ecuaciones alométricas para el cálculo de biomasa viva*

Con datos recolectados de mediciones iniciales del árbol (DAP, altura, entre otros) se establecen relaciones matemáticas que las vinculan con la biomasa aérea y subterránea (Tabla 5). Específicamente, Montero et al., (2005) han construido una serie de ecuaciones alométricas específicas para el cálculo de biomasa de las 32 especies forestales principales de España, incluyendo especies forestales caducifolias (Anexo 3), coníferas (Anexo 4), bosques de frondosas perennifolias (Anexo 5) y formaciones de laurisilvas y fayal-brezales (Anexo 6). Las ecuaciones de Montero et al., (2005) para el cálculo de biomasa se basan principalmente en el DAP y tienen un ajuste muy bueno. Posteriormente, Ruiz-Peinado et al., (2011) desarrolló otra ecuación alométrica incorporando H además de DAP (Tabla 5). Sin embargo, estas ecuaciones alométricas tienen el inconveniente que son muy generales y existe una única ecuación para la misma especie independientemente de la región climática en la que se encuentre.



Posteriormente, Menéndez-Miguélez et al., (2023, 2022) desarrollaron una serie de modelos de biomasa específicos para 14 especies forestales utilizadas en los programas de reforestación en España, proporcionando herramientas avanzadas para estimar con mayor precisión la biomasa aérea de los árboles, particularmente durante los primeros años de establecimiento (Tabla 5). Al igual que Montero et al., (2005), para cada árbol individual, se recopilan datos detallados de H, DAP, el diámetro en la base del tronco (RCD), el área de proyección de la copa (CPA), el volumen de la copa (BP) y los componentes de la biomasa viva (raíz, tallo y hojas / ramas) siguiendo la metodología destructiva explicada anteriormente. La particularidad de las ecuaciones propuestas por Menéndez-Miguélez et al., (2023, 2022) es que destacan por su capacidad de ajustar las estimaciones a las dinámicas de crecimiento y biomasa en etapas iniciales de los árboles jóvenes e incorporan variables que permiten captar mejor las variaciones en el desarrollo de los árboles jóvenes como cambios en la forma del tronco y la distribución de biomasa, evitando los sesgos de los modelos tradicionales diseñados para árboles adultos.

Para los matorrales, también se crean ecuaciones alométricas específicas relacionando la biomasa seca en función de Fcc y Hm para distintas especies (Anexo 7) y más generales para formaciones arbustivas y de matorral (Anexo 8). En las zonas con alta diversidad, donde la identificación de especies es compleja, se desarrollaron ecuaciones basadas en agrupaciones vegetales de distintas especies, lo que facilitó una mayor precisión en las estimaciones de biomasa (Tabla 5). Para más detalle sobre la metodología e información sobre ecuaciones de biomasa para matorrales, consultar en Montero et al., (2020).

*Ladera rocosa cubierta de matorral mediterráneo en la Reserva de la Biosfera Sierra de Grazalema.*

*Autor: Carlos Caldecanto*





**Tabla 5. Ecuaciones generales para estimar la biomasa viva de las principales formaciones vegetales en España en base a diferentes datos dasométricos de la vegetación.** *a* y *b*, son parámetros ajustados y específicos para biomasa aérea y subterránea para cada especie forestal (consultar Anexos 3-6). *b*<sub>1</sub> y *b*<sub>2</sub> son parámetros ajustados y específicos para el cálculo de biomasa aérea para cada tipo de especie de matorral o formación arbustiva (consultar Anexos 7-8). DAP: diámetro a la altura del pecho del individuo; H: altura total del individuo; RCD: diámetro en la base del tronco; CPA: área de proyección de la copa; BP: volumen de la copa; Hm: altura media del matorral; Fcc: fracción de cabida cubierta.

Formaciones vegetales	Ecuaciones	Referencias
<b>Arbóreas</b>	$Y = FC \cdot e^a \cdot DAP^b$ $FC = e^{(SEE^2/2)}$	(Montero et al., 2005)
	$Y = \alpha \cdot DAP^\beta$	Ecuación transformada con recálculo de coeficientes a partir de la ecuación anterior. (Montero et al., 2005)
	$Y = a \cdot (DAP^2 \cdot H)$	(Ruiz-Peinado et al., 2012, 2011)
	$Y = a \cdot H^b$  $Y = a \cdot RCD^b$ $Y = a \cdot CPA^b$ $Y = a \cdot (DAP)^b$ $Y = a \cdot (RCD^2 \cdot H)^b$ $Y = a \cdot (DAP^2 \cdot H)^b$ $Y = a \cdot BP^b$	(Menéndez-Miguélez et al., 2022, 2023)
<b>Arbustados, matorrales y espartizales</b>	$Y = a \cdot Hm \cdot [\arccoseno(\sqrt{(Fcc/100)})]$	(Montero et al., 2020)
	$Y = a \cdot Hm \cdot [\arccoseno(\sqrt{(Fcc/100)})]^{b1}$	
	$Y = a \cdot Hm^{b1} \cdot [\arccoseno(\sqrt{(Fcc/100)})]^{b2}$	

#### 3.4.1.2.2 Inventarios Forestales

El Inventario Forestal Nacional (IFN) constituye el proyecto de monitoreo y evaluación de los ecosistemas forestales más importante a nivel nacional (Alberdi et al., 2017).

Este inventario permite cuantificar y analizar una serie de indicadores que proporcionan una visión integral del estado de los bosques, incluyendo aspectos relacionados con el crecimiento, la regeneración natural y la biodiversidad. Además, el IFN facilita la toma de decisiones en cuanto a la conservación, restauración y aprovechamiento sostenible de los recursos forestales.



La evolución del IFN de España desde su primer ciclo (IFN1) hasta el cuarto (IFN4) ha sido un proceso de constante adaptación y mejora tecnológica (Alberdi et al., 2016). El IFN1 (1965 - 1974) se inició con un diseño de muestreo aleatorio con parcelas temporales, centrándose en el volumen de madera y se estableció las primeras ecuaciones de cubicación. Con el IFN2 (1986 - 1996), se establecieron parcelas permanentes en una malla de 1 km × 1 km de la cuadrícula UTM que coincidían con áreas de uso forestal arbolado en todo el territorio nacional. También se tomaron datos por primera vez del matorral leñoso. El IFN3 (1997 - 2007) fortaleció las medidas del IFN2, repitiéndolas en todas las parcelas para comparar la evolución de los bosques e introduciendo nuevas variables sobre composición, estructura y madera muerta. Finalmente, en el IFN4 (2008 - presente) se mantuvieron muchas de las mediciones de ciclos anteriores y se añadieron nuevas variables como la edad de la masa forestal (medida por barrenado) o la calidad y cantidad de madera muerta caída y en pie. El IFN responde a diversos requerimientos internacionales y son una fuente clave de información sobre la superficie y la diversidad forestal de cada país permitiendo hacer estudios de evolución y dinámica de las masas forestales a largo plazo.

En el IFN español, el método de muestreo mediante parcelas circulares es ampliamente utilizado. Se aplican diferentes radios de medición en función del tamaño de los árboles (Tabla 6). Este método permite:

- **Eficiencia en la medición:** No se mide la totalidad del bosque, solo una muestra representativa.
- **Optimización de esfuerzo:** Se evita medir árboles pequeños en parcelas grandes, reduciendo el tiempo de trabajo de campo.

**Tabla 6. Metodología de muestreo de árboles en el Inventario Forestal Nacional (IFN).** La metodología se basa en el uso de parcelas concéntricas de radios de medición variable en función del tamaño de los árboles.

DAP (cm)	Radio de parcela (m)	Área de parcela (m <sup>2</sup> )
$7.5 \leq \text{DAP} \leq 12,5$	5	78,54
$12,5 \leq \text{DAP} \leq 22.5$	10	314,16
$22.5 \leq \text{DAP} \leq 42,5$	15	706,86
$\text{DAP} \geq 42.5$	25	1963,5



Entre las variables evaluadas en las parcelas del IFN se encuentran: el número de árboles por parcela, el DAP de cada árbol, la H, la altura de la copa, la edad de las masas coetáneas y/o regulares, así como la (Fcc, %), la altura media (Hm) y la composición del matorral. A partir de los datos obtenidos en los muestreos del IFN y aplicando las ecuaciones alométricas específicas para cada especie anteriormente descritas (Anexos 3-6), permite el cálculo de la biomasa forestal en las parcelas del IFN. Algunos trabajos publicados usando el IFN para el cálculo de la biomasa forestal son: Ameztegui et al., 2022 Cruz-Pérez et al., 2024; Gómez-García, 2020; Herraiz et al., 2023.

#### *3.4.1.2.3. Factores de expansión de biomasa (BEFD)*

Los factores de expansión de biomasa (BEFD, por sus siglas en inglés) son coeficientes ampliamente utilizados en estudios forestales y en la evaluación de las dinámicas de carbono (Mateos et al., 2016). Estos coeficientes convierten el volumen comercial del fuste en estimaciones de biomasa total, lo que requiere conocer el volumen maderable en metros cúbicos por especie. Este enfoque se utiliza ampliamente en los (IFNs) para convertir las estimaciones de volumen maderable por hectárea en biomasa aérea viva por hectárea. Esto permite no solo evaluar las reservas de carbono almacenado en los ecosistemas forestales, sino también aportar datos clave para calcular el balance de carbono a escala nacional, contribuyendo así a una gestión sostenible de los recursos y al monitoreo de compromisos climáticos internacionales.

Sin embargo, estos coeficientes presentan limitaciones en rodales con árboles jóvenes, ya que están diseñados principalmente para árboles con volumen comercializable, lo que reduce su precisión en etapas iniciales de desarrollo (Jagodziński et al., 2018). Además, según Aguirre et al., (2021) cuando los BEFD se utilizan como valores constantes, pueden introducir sesgos significativos si no se ajustan a las condiciones ambientales o estructurales del rodal. Para superar estas limitaciones, la integración de variables adicionales como el índice de aridez y la etapa de desarrollo del rodal permite mejorar la precisión de las estimaciones, adaptando los BEFD a las características específicas de cada sitio.

*Interior de un hayedo en otoño con abundante hojarasca en el suelo en la Reserva de la Biosfera de Redes. Autor: J.M. Reyero*





Los IFN aportan información del depósito de biomasa viva por hectárea (medido en volumen maderable por hectárea,  $m^3/ha$ ) y por provincia, en el año en que se realiza el IFN en cada provincia. El incremento de biomasa anual en el resto de los años se estima por interpolación lineal entre los datos de los dos inventarios más cercanos. La biomasa viva aérea, en toneladas de materia seca por hectárea ( $t_{ms}/ha$ ), se calcula multiplicando el volumen maderable provincial recogido en los IFNs, en metros cúbicos por hectárea y especie, por los BEFD propios de cada especie (que en el caso de España incluye la densidad de la madera). Además, aplicando el factor de expansión de raíces a la biomasa viva aérea, se obtiene el valor total anual de biomasa seca por hectárea ( $B$  medido en  $t_{ms}/ha$ , *eq. 2*), que integra tanto la biomasa aérea como la subterránea. A continuación, se muestra la fórmula de cálculo:

$$B = V * BEFD * (1 + R) \quad eq. 2$$

- $B$  = biomasa total anual de masa seca (ms) por hectárea ( $t_{ms}/ha$ )
- $V$  = volumen maderable anual por hectárea ( $m^3/ha$ )
- BEFD = factor de expansión de biomasa para transformar el volumen maderable en biomasa arbórea sobre el suelo ( $t_{ms}/m^3$  volumen maderable), que incluye la influencia de la densidad de la madera;
- $R$  = coeficiente raíz-vástago (adimensional, entendido vástago como el total de la biomasa aérea).

El contenido de carbono de la biomasa total (aérea y subterránea) estimada se calcula multiplicándola por el coeficiente de conversión de CF. Los valores de CF (Anexo 2), BEFD (Anexo 9) y  $R$  (Anexo 10) utilizados son valores de referencia nacionales. La información de los valores CF, BEFD, y  $R$  proceden de las metodologías de estimación de emisiones (MITECO, 2024b)

*Bosque mixto en otoño en la Reserva de la Biosfera de Sierra Nevada.*

*Autor: Javier García Fernández*





#### 3.4.1.2.4 Teledetección

La teledetección es de las herramientas más novedosas que se utiliza para realizar inventarios forestales y cálculos de biomasa vegetal y de secuestro de carbono. Gracias a los avances tecnológicos en satélites y sensores, es posible obtener imágenes de alta resolución de bajo coste que permiten mapear grandes áreas de bosque de manera eficiente y precisa (Koch, 2013). Estas imágenes se analizan para identificar diferentes formaciones de vegetación, estimar su extensión y evaluar su estado de salud. Además, facilita el monitoreo de cambios en el ecosistema a lo largo del tiempo.

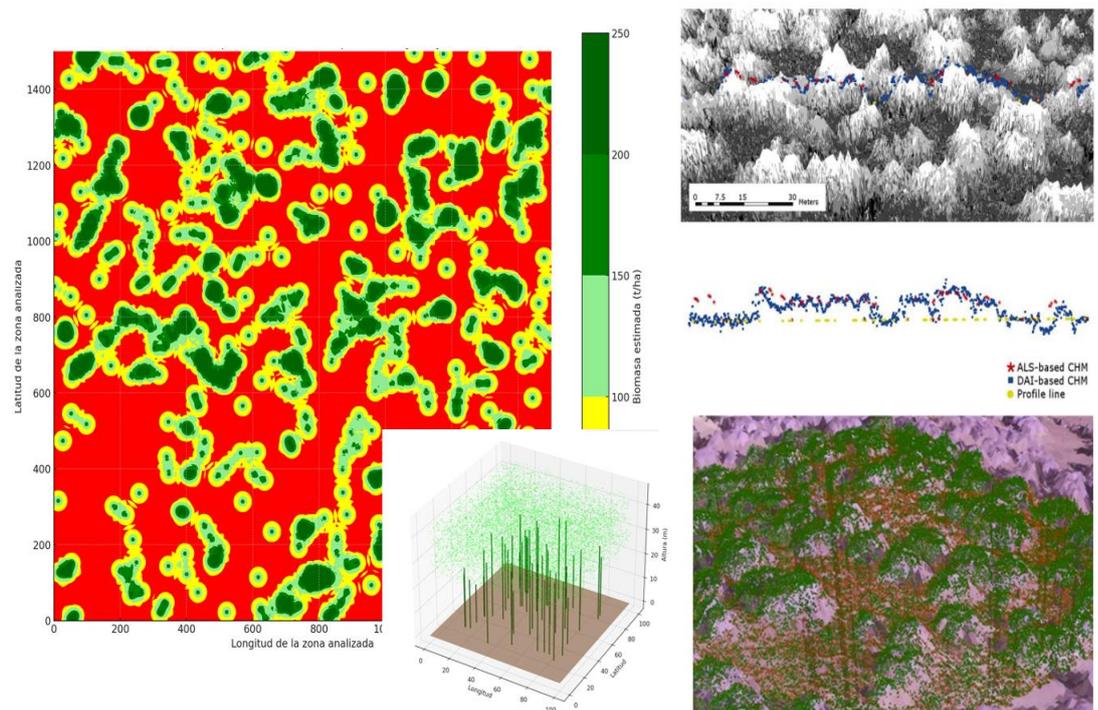
Las técnicas de teledetección han evolucionado significativamente, permitiendo una mejor estimación tanto de la biomasa como de la eficiencia fotosintética, factores clave en este proceso. Estas metodologías pueden dividirse en dos enfoques complementarios: (1) las orientadas a mejorar la cuantificación de la biomasa y (2) las diseñadas para optimizar la estimación de la eficiencia fotosintética.

La primera categoría se centra en la medición precisa de la biomasa, un componente crítico para estimar el carbono almacenado en vegetación, permitiendo obtener datos precisos sobre la estructura de la vegetación sin contacto directo (Zhao et al., 2012). Las imágenes aéreas y datos satelitales, en combinación con métodos fotogramétricos tridimensionales, permiten reconstruir la estructura de las masas forestales, proporcionando detalles sobre la altura y la densidad del dosel (Herraiz et al., 2023; Montealegre, 2017). Tecnologías como el LiDAR (Light Detection and Ranging) han sido particularmente útiles en este ámbito, ya que generan mapas detallados de la topografía y la estructura vertical de los ecosistemas forestales, lo que mejora las estimaciones de volumen de biomasa (Asner et al., 2012) (Figura 7). Por otro lado, el uso de Radar de Apertura Sintética (SAR) complementa estos análisis al penetrar en el dosel y evaluar su densidad en áreas cubiertas por nubes, lo que representa una ventaja clave en regiones tropicales (Saatchi et al., 2011). Adicionalmente, los índices de vegetación derivados de sensores como el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y el EVI (Enhanced Vegetation Index) permiten evaluar de manera indirecta la cobertura vegetal y la salud del ecosistema, correlacionándose con la cantidad de biomasa aérea (Herraiz et al., 2023).

*Pinar de Pinus canariensis en la Reserva de la Biosfera El Hierro.*

*Autora: Mónica Moraleda Altares*





**Figura 7. Estimación de biomasa a partir de la nube de datos LiDAR recogida por sensores aerotrasportados.** A la izquierda un ejemplo con datos sintéticos de la cartografía resultante de la estimación de biomasa a partir de datos LiDAR. A la derecha se muestran un par de ejemplos de nube de puntos de LiDAR sobre una cobertura forestal (Hernández-Clemente et al., 2014) y en el centro abajo una representación gráfica de una nube de puntos LiDAR de una masa forestal.

En el caso de España, la implementación de estas tecnologías está respaldada por un acceso amplio a herramientas y datos nacionales. El Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) proporciona imágenes aéreas de alta resolución con una frecuencia de actualización regular, útiles para la generación de modelos fotogramétricos y el análisis estructural de masas forestales (PNOA, 2021). En cuanto a los datos LiDAR, España cuenta con el LiDAR Nacional, desarrollado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), que cubre todo el territorio a una resolución de 0,5 puntos por metro cuadrado, lo que permite realizar estimaciones precisas de biomasa aérea y evaluar la estructura vertical del bosque (IGN, 2020).

En contraste, la metodología diseñada para optimizar la estimación de la eficiencia fotosintética busca integrar variables relacionadas con la eficiencia fotosintética para refinar las estimaciones basadas en biomasa. Los datos de fluorescencia clorofílica obtenidos por sensores satelitales, como los



proporcionados por misiones como OCO-2 (Orbiting Carbon Observatory-2), ofrecen una medida directa de la actividad fotosintética (Guanter et al., 2014). Estos datos permiten relacionar de manera más precisa la actividad metabólica de las plantas con su capacidad de capturar carbono. En términos de fluorescencia clorofílica, España está participando activamente en el análisis de datos proporcionados por misiones satelitales como OCO-2 y FLEX (Fluorescence Explorer), esta última liderada por la Agencia Espacial Europea (ESA) y centrada en la evaluación de la fotosíntesis en tiempo real. Asimismo, índices de vegetación ajustados para fotosíntesis, como el PRI (Photochemical Reflectance Index), se han demostrado efectivos para detectar cambios en la eficiencia fotosintética en tiempo real, mejorando los modelos de flujo de carbono (Garbulsky et al., 2011).

Las torres de intercambio de gases Eddy Covariance (EC), aunque no son herramientas de teledetección en el sentido estricto, proporcionan datos continuos sobre los flujos de CO<sub>2</sub> y otros gases, fundamentales para validar modelos de teledetección (ICOS, 2023). Estas torres miden directamente los flujos de dióxido de carbono entre el ecosistema y la atmósfera, proporcionando valores de referencia para calibrar modelos basados en datos satelitales (Baldocchi et al., 2001). Para el análisis de flujos de carbono, la red española de torres Eddy Covariance, integrada en la iniciativa europea ICOS (Integrated Carbon Observation System), dispone de varias estaciones en ecosistemas representativos como dehesas, bosques mediterráneos y cultivos agrícolas.

En resumen, las herramientas de teledetección ofrecen la ventaja de cubrir grandes áreas en menos tiempo y con menor costo que los métodos de campo tradicionales. No obstante, su precisión puede verse afectada por factores como la resolución espacial, la topografía del terreno, que conlleva a la necesidad de calibración con datos de campo in situ (Hernández-Clemente et al., 2014; Navarro-Cerrillo et al., 2010). Hasta ahora, las herramientas de teledetección para evaluar el secuestro de carbono en ecosistemas vegetales han avanzado en dos líneas complementarias. Mientras que las tecnologías centradas en la biomasa, como el LiDAR y el SAR, permiten una caracterización estructural más precisa, los métodos enfocados en la fotosíntesis, como la fluorescencia clorofílica y los índices relacionados, mejoran la comprensión de los procesos dinámicos que determinan la captura de carbono. En el caso de España, la existencia de infraestructuras como el LiDAR Nacional, el PNOA y la red de torres Eddy proporciona una base sólida para integrar ambas aproximaciones, mejorando significativamente la capacidad del país para monitorear y modelar el secuestro de carbono (Cicuéndez et al., 2024; Navarrete-Poyatos et al., 2019; Novo-Fernández et al., 2019).



### 3.4.2. Estimación del carbono orgánico en el suelo

De forma experimental, la metodología para estimar el carbono orgánico del suelo (COS), se basa en la recolección sistemática de muestras de suelo donde en cada punto de muestreo, se retira la vegetación herbácea y los restos orgánicos presentes en la superficie, y se realiza una calicata para tomar muestras de suelo a diferentes profundidades, generalmente en intervalos de 0-10 cm y 10-30 cm (Rojo-Serrano et al., 2022). Durante la recolección, se tamizan y cuantifican las piedras de mayor tamaño (pedregosidad), que no se envían al laboratorio para su análisis. A continuación, las muestras de suelo se procesan para el cálculo de las siguientes variables:

- Tierra o elementos gruesos (EG) (> 2 mm; eq. 3): La muestra de suelo se seca al aire para eliminar la humedad y facilitar su manipulación. Una vez seca, se eliminan elementos inusuales, como piedras grandes o grumos compactos; si es necesario, estos grumos se disgregan previamente utilizando un mortero. Se pesa la muestra total seca, luego con un tamiz de 2 mm se separan las partículas en dos fracciones: las partículas finas, menores de 2 mm (que pasan a través del tamiz), y las partículas gruesas, mayores de 2 mm (que son retenidas en el tamiz). Se pesa la fracción gruesa para calcular su proporción en relación con el peso total de la muestra:

$$\% EG = \frac{\text{Peso de fracción gruesa}}{\text{Peso total}} * 100 \quad \text{eq. 3}$$

- Densidad aparente (Da) (kg/m<sup>3</sup>; eq. 4): Es la relación entre volumen de una muestra de suelo con su peso. Para determinarla, se utiliza un cilindro de Kopecky de volumen conocido, se llena completamente con suelo seco y sin tamizar, evitando la inclusión de elementos que no forman parte de las fracciones del suelo, como piedras grandes o raíces. Se pesa el suelo contenido en el cilindro y se calcula la densidad como:

$$DA = \frac{\text{Peso del suelo (kg)}}{\text{Volumen del cilindro (m}^3\text{)}} \quad \text{eq. 4}$$

- Materia orgánica (MO) (%): El análisis del porcentaje de materia orgánica en el suelo se centra en la fracción degradada y completamente descompuesta, excluyendo restos visibles como ramas o raíces. Para ello, se utiliza un



procedimiento basado en la oxidación del carbono orgánico en medio ácido y la valoración del exceso de oxidante mediante sal de Mohr (Rojo- Serrano et al., 2022). Los datos obtenidos permiten calcular el porcentaje de carbono orgánico presente en el suelo, el cual se utiliza para estimar la materia orgánica total aplicando el coeficiente de Waksman (Waskman, 1936). Este coeficiente establece que el carbono oxidable constituye aproximadamente el 58% de la materia orgánica total, por lo que el cálculo del carbono orgánico (C) se realiza dividiendo el valor de MO entre 1,72, reflejando esta proporción.

El cálculo del COS se lleva a cabo utilizando la ecuación *eq. 5*, en línea con la metodología presentada en Rovira et al. (2007):

$$C_t = 100 * C_{tf} * D_a * Grosor * \frac{100 - V^h}{100} \quad eq. 5$$

- $C_t$  = carbono de un horizonte, en  $g/m^2$ .
- $C_{tf}$  = concentración de carbono en la tierra fina (en %)
- $D_a$ : densidad aparente ( $g/cm^3$ )
- $Grosor$ : grosor del horizonte en cm
- $V^h$ : % del volumen del horizonte ocupado por piedras y gravas.

A partir de dicha ecuación se ha estimado el contenido de carbono en los primeros 30 cm de un total de 748 perfiles a nivel nacional. A dichos perfiles, se han asignado una descripción de región climática y uso de la tierra de acuerdo con las categorías de UNFCCC. En la tabla 7, aparecen los valores estimados de referencia del COS diferenciando en cuatro categorías de uso de suelo según UNFCCC y cuatro regiones climáticas (atlántico, continental, mediterráneo y montano-culminal).

*Reserva de la Biosfera Marismas del Odiel. Autor: OAPN*





**Tabla 7. Valores de COS según uso de la tierra y región climática.** Valores de COS en toneladas de carbono por hectárea (t C/ha). Extraída de Sistema Español de Inventario de Emisiones. Metodologías de estimación de emisiones (MITECO, 2023a).

Uso de la tierra	Región climática			
	Atlántico	Continental	Mediterráneo	Montano & Culminal
Tierras de cultivo	50,28	33,72	29,03	47,63
Tierras forestales	64,21	50,35	46,36	57,44
Pastizales	76,94	45,79	37,02	75,6
Humedales	62,86	62,86	62,86	62,86

### 3.4.3. Estimación del carbono en madera muerta

Desde el IPCC (2006) se define a la madera muerta como todo aquel material no vivo, que incluye troncos en pie, madera caída sobre el suelo y material leñoso enterrado, además de raíces muertas y cepas con un diámetro igual o superior a 7.5 cm (Figura 8). Este material se descompone lentamente debido a su alto contenido de lignina, liberando carbono de forma gradual (Thirunavukkarasu et al., 2024).



**Figura 8. Ejemplos de pies mayores muertos caídos en Tierras forestales.**

Desde 2005, el IFN recopilan datos detallados de las categorías de madera muerta siguientes, diferenciando por especie y grado de descomposición (Tabla 8).



**Tabla 8. Categorías de madera muerta y criterios de selección para la estimación de carbono.** Extraído de (MITECO, 2023b). ‘DAP’ es el diámetro a la altura del pecho, generalmente a una altura ‘H’ = 1,30 m; ‘L’ es la longitud del fuste caído o de las ramas.

Categoría	Criterio de selección
Pies mayores muertos en pie	DAP $\geq$ 7,5 cm
Pies mayores muertos caídos	DAP $\geq$ 7,5 cm
Pies menores muertos en pie	$2,5 \leq \text{DAP} \leq 7,5$ y $H \geq 1,3$ m
Pies menores muertos caídos	$2,5 \leq \text{DAP} \leq 7,5$ cm y $L \geq 1,30$ m
Ramas y leñas gruesas	DAP $\geq$ 7,5 cm y $L \geq 0,3$ m
Tocones	DAP $\geq$ 7,5 cm y $L \geq 0,3$ m
Tocones de brotes de cepa	Tocones procedentes de una cepa totalmente muerta y con DAP $\geq$ 7,5 cm y $H \geq 1,3$ m.
Otros	Acumulaciones: con diámetro a la mitad de su longitud del tronco o troza media superior o igual a 10 cm, incluido acumulaciones y tocones procedentes de brotes de cepa medidos en la parcela. Raíces muertas.

Se toman las dimensiones de la madera muerta procedente tanto de especies arbóreas como de matorral, siempre y cuando cumpla los criterios de dimensiones descritos. Los grados de descomposición (GD) de la madera muerta que se identifican en el IFN son los propuestos por Hunter (1990), y se añade una sexta categoría:

- GD 1: Corteza intacta, presencia de pequeñas ramillas (< 3 cm), textura de la madera intacta. Para árboles muertos en pie, el tronco está firmemente arraigado.
- GD 2: Corteza intacta, sin pequeñas ramillas. En árboles muertos en pie, el tronco puede moverse ligeramente.
- GD 3: Rastros de corteza, sin ramillas, madera dura. En árboles muertos en pie, el tronco puede desarraigar.
- GD 4: Sin corteza ni ramillas, madera blanda con textura que se desprende en trozos.
- GD 5: Sin corteza ni ramillas, madera blanda con textura pulverulenta.
- GD 6: Madera verde, cortada recientemente (por podas o claras) y que aún no ha iniciado su descomposición.



### 3.4.3.1. Cubicación y transformación del volumen de madera a peso en carbono

La cubicación de la madera muerta se realiza utilizando ecuaciones de cubicación determinadas por el IFN (Alberdi, 2015) para árboles en pie (muertos o caídos), mientras que para el resto de las categorías se emplean fórmulas geométricas (Huber o Smalian). En el caso de los árboles pequeños, se asume que el fuste tiene forma cónica. Los volúmenes obtenidos ( $m^3/ha$ ) se transforman en biomasa aérea ( $t_{ms}/ha$ ) utilizando valores por defecto de densidad básica de la madera por especie, establecidos según las directrices del IPCC (2006) y GPG-LULUCF (2003) de IPCC.

Para reflejar la disminución de densidad debido al grado de descomposición de la madera (GD), se aplican factores de reducción ( $f_r$ ) basados en las tres clases de densidad de la madera definidas en la guía de las buenas prácticas (GPG) del LULUCF (GPG-LULUCF 2003) del IPCC mediante el método del machete (*'machete test'*) que clasifica la madera según su resistencia al corte en: sano, intermedio y podrido. El Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) estableció correspondencias específicas entre los grados de descomposición del IFN y estas clases de densidad: sano (GD 1, 6), intermedio (GD 2, 3) y podrido (GD 4, 5).

La biomasa aérea se obtiene al multiplicar el volumen de madera ( $m^3/ha$ ) por la densidad básica ajustada según el grado de descomposición. Para este cálculo, se utilizan las fórmulas *eq. 6* y *eq. 7*:

$$B_d = V_{cc} * D * f_r \quad \text{eq. 6}$$

$$C_d = B_d * 0,5 \quad \text{eq. 7}$$

-  $B_d$  = peso en biomasa considerando el grado de descomposición de la madera muerta ( $t_{ms}/ha$ ).

-  $D$  = densidad básica de la madera ( $t_{ms}/m^3$ ).

-  $f_r$  = factor de reducción de la biomasa debido al grado de descomposición de la madera (adimensional).  $f_r = 1$  (Sano, GD 1, 6);  $f_r = 0.8$  (Intermedio, GD 2, 3);  $f_r = 0.45$  (Podrido; GD 4, 5).

-  $V_{cc}$  = volumen de madera con corteza ( $m^3/ha$ ).

-  $C_d$  = peso en C considerando el grado de descomposición de la madera ( $t C/ha$ ).



Una vez estimado el contenido de C por hectárea de las distintas formaciones arboladas, el C total se obtiene por multiplicación del contenido en C por hectárea por la superficie, en hectáreas, de las distintas formaciones arboladas a nivel provincial y luego nacional (Tabla 9).

Cuando no se dispone de datos de madera muerta según formación arbolada para una provincia dada, lo que se realiza es una extrapolación del contenido en C. Esto consiste en seleccionar parcelas muestras con las formaciones de interés a nivel nacional, ponderar el contenido de C a nivel nacional para estas formaciones, multiplicar las medias ponderadas por la superficie de las formaciones sin muestreo de madera muerta para estimar el C provincial y, finalmente, sumar el contenido de C de cada provincia para obtener el total nacional. Ver más detalle de la metodología en MITECO, 2023b.

*Interior de Hayedo en la Reserva de la Biosfera Ponga. Autor: Juanjo Arrojo*



*Paisaje en la Reserva de la Biosfera Cabo de Gata-Níjar con numerosas plantas de pitas. Autor: OAPN*





**Tabla 9. Valores provinciales de biomasa de madera muerta y carbono estimado por hectárea.** Extraído de MITECO, 2023b.

Provincia	Biomasa (t <sub>ms</sub> /ha)	Contenido en C (t C/ha)
Álava	2,96	1,45
Albacete	1,82	0,91
Alicante	0,61	0,30
Almería	0,88	0,44
Ávila	2,91	1,46
Badajoz	0,96	0,46
Baleares	1,80	0,89
Barcelona	3,40	1,69
Burgos	3,13	1,55
Cáceres	1,20	0,59
Cádiz	1,58	0,76
Castellón	0,83	0,41
Ciudad Real	1,42	0,71
Córdoba	0,56	0,27
Coruña (A)	3,41	1,67
Cuenca	2,05	1,03
Girona	5,17	2,53
Granada	1,23	0,61
Guadalajara	1,90	0,95
Guipúzcoa	4,98	2,45
Huelva	0,84	0,41
Huesca	2,23	1,12
Jaén	1,24	0,62
León	2,40	1,18
Lleida	2,72	1,36

Provincia	Biomasa (t <sub>ms</sub> /ha)	Contenido en C (t C/ha)
Rioja (La)	3,34	1,64
Lugo	3,77	1,85
Madrid	1,80	0,89
Málaga	1,41	0,69
Murcia	0,99	0,49
Navarra	3,21	1,58
Ourense	3,01	1,49
Asturias	4,03	1,97
Palencia	2,72	1,33
Las Palmas	1,11	0,53
Pontevedra	3,47	1,71
Salamanca	1,22	0,60
Santa Cruz de Tenerife	1,70	0,83
Cantabria	3,90	1,89
Segovia	3,47	1,76
Sevilla	0,63	0,30
Soria	3,21	1,61
Tarragona	2,58	1,28
Teruel	2,06	1,03
Toledo	1,60	0,79
Valencia	0,60	0,30
Valladolid	2,39	1,20
Vizcaya	3,55	1,75
Zamora	1,89	0,93
Zaragoza	1,95	0,97

*Grupo de palmeras canarias en la Reserva de la Biosfera Lanzarote.*

*Autor: Juan Cazorla Godoy*





### 3.4.4. Estimación del carbono en detritus

El detritus, compuesto por hojas, ramas pequeñas, flores y frutos, constituye una fuente de carbono en los ecosistemas forestales. Su descomposición es un proceso complejo influenciado tanto por sus propiedades intrínsecas como por las condiciones ambientales (Cotrufo et al., 2010; Ristok et al., 2017). Este componente del ecosistema desempeña dos funciones principales. Por un lado, su caída y descomposición son esenciales para el ciclo de nutrientes y carbono, ya que están estrechamente vinculadas a las actividades microbianas que transforman su composición química (Krishna and Mohan, 2017; Rubino et al., 2010). Por otro lado, la hojarasca forma una capa protectora sobre la superficie del suelo, contribuyendo a regular las condiciones microclimáticas y protege el suelo de la erosión (Sayer, 2006).

De forma experimental, existen distintos métodos para calcular el carbono en la hojarasca, cada uno con ventajas y limitaciones dependiendo del diseño del estudio y los objetivos planteados (Karberg et al., 2008). Entre los más utilizados, destaca el método "litterbags".

El método "litterbags" es una técnica ampliamente utilizada para estudiar la descomposición de la hojarasca y estimar la dinámica del carbono en los ecosistemas (Figura 9). El procedimiento que se sigue es el siguiente:

1. Se preparan bolsas de malla, generalmente hechas de nailon u otro material sintético, con tamaños de poro específicos para permitir la entrada de microorganismos pero restringir la pérdida de material orgánico.
2. Se recoge hojarasca fresca (hojas, pequeñas ramas u otro material vegetal) y se pesa cuidadosamente antes de ser colocada dentro de las bolsas.
3. Las litterbags se depositan sobre la capa superficial del suelo en el sitio de estudio, simulando la deposición natural de la hojarasca en el ecosistema.
4. Se retiran bolsas en diferentes intervalos de tiempo (semanas, meses o incluso años) para evaluar el proceso de descomposición.
5. Se seca el material contenido en las bolsas y se mide la pérdida de peso para estimar la tasa de descomposición. Además, se pueden realizar análisis químicos para evaluar la dinámica del carbono y otros nutrientes.

*Salamandra común (subespecie cantábrica) sobre hojarasca de haya en la Reserva de la Biosfera Picos de Europa. Autor: J.M. Reyero*





**Figura 9. Trampa de caída de hojarasca en la derecha y 'litterbags' depositadas sobre el suelo forestal en la izquierda.**

Este método es muy conocido por sus enormes ventajas, como: el bajo costo en comparación con otros métodos de estudio de la descomposición, la facilidad de estandarización, permitiendo la comparación entre diferentes ecosistemas y su control experimental, ya que se puede manipular el tipo de hojarasca, la exposición a factores ambientales y la duración del experimento (Lecerf, 2017; Slade y Riutta, 2012)

Como limitaciones que se presentan con este método es que la malla puede modificar las condiciones de humedad, temperatura y ventilación, afectando la tasa de descomposición. También, el tamaño de los poros en la malla puede limitar la actividad de invertebrados detritívoros, como lombrices o insectos, lo que influye en el proceso natural de descomposición (Cotrufo et al., 2010). Finalmente, hay que tener en cuenta que no representa completamente la dinámica real de la hojarasca en el suelo, ya que, en condiciones naturales, el material orgánico está expuesto a una mayor variabilidad de factores ambientales y biológicos.

En España, la fuente de datos empleada para estimar el contenido de carbono en el detritus es la Red Europea de Seguimiento de Daños en los Bosques de Nivel I (Ukonmaanaho et al., 2020). La metodología llevada a cabo para su estimación se hace a través de muestreos conforme a un protocolo de campo que consiste en la recolección sistemática de muestras de detritus en cuatro cuadrados de 50 x 50 cm por parcela. Cada muestra es recogida en cuatro orientaciones diferentes conforme al centro de la parcela: norte, sur, este y oeste. Las muestras son secadas a 70 °C de temperatura para calcular su peso seco, y posteriormente se analiza la concentración de carbono del total de la muestra agregada (cuatro cuadrados),



mediante el método de análisis de combustión desarrollado por la empresa LECO Corporation. A continuación, aplicando la concentración de carbono de cada parcela al contenido de biomasa recogido, se obtiene la cantidad de carbono (t C/ ha) correspondiente a cada parcela muestreada. Seguidamente, los resultados se dividen según el tipo de formación arbolada, asignando así a los diferentes usos de la tierra establecidos en el UNFCCC un contenido de carbono en detritus (Tabla 10). Finalmente, los valores se multiplican por la superficie de cada uso de la tierra según UNFCCC, para obtener un valor nacional.

**Tabla 10. Existencias nacionales de carbono (C) en detritus (t C/ ha) según uso de la tierra UNFCCC.**

Formación	Contenido de Carbono (t C/ha)	Metodología
Tierras forestales	3,02	Descripción metodológica arriba detallada, extraída Inventario Nacional de GEI de España (Ukonmaanaho et al., 2020)
Tierras de cultivo	0,33	Inventario Nacional de GEI de Portugal: NIR 1990-2020, tabla 6.17, apdo. 6.1.3.3.3, págs. 6-29.
Pastizales	0,41	Inventario Nacional de GEI de Portugal: NIR 1990-2020, tabla 6.17, apdo. 6.1.3.3.3, págs. 6-29.
Humedales	0	Inventario Nacional: asunción basada en la Guía IPCC 2006 (vol. 4, cap. 4, apdo. 4.3.2.1 (Nivel 1).
Asentamientos	0	Inventario Nacional: asunción basada en la Guía IPCC 2006 (vol. 4, cap. 4, apdo. 4.3.2.1 (Nivel 1).
Otras tierras	0	Guía IPCC 2006, vol. 4, cap. 9, apdo. 9.3.2 (Nivel 1 y 2).

Nota: Para más información puede consultarse la página web oficial del “International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests” *ICP Forests* (<http://icp-forests.net/>) y del MITECO (<https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/redes-europeas-seguimientobosques/default.aspx>). Acrónimos: National Inventory Report (NIR), Gases de Efecto Invernadero (GEI) y Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).



### 3.4.5. Estimación del carbono con el uso de fuentes secundarias

Cuando la estimación del carbono para los distintos tipos de sumideros no se pueda llevar a cabo de forma experimental siguiendo la metodología explicada en los apartados anteriores porque el trabajo de campo no sea posible o porque la logística para la recolección de datos de campo sea compleja o costosa, se pueden utilizar fuentes secundarias para extracción de datos de referencia de carbono a partir de la literatura científica o de bases de datos publicadas.

El uso de fuentes secundarias se refiere a la extracción de valores de referencia de carbono obtenidos a partir de inventarios nacionales, estudios científicos, informes públicos. Para datos de almacenamiento de carbono y biomasa en formaciones forestales y de matorrales se pueden utilizar el tercer y cuarto Inventario Forestal Nacional (IFN3-IFN4). Para obtener datos de referencia sobre el contenido de COS se puede utilizar bases de datos especializadas, como el Inventario Nacional de Erosión del Suelo (INES) (MITECO, 2022). Esta base de datos contiene información analítica y descriptiva de los perfiles de suelo en diferentes áreas del territorio español, incluyendo variables como la densidad aparente, el contenido de carbono orgánico y la profundidad del suelo. Esta información permite calcular el COS de manera precisa usando la metodología descrita en Rojo- Serrano et al., (2022).

Si no se dispone de datos de superficies de ocupación por formación vegetal, se pueden utilizar bases cartográficas que permitan hacer estas estimas, como el Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC), el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España (SIOSE), el CORINE Land Cover (CLC) y el Mapa Forestal de España (MFE).

Independientemente de la fuente cartográfica utilizada para delimitar la superficie de cada clase de cobertura terrestre, las reservas totales de carbono pueden calcularse multiplicando los valores promedio de carbono por hectárea obtenidos de bibliografía para cada tipo de vegetación por la superficie correspondiente a cada clase de cobertura terrestre (Gemitzi et al., 2021; Muñoz-Rojas et al., 2011).

*Senderistas atravesando paisaje volcánico en la Reserva de la Biosfera El Hierro.  
Autora: Mónica Moraleda Altares*





### 3.5. Variación anual de las reservas de carbono

---

La variación anual de las reservas de carbono se calcula siguiendo la metodología establecida en la Guía del IPCC (2006). La ecuación utilizada es la siguiente (eq. 8):

$$\Delta C = \Delta C_{bv} + \Delta C_{DOM} + \Delta C_{COS} + \Delta C_{otros} \quad eq. 8$$

- $\Delta C$  = Cambio anual en las existencias de carbono dentro de una subcategoría, expresado en toneladas de carbono por año (t C/año).
- $\Delta C_{bv}$  = Cambio en la biomasa viva, que incluye tanto la biomasa aérea ( $\Delta C_{bva}$ ) como la subterránea ( $\Delta C_{bvs}$ ) por año.
- $\Delta C_{DOM}$  = Variación en el carbono almacenado en la materia orgánica muerta, compuesta por la madera muerta ( $\Delta C_{mm}$ ) y el detritus ( $\Delta C_d$ ) por año.
- $\Delta C_{cos}$  = Variación en las reservas de carbono orgánico del suelo por año.
- $\Delta C_{otros}$  = Cambio en el carbono almacenado en los productos madereros y otros por año.

Para los terrenos que mantienen el mismo uso a lo largo del tiempo, se calcula la variación de carbono en cada uno de estos depósitos con respecto al periodo transcurrido. Sin embargo, cuando hay cambios en el uso del suelo, el cálculo se basa en la diferencia entre las reservas de carbono iniciales (previas al cambio de uso) y las finales (tras el cambio de uso). Este ajuste se realiza considerando un período de transición de 1 o 20 años, dependiendo del tipo de cambio y del depósito de carbono afectado. Este enfoque permite evaluar con precisión la dinámica del carbono en los ecosistemas.

*Bosque de ribera en la Reserva de la Biosfera de Babia.*

*Autor: OAPN*





# 4. Metodología aplicada para cuantificar la capacidad de sumidero de carbono en las Reservas de la Biosfera

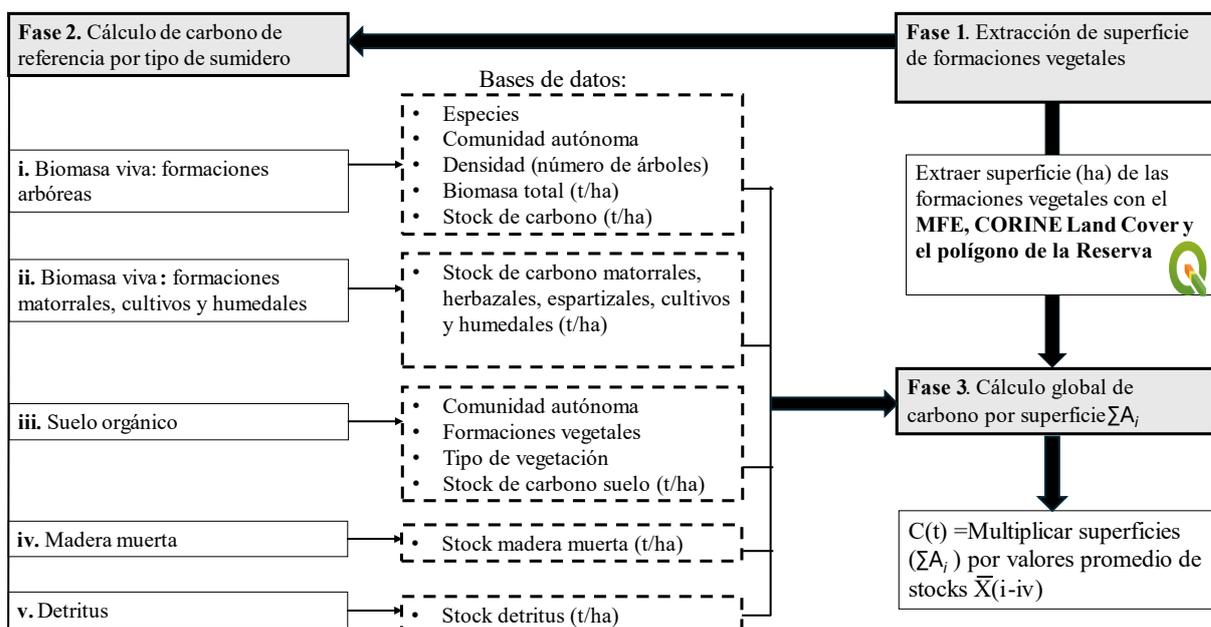


*Panaeolus* entre hojarasca de melojo en la Reserva de la Biosfera Sierra del Rincón  
Autor: Juan Valdivieso Domínguez - MANIMALS, S.L.



La metodología propuesta para la cuantificación de la capacidad de sumidero de carbono en las Reservas de la Biosfera consta de tres fases fundamentales. La primera fase se cuantifica la superficie que ocupa cada formación vegetal dentro de la Reserva. La segunda fase implica el cálculo del carbono promedio por formación vegetal y tipo de sumidero (biomasa viva, suelo, madera muerta y detritus); y en la tercera fase, se realiza una cuantificación total del carbono almacenado para cada Reserva de la Biosfera, considerando el tipo de formación y la superficie ocupada por dicha formación dentro de la Reserva. A continuación, se detallan las tres fases de la metodología, resumidas en la Figura 10.

Esta metodología permite la estimación de la capacidad de sumidero de carbono en cualquier Reserva de la Biosfera, utilizando datos públicos disponibles en internet y los facilitados en el presente estudio. Además, sigue las directrices del IPCC, empleadas en la elaboración del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de España (MITECO, 2024).



**Figura 10. Diagrama de pasos de la metodología para el cálculo de la capacidad de sumidero de carbono.** Datos base cartográficos obtenidos del Mapa Forestal Español (MFE), el inventario paneuropeo de cobertura y uso del suelo CORINE Land Cover y la superficie de extensión de las Reservas de la Biosfera del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.



## 4.1. Fase I. Extracción de superficie de formaciones vegetales en cada Reserva de la Biosfera

---

Para obtener la superficie de cada formación dentro de cada una de las Reservas se puede utilizar la información cartográfica de dos fuentes de información: (i) el MFE (<https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas.html>) que aporta la superficie cubierta por las masas forestales, de matorral y pastizales y (ii) el CORINE Land Cover (<https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>) que aporta las superficies dedicadas a cultivos.

Tanto del MFE como del Corine, se puede obtener información de superficie por formación vegetal a nivel general como por ejemplo superficie total ocupada en hectáreas por bosques adeshados, bosques de ribera, bosques de coníferas o bosques de frondosas, por matorrales, pastizales o cultivos; o también más específicamente nos da información de los valores de superficie ocupada identificando a nivel de especie forestal en el caso de las masas forestales o por tipo específico de cultivo (cítricos, viñedos, arrozales, olivares, etc).

Para extraer la superficie vegetal de las diferentes Reservas de la Biosfera se realiza una intersección entre la capa que contienen los polígonos de las Reservas, y las dos bases de datos cartográficas (Mapa Forestal Español y CORINE) con el software QGIS. Para ello, se descargan las capas cartográficas de uso del suelo y la que contiene los polígonos de las Reservas y se proyectan en una misma referencia espacial. Para nuestro ejemplo hecho sobre la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena (capítulo 5) utilizamos EPSG:25830 – ETRS89 / UTM zona 30N. A continuación, se emplea la herramienta de geoprocado "Intersección", donde se seleccionan los mapas cartográficos como capas de entradas y los polígonos de las reservas como capa de superposición. Finalmente, los resultados se exportan en formato Excel, obteniendo así la superficie de las distintas formaciones vegetales (bosque de ribera, bosque adeshado, bosque de plantación, bosque, herbazales, pastizales, matorrales y zonas agrícolas) y por especie forestal o cultivo dominante.

*Arroyo con bosque de ribera y helechos comunes en la Reserva de la Biosfera Doñana.*

*Autor: J.L. Perea*





## 4.2. Fase II. Cálculo de carbono por tipo de sumidero y formación vegetal

---

Dentro de la fase II se realiza la estimación de carbono para cuatro tipos de sumideros de carbono: biomasa viva, suelo, madera muerta y detritus, teniendo en cuenta diferentes usos de la tierra, entre ellos, formaciones arbóreas, formaciones arbustivas y matorrales, cultivos y humedales.

A continuación, se describen los cálculos para obtener una estimación de carbono en cada sumidero y tipo de formación.

### **i) Cálculo de carbono en biomasa viva. Formaciones arbóreas**

Para las formaciones arbóreas (bosque o tierras forestales), el proceso inicia con el cálculo de la biomasa total de referencia por especie forestal, como suma de la biomasa de referencia aérea y subterránea por especie.

Para calcular la biomasa aérea de referencia de cada especie forestal, primero se hizo un filtro de parcelas del IFN3 donde la especie de interés tenía representación en más del 60% de la biomasa aérea total de la parcela. A partir de las parcelas seleccionadas, se extrajeron los datos de DAP de todos los árboles medidos de la especie de interés dentro de cada parcela. Con estos datos, se aplicó la ecuación alométrica propuesta por Montero et al., (2005) (ver Tabla 5) a nivel de individuo, utilizando los parámetros  $a$  y  $b$  específicos de cada especie forestal (Anexo 3-6) (Montero et al., 2005). La biomasa aérea total por parcela y especie forestal se calculó como el sumatorio de las biomásas de todos los árboles de la especie de interés presentes en la parcela. El valor de biomasa aérea de referencia por especie forestal se calculó como el promedio de valores de biomasa de todas las parcelas seleccionadas de la especie de interés.

Dado que los valores de biomasa de las masas forestales van a variar significativamente en función de la densidad de pies por hectárea de la masa forestal y de las condiciones climáticas en las que se sitúe, los valores de biomasa aérea de referencia por especie forestal se calcularon separadamente para un máximo de tres rangos de densidad de pies en la masa (bajo, medio y alto) según especie forestal y comunidad autónoma (Anexo 11). En el caso de que los valores de densidad de la masa forestal no estén disponibles, se pueden aplicar valores de biomasa aérea de referencia para una densidad promedio (Anexo 12).



Para estimar la biomasa subterránea a nivel de cada especie forestal, se aplicó un enfoque basado en la relación proporcional entre la biomasa subterránea y la biomasa aérea. Para ello, se multiplicó el valor de biomasa aérea de referencia por el coeficiente raíz/vástago correspondiente a cada especie (Anexo 10).

El valor de biomasa viva total de referencia por especie forestal, densidad y comunidad autónoma se calculó a partir de la suma de valores de biomasa aérea y subterránea obtenidas a partir de los cálculos previos. Posteriormente, este valor de biomasa viva total de referencia se multiplicó al factor de conversión en carbono almacenado específico para cada especie (Anexo 2), para obtener así el contenido en carbono total por especie, densidad y comunidad autónoma como en estudios previos (Montero., et al. 2005).

En resumen, se han creado dos bases de datos con valores de referencia en biomasa ( $t_{ms}/ha$ ) y contenido de carbono ( $t C/ha$ ) por especie forestal y comunidad autónoma. La diferencia entre ambas bases de datos es que en la primera base de datos aparecen disgregados los datos de biomasa y contenido en carbono por rangos de densidad de pies de la masa (Anexo 11) y en la segunda base de datos aparecen los valores de biomasa y contenido en carbono para una densidad promedio única general (Anexo 12). El uso de una base de datos u otra va a depender del conocimiento y disponibilidad de los valores de densidad de la masa forestal sobre la cual se desea conocer su biomasa y carbono acumulado. Teniendo los datos de densidad de la masa, se podría utilizar los valores de referencia de la primera base de datos (Anexo 11) estando los valores de contenido de carbono más ajustados a las diferentes realidades de densidades.

*Dehesa de encinas con algún alcornoque en la Reserva de la Biosfera de Monfragüe  
Autor: Ángel Palomares Martínez*





## ii) Cálculo de carbono en biomasa viva. Formaciones matorrales, cultivos y humedales

Para las formaciones arbustivas, de matorral y espartizales, los valores de referencia promedio de biomasa y contenido de carbono por hectárea han sido obtenidos de la literatura científica (Montero et al., 2020). Concretamente, estos valores de referencia se aportan para formaciones generales de arbustados, matorrales y espartizales recogidas en el Anexo 13 y para formaciones específicas de especies de matorral recogidas en el Anexo 14 de este libro. En el caso de los cultivos de frutales, viñedos y cítricos, se consideraron los valores de referencia de contenido en carbono proporcionados por estudios científicos de Funes et al., (2022) e Infante-Amate et al., (2023), los cuales ofrecen datos de carbono específicos en formaciones agrícolas para la región particular de Cataluña (Anexo 15) y en general en España (Anexo 16). Para el cultivo del olivar, se obtuvieron datos de contenido de carbono a partir del trabajo de Bellido, (2017) para diferentes variedades de olivo (Anexo 17).



*Viñedos y montaña en la Reserva de la Biosfera Terres d'Ebre.*  
Autor: Javier García Fernández

*Valle con frutales, praderas y casas dispersas en la Reserva de Biosfera Las Ubiñas-La Mesa.* Autor: Carlos Salvo Luengo





Por otro lado, los estudios que reportan valores promedio de carbono en biomasa para humedales son escasos. No obstante, se identificaron investigaciones relevantes, como las de Curado et al., (2013), Gisper et al., (2021) y Carrasco-Barea et al., (2023), que analizaron la biomasa aérea y el contenido en carbono para determinadas especies de humedales como *Spartina maritima*, *Sarcocornia fruticosa*, *Salicornia patula* y *Elytrigia atherica* (Anexo 18). Estos estudios aportan una base para estimar el almacenamiento de carbono en estos ecosistemas, aunque se reconoce la necesidad de más investigaciones.

En ausencia de datos específicos de almacenamiento de carbono o biomasa para ciertos tipos de formaciones vegetales o por comunidad autónoma, se pueden considerar también los valores por defecto recomendados por el IPCC (2006) para formaciones forestales (Anexo 19) y para pastizales (Anexo 20). Estas estimaciones proporcionan un marco de referencia útil para el cálculo de carbono en situaciones donde los datos locales son limitados o inexistentes.

Todos los valores de referencia de biomasa y carbono almacenado en las distintas formaciones de matorrales, cultivos y humedales pueden consultarse en los anexos mencionados a lo largo de la descripción de este capítulo (Anexos 13-20).

### **iii) Cálculo de carbono orgánico en suelo**

Para el cálculo del carbono orgánico del suelo (COS) se utilizaron valores de referencia de la base de datos del INES. Estos datos fueron agrupados por tipo de formación vegetal y comunidad autónoma para calcular un valor de referencia promedio del COS por hectárea. Este enfoque permitió generar estimaciones de referencia del contenido de carbono orgánico para diferentes tipos de bosques (coníferas, frondosas, mixtos, adhesionados, plantaciones), formaciones de matorrales y prados (Anexo 21) y diferentes tipos de cultivos (Anexo 22) por hectárea.

*Cultivos agrícolas en las Fuentes del Sil en la Reserva de la Biosfera de Babia. Autor: OAPN.*





#### **iv) Cálculo de carbono en madera muerta**

Para el cálculo del contenido de carbono en la madera muerta se utilizaron los valores de referencia proporcionados por el Sistema Español de Inventario de Emisiones de GEI en la edición 2024 (MITECO, 2024). En concreto se utilizaron los datos estimados de carbono en madera muerta por hectárea correspondientes a cada provincia (Tabla 9).

La estima de carbono en madera muerta en cada Reserva de la Biosfera se debería calcular en función a la superficie clasificada como bosque (Tierras Forestales) dentro de la Reserva. En caso de que la Reserva esté localizada en más de una provincia se debería de estimar la superficie de bosque de la Reserva ocupada en cada provincia.

#### **v) Cálculo de carbono en detritus**

Los datos de referencia nacionales de carbono en el detritus según uso de la tierra (tierras forestales, cultivos, pastizales, otros) utilizados aparecen en la Tabla 10.

*Bosque de castaños en otoño, al fondo un grupo de persona. Reserva de la Biosfera de Muniellos. Autor: Carlos Salvo Luengo*





### 4.3. Fase III. Cálculo del carbono total acumulado en cada Reserva de la Biosfera.

---

El cálculo total de carbono acumulado para cada Reserva de la Biosfera se realiza multiplicando los valores de superficie de cada formación vegetal de la Reserva obtenidos en la fase I por el valor de referencia de contenido de carbono promedio para cada una de las formaciones y tipo de sumidero de la fase II. El valor total de secuestro de carbono de la Reserva se calcula como sumatorio de los valores totales de C (t C /ha) obtenidos para (i) las formaciones arbóreas, (ii) formaciones matorrales, cultivos y humedales, (iii) suelo, (iv) madera muerta y (v) detritus.

A continuación, se resumen los cálculos para la estimación global de carbono:

- Cálculo de la superficie ocupada por formación vegetal en general (bosques, cultivos, pastizales, humedales, etc) y/o especie forestal en particular.
- Cálculo de carbono almacenado por tipo de formación vegetal y sumidero en cada Reserva de la Biosfera:

Para cada formación vegetal 'j' (bosques, matorrales, pastizales, cultivos, humedales) y tipo de sumidero 'i' (biomasa viva, suelo, madera muerta y detritus), se multiplica la superficie ocupada ( $A_{ij}$ ) por su respectivo valor de referencia de contenido de carbono ( $C_{ij}$ ).

-Suma total del carbono almacenado en la Reserva de la Biosfera:

Se obtiene la suma de los valores parciales obtenidos para cada tipo de formación resultando en el carbono total ( $C_{total}$ ) en la Reserva de la Biosfera, calculado como la *eq. 9*:

$$C_{total} = \sum A_{ij} \cdot C_{ij} \quad eq. 9$$

- $C_{total}$  = Contenido total en carbono (t C)
- $A_{ij}$  = Superficie ocupada (ha)
- $C_{ij}$  = Contenido de carbono para cada formación vegetal por hectárea (t C /ha)



La aplicación de este enfoque a todas las Reservas de la Biosfera permitiría una evaluación comparativa del secuestro de carbono a nivel nacional. Al emplear una metodología estandarizada, basada en datos públicos y accesibles, se facilita la integración de información y la comparación de resultados entre diferentes reservas.

Este procedimiento asegura una cuantificación sistemática y homogénea de la capacidad de sumidero de carbono en Reservas de la Biosfera, proporcionando información clave para la gestión y conservación de estos ecosistemas estratégicos en la mitigación del cambio climático.

*Vistas del pueblo de Alájar dentro de la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena.  
Autor: Antonio José López Fernández.*





# 5. Cuantificación de sumidero de carbono aplicado al caso de estudio de RB Dehesas de Sierra Morena



*Vista de dehesa de encinas en la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena*  
*Autor: Antonio José López Fernández*



A modo de ejemplo, se aplica la metodología de cuantificación de sumidero de carbono presentada en el capítulo 3 de este libro a la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena.

## 5.1. Descripción general de la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena

La Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena (RBDSM) fue declarada por la UNESCO el 8 de noviembre de 2002, tras una propuesta de la Junta de Andalucía. La RBDSM se localiza en la región occidental de Andalucía, abarcando territorios de las provincias de Huelva, Sevilla y Córdoba (Figura 11). Con una extensión aproximada de 424.400 hectáreas, se organiza en tres zonas diferenciadas: la zona núcleo (8%), la zona tampón (77%), y la zona de transición (15%). La reserva incluye tres parques naturales: P.N. Sierra de Aracena y Picos de Aroche, P.N. Sierra Norte de Sevilla, y P.N. Sierra de Hornachuelos, así como los monumentos naturales como la Encina de la Dehesa de San Francisco, el Cerro del Hierro y Cascada del Huéznar (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía, 2002).

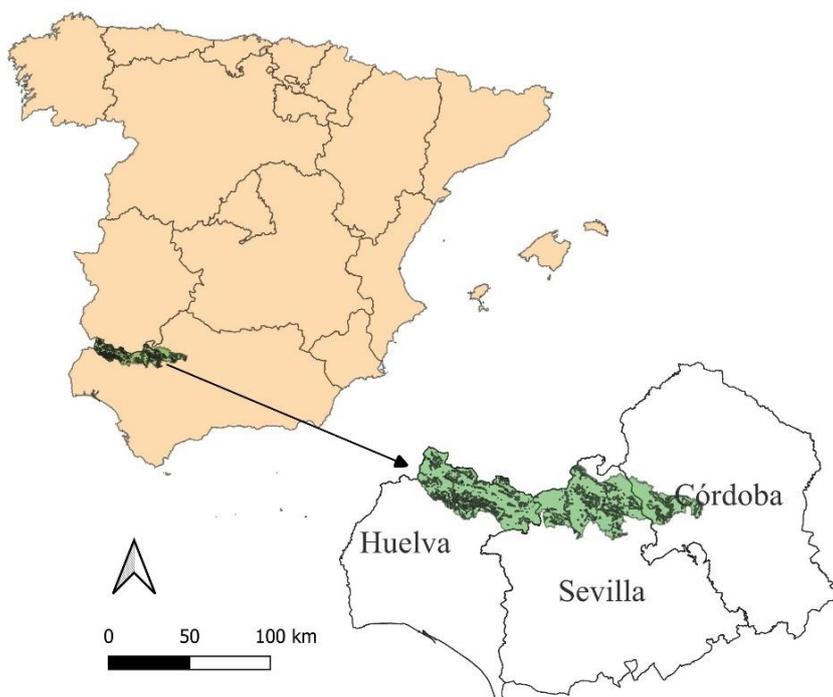


Figura 11. Localización de la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena



El paisaje de la RBDSM abarca un vasto ecosistema dominado por dehesas, ecosistemas únicos resultado de la interacción entre el ser humano y el medio natural. Este mosaico de bosques abiertos y pastizales está formado principalmente por encinas (*Quercus ilex*), alcornoques (*Quercus suber*) y quejigos (*Quercus faginea*), que constituyen la base de su vegetación característica. Junto a estas especies arbóreas predominantes, también se encuentran matorrales como jaras (*Cistus* sp.), brezos (*Erica* sp.) y lentiscos (*Pistacia lentiscus*), que aportan diversidad estructural y funcional al ecosistema. Las dehesas de Sierra Morena no sólo son esenciales para la conservación de la biodiversidad, proporcionando hábitat a especies emblemáticas como el lince ibérico, buitre negro y el águila imperial ibérica, sino que también sostienen actividades tradicionales como la ganadería extensiva y el aprovechamiento del corcho, lo que convierte a este espacio en un modelo de desarrollo sostenible.

*Buitre negro (Aegypinus monachus).*  
Autor: Rafael Arenas González.

*Adulto y cría de Lince ibérico (Lynx pardinus).*  
Autor: A. Rivas Salvador / IEPBN.



*Dehesa de alcornoque (Quercus suber) con extracción de corcho en la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena. Autor: Antonio José López Fernández.*





## 5.2. Cálculo de la superficie ocupada por tipo de formación vegetal en la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena

Los valores de superficie han sido extraídos siguiendo la metodología expuesta en la fase I del capítulo 4, esto es usando el MFE y el CORINE Land Cover. Con el QGIS, hicimos una intersección de capas del MFE y del CORINE con la capa del polígono con la superficie total ocupada por la Reserva Dehesas de Sierra Morena, para extraer la superficie en hectáreas por formación vegetal (Figura 12, ver Anexo 23 para las descripciones de las formaciones vegetales encontradas). Además, para las masas forestales y cultivos, extrajimos el valor de superficie desglosado por especie arbórea y tipo de cultivo dentro de la reserva (Tabla 11).

La mayor parte de la superficie de RBDSM está ocupada por los bosques adhesados de frondosas (225.904 ha), seguidos de los bosques de frondosas (221.951 ha), los cultivos de olivar (63.675 ha) y las formaciones de matorral (42.312 ha) (Figura 12).

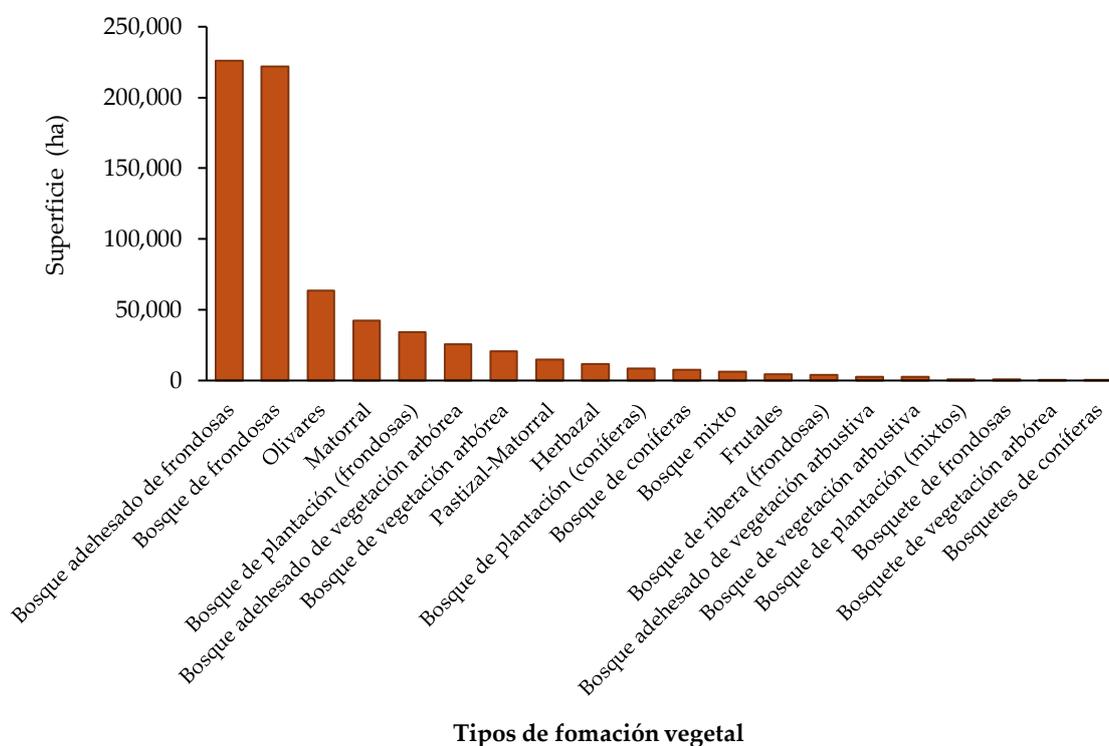


Figura 12. Distribución de la superficie total entre los distintos tipos de formación vegetal en RBDSM.



### 5.3. Cálculo de la distribución del carbono en los distintos tipos de sumideros

---

Se estimó el carbono total acumulado en cuatro tipos de sumideros clave en la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena: biomasa vegetal viva, carbono orgánico en el suelo (COS), carbono en madera muerta y carbono en detritus, a partir de los valores de referencia de carbono para cada sumidero y formación vegetal.

Para masas forestales, utilizamos los valores de referencia de biomasa de Andalucía para las especies forestales principales de la Reserva de las Dehesas de Sierra Morena obtenidas a través del MFE en el punto 5.2 (Tabla 11). Los valores de referencia de biomasa para estas especies fueron los calculados para una densidad única promedio, es decir, los valores del Anexo 12, ya que no disponíamos de datos de densidad forestal para las masas forestales de la Reserva.

Para los matorrales, pastizales, y cultivos, los valores de referencia de biomasa fueron los calculados o tomados de bibliografía y pueden encontrarse en el Anexo 13 para matorral, Anexo 16 para el cultivo de frutales, Anexo 17 para el cultivo de olivar y Anexo 20 para pastizal.

Estos valores de referencia de biomasa o carbono acumulado en biomasa viva por hectárea fueron multiplicados al valor de superficie por formación vegetal dentro de la Reserva.

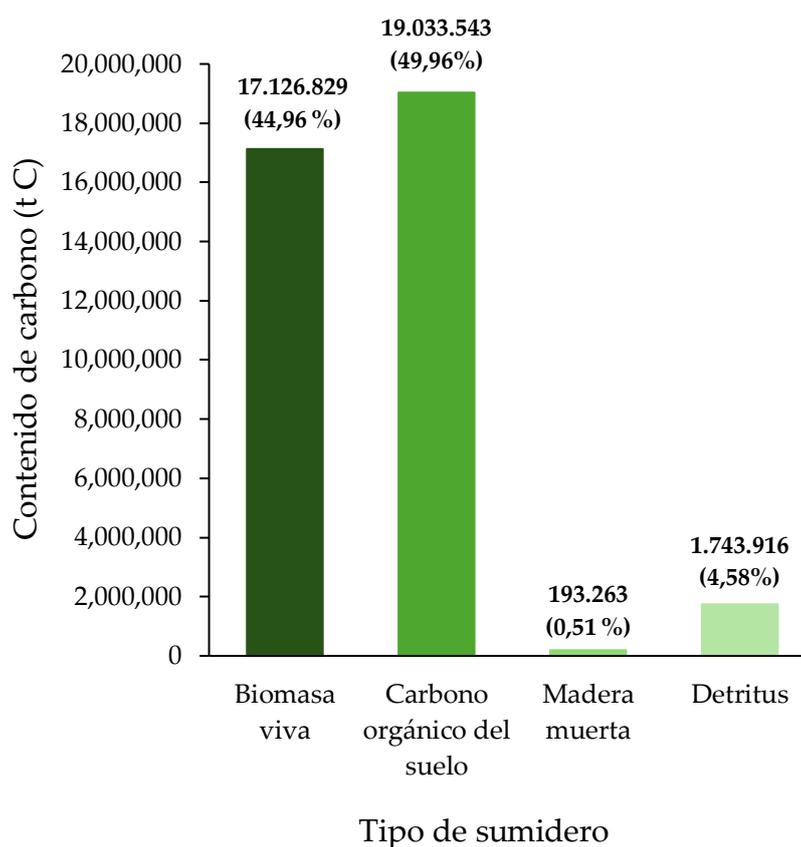
Para el cálculo del carbono orgánico en suelo, se utilizaron los valores de referencia de COS para Andalucía por tipo de formación vegetal recogidos en los Anexos 21 para formaciones forestales, arbustivas y pastizales y Anexo 22 para cultivos. De forma similar, para obtener el carbono en madera muerta y detritus se utilizaron los valores de referencia recogidos en la Tabla 9 y 10, respectivamente. Estos valores se multiplicaron al valor de superficie por formación vegetal identificado dentro de la Reserva.

*Cerdos ibéricos alimentándose en dehesa en la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena. Autor: Antonio José López Fernández.*





En conjunto, los sumideros estudiados en la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena acumulan un total de 38.099.111 toneladas de carbono (t C). De ellos, la mayoría se concentra en el COS, con una cantidad de 19.033.543 t C (49,96% del total), seguido de la biomasa viva con 17.128.390 t C (44,96% del total), y por ultimo los sumideros de detritus (4,58 %) y de madera muerta (0,51 %) (Figura 13).



**Figura 13. Cantidad total y porcentaje de carbono acumulado en los cuatro tipos de sumideros (biomasa viva, carbono orgánico del suelo, madera muerta y detritus).**

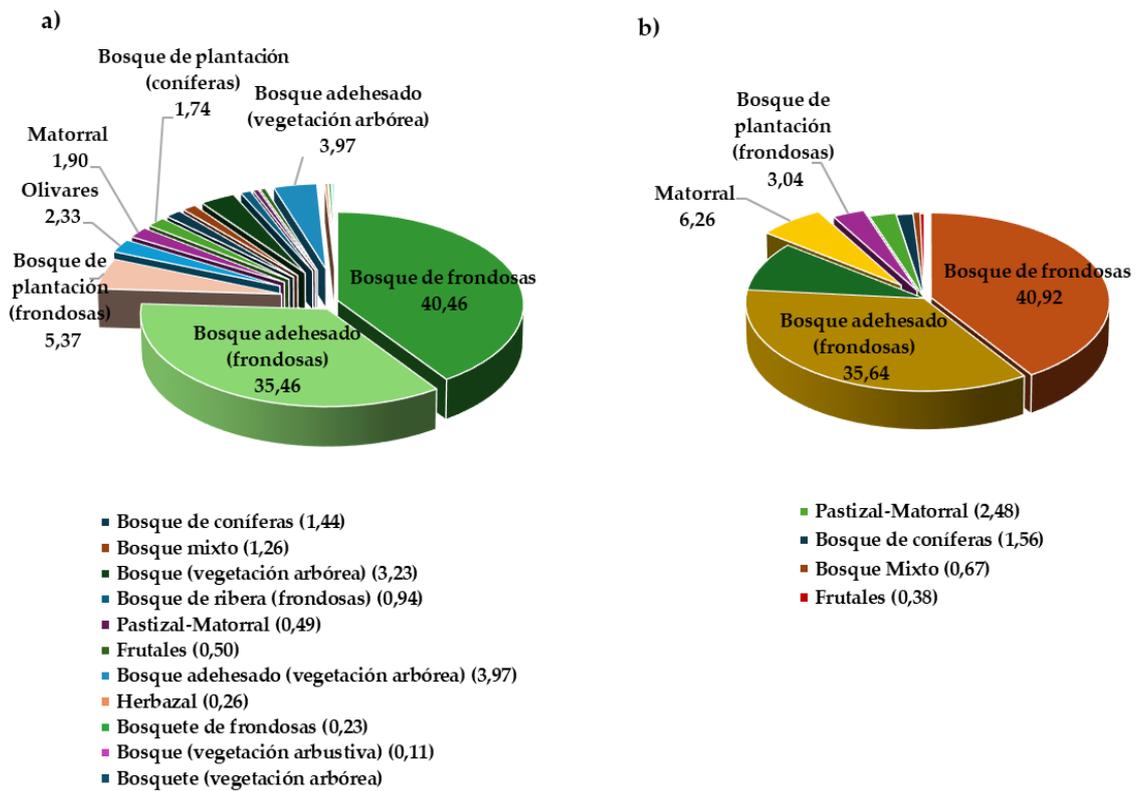
A continuación, se presentan los resultados detallados por tipo de sumidero de carbono obtenido para la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena.

### 5.3.1. Resultados del carbono acumulado en la biomasa viva (aérea y subterránea)

En la biomasa viva vegetal se almacenan 17.126.829 toneladas C (Tabla 11). Dentro del conjunto de las formaciones vegetales que representan la biomasa viva, los bosques de frondosas y los bosques adhesados de frondosas destacan



como los principales contribuyentes, con aportes del 40,46 % y 35,46 %, respectivamente (Figura 14a). Por otro lado, los matorrales tienen una contribución limitada al carbono almacenado en la biomasa viva (~ 2%), similar a los cultivos de olivar (2,33%). Este análisis pone de manifiesto la importancia de las distintas formaciones vegetales en el almacenamiento de carbono y su papel en los procesos ecológicos claves.



**Figura 14. Porcentaje del contenido de carbono en (a) la biomasa viva y (b) en el suelo en diferentes formaciones de vegetación.** Los números de la figura representan el porcentaje de carbono de cada tipo de vegetación. Datos provenientes de la Tabla 11.

*Vista de Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena.  
Autor: Rafael Arenas González*





**Tabla 11. Contenido total de carbono en la biomasa viva (aérea y subterránea) por tipo de vegetación y especie forestal en la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena.** MFE, Mapa Forestal Español. Biomasa total ( $t_{ms}/ha$ ): promedio de biomasa total aérea y subterránea (en toneladas de materia seca por hectárea) calculado por estructura de vegetación y especie a partir de los datos IFN3. Contenido en C ( $t\ C/ha$ ): promedio de contenido de carbono en biomasa por hectárea. Contenido total C ( $t\ C/ha$ ): cantidad total de carbono almacenado en la biomasa viva de la Reserva de la Biosfera ‘Dehesas de Sierra Morena’ por tipo de formación vegetal y especie.

Cartografía	Formación vegetal	Tipo de vegetación	Especies	Superficie (ha)	Promedio biomasa total ( $t_{ms}/ha$ )	Promedio contenido en C ( $t\ C/ha$ )	Contenido total C ( $t\ C$ )		
MFE	Bosquete	Frondosas	<i>Castanea sativa</i>	251,37	226,02	109,39	27.497,66		
			<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	4,21	111,89	53,15	223,88		
			<i>Olea europaea</i>	28,39	32,68	15,46	438,98		
			<i>Populus x canadensis</i>	2,07	113,14	56,57	116,98		
			<i>Quercus ilex</i>	240,08	54,74	26,00	6.242,19		
			<i>Quercus pyrenaica</i>	32,44	79,26	37,65	1.221,24		
			<i>Quercus suber</i>	141,95	66,37	31,33	4.447,41		
			<i>Pinus pinea</i>	2,89	73,06	37,11	107,28		
		Coníferas Vegetación arbórea	<i>Quercus ilex</i>	5,60	54,74	26,00	145,47		
			<i>Quercus suber</i>	6,21	66,37	31,33	194,47		
			Bosque de ribera	Frondosas	<i>Alnus glutinosa</i>	799,77	106,96	53,48	42.771,56
					<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	778,42	111,89	53,15	41.373,07
		<i>Eucalyptus globulus</i>			28,98	43,01	20,43	592,02	
		<i>Fraxinus angustifolia</i>			676,91	61,65	29,47	19.948,60	
<i>Populus nigra</i>	1.118,69	78,60			39,30	43.964,52			
<i>Populus x canadensis</i>	55,14	113,14			56,57	3.119,48			
<i>Quercus ilex</i>	298,09	54,74			26,00	7.750,30			
<i>Salix spp.</i>	41,70	23,84			11,92	497,06			
Bosque adehesado	Frondosas	<i>Olea europaea</i>			925,23	32,68	15,46	14.304,06	
		<i>Quercus faginea</i>			27,08	65,00	31,20	844,84	
		<i>Quercus ilex</i>	186.053,36	54,74	26,00	4.837.387,33			
		<i>Quercus pyrenaica</i>	353,20	79,26	37,65	13.298,13			
		<i>Quercus suber</i>	38.545,49	66,37	31,33	1.207.630,36			
		Vegetación arbórea	<i>Quercus ilex</i>	23.844,90	54,74	26,00	619.967,49		

Cartografía	Formación vegetal	Tipo de vegetación	Especies	Superficie (ha)	Promedio biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio contenido en C (t C/ha)	Contenido total C (t C)		
		Vegetación arbustiva	<i>Quercus suber</i>	1.914,65	66,37	31,33	59.986,03		
			<i>Quercus ilex</i>	2.523,14	15,46	7,71	19.453,43		
			<i>Quercus suber</i>	23,70	15,46	7,71	182,70		
	Bosque de plantación	Frondosas	<i>Castanea sativa</i>	252,24	226,02	109,39	27.592,27		
				<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	2.858,80	111,89	53,15	151.945,26	
				<i>Eucalyptus globulus</i>	15.213,74	43,01	20,43	310.816,64	
				<i>Olea europaea</i>	32,11	32,68	15,46	496,43	
				<i>Populus x canadensis</i>	35,24	113,14	56,57	1.993,45	
				<i>Quercus ilex</i>	3.124,76	54,74	26,00	81.243,88	
				<i>Quercus suber</i>	1.853,39	66,37	31,33	58.066,59	
				<i>Ceratonia siliqua</i>	11,50	26,16	13,08	150,38	
				<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	270,41	111,89	53,15	14.372,29	
				<i>Eucalyptus globulus</i>	1.301,45	43,01	20,43	26.588,61	
				<i>Olea europaea</i>	326,72	32,68	15,46	5.051,10	
				<i>Quercus ilex</i>	6.553,74	54,74	26,00	170.397,36	
				<i>Quercus suber</i>	2.277,73	66,37	31,33	71.361,19	
				Coníferas	<i>Pinus halepensis</i>	25,60	39,61	19,77	506,04
					<i>Pinus pinaster</i>	1.617,01	59,70	30,51	49.335,07
			<i>Pinus pinea</i>		6.196,72	73,06	37,11	229.960,37	
			<i>Pinus pinaster</i>		26,43	59,70	30,51	806,47	
			<i>Pinus pinea</i>		454,23	73,06	37,11	16.856,60	
			Mixtos	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	66,42	111,89	53,15	3.530,11	
				<i>Eucalyptus globulus</i>	161,25	43,01	20,43	3.294,26	
				<i>Pinus halepensis</i>	34,24	39,61	19,77	676,95	
				<i>Pinus pinaster</i>	71,52	59,70	30,51	2.182,06	
				<i>Pinus pinea</i>	240,83	73,06	37,11	8.937,35	
				<i>Quercus ilex</i>	49,05	54,74	26,00	1.275,17	
				<i>Quercus suber</i>	167,26	66,37	31,33	5.240,27	
				<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	13,03	111,89	53,15	692,72	
				<i>Eucalyptus globulus</i>	116,55	43,01	20,43	2.381,15	
		<i>Pinus pinaster</i>		2,32	59,70	30,51	70,67		
		<i>Pinus pinea</i>		20,65	73,06	37,11	766,47		
	Bosque	Frondosas		<i>Castanea sativa</i>	10.388,32	226,02	109,39	1.136.377,98	

Cartografía	Formación vegetal	Tipo de vegetación	Especies	Superficie (ha)	Promedio biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio contenido en C (t C/ha)	Contenido total C (t C)
			<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	2.512,81	111,89	53,15	133.555,87
			<i>Eucalyptus globulus</i>	3.012,05	43,01	20,43	61.536,08
			<i>Olea europaea</i>	9.315,59	32,68	15,46	144.019,09
			<i>Phillyrea latifolia</i>	12,57	29,29	14,65	184,16
			<i>Populus nigra</i>	7,76	78,60	39,30	304,96
			<i>Quercus faginea</i>	1.322,45	65,00	31,20	41.260,41
			<i>Quercus ilex</i>	133.649,66	54,74	26,00	3.474.891,04
			<i>Quercus pyrenaica</i>	672,30	79,26	37,65	25.312,25
			<i>Quercus suber</i>	61.058,05	66,37	31,33	1.912.948,80
		Coníferas	<i>Pinus pinaster</i>	4.348,58	59,70	30,51	132.675,31
			<i>Pinus pinea</i>	3.076,58	73,06	37,11	114.171,83
		Mixtos	<i>Castanea sativa</i>	463,92	226,02	109,39	50.748,34
			<i>Juniperus oxycedrus</i>	11,10	25,01	12,50	138,78
			<i>Olea europaea</i>	968,45	32,68	15,46	14.972,24
			<i>Pinus pinaster</i>	1.987,31	59,70	30,51	60.632,80
			<i>Pinus pinea</i>	1.157,34	73,06	37,11	42.948,72
			<i>Quercus faginea</i>	3,77	65,00	31,20	117,59
			<i>Quercus ilex</i>	484,43	54,74	26,00	12.595,21
			<i>Quercus pyrenaica</i>	6,70	79,26	37,65	252,36
			<i>Quercus suber</i>	1.060,61	66,37	31,33	33.228,90
		Vegetación arbórea	<i>Alnus glutinosa</i>	86,90	106,96	53,48	4.647,38
			<i>Castanea sativa</i>	21,57	226,02	109,39	2.359,37
			<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	725,34	111,89	53,15	38.552,06
			<i>Eucalyptus globulus</i>	434,43	43,01	20,43	8.875,48
			<i>Juniperus oxycedrus</i>	160,37	25,01	12,50	2.004,63
			<i>Olea europaea</i>	1.586,53	32,68	15,46	24.527,69
			<i>Pinus pinaster</i>	111,37	59,70	30,51	3.398,00
			<i>Pinus pinea</i>	345,08	73,06	37,11	12.805,75
			<i>Quercus ilex</i>	14.286,95	54,74	26,00	371.460,68
			<i>Quercus pyrenaica</i>	6,01	79,26	37,65	226,25
			<i>Quercus suber</i>	2.688,21	66,37	31,33	84.221,72
		Vegetación arbustiva	<i>Pinus pinaster</i>	9,27	15,46	7,71	71,45
			<i>Pinus pinea</i>	350,51	15,46	7,71	2.702,47



Cartografía	Formación vegetal	Tipo de vegetación	Especies	Superficie (ha)	Promedio biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio contenido en C (t C/ha)	Contenido total C (t C)
			<i>Quercus ilex</i>	2.089,70	15,46	7,71	16.111,56
			<i>Quercus suber</i>	51,82	15,46	7,71	399,78
	Herbazal	Herbazal	Herbazal	11.700,22	7,57	3,77	44.109,84
	Matorral	Matorral	Matorral	42.312,99	15,46	7,71	326.233,16
	Pastizal-Matorral	Pastizal-Matorral	Pastizal-Matorral	14.665,35	11,52	5,74	84.179,12
CORINE							
Land Cover	Agrícola	Frutales		4.573,48		19	86.896,13
		Olivares		63.675,10		6,28	399.879,63
	<b>Total</b>						<b>17.126.829</b>

### 5.3.2 Resultados del carbono orgánico acumulado en el suelo

Los resultados revelan que el mayor sumidero de carbono en RBDSA proviene del COS, con un total de 19.033.543 t COS (Tabla 12), representando el 49,96 % del carbono total estimado en la Reserva, lo que evidencia su importancia como un sumidero natural en la RBDSA.

Comparando el carbono orgánico en el suelo por tipo de formación de vegetación se observa que los bosques de frondosas emergen como la principal reserva de COS. Con una extensión de más de 221.951 hectáreas, estos bosques almacenan aproximadamente 7,78 millones de toneladas de carbono, lo que equivale al 40,92 % del total del carbono en el suelo (Figura 14b, Tabla 12). Su capacidad de retención de carbono por hectárea es notable, con una media de 35 toneladas COS / ha, reflejando la riqueza del suelo y la densidad de su vegetación.

No muy lejos en importancia, los bosques adherados de frondosas abarcan una extensión similar, aunque con un almacenamiento ligeramente inferior, de 6,78 millones de toneladas. Esto representa el 35,64 % del total (Figura 14b), con una capacidad de almacenamiento algo menor (30,03 t/ha), lo que sugiere que, aunque el ecosistema es extenso, su dinámica de carbono está influenciada por la actividad humana que caracteriza estas áreas de dehesa (Tabla 12).

A pesar de ocupar una superficie mucho menor, los matorrales sorprenden con su alta capacidad de almacenamiento. Con apenas 42.312 hectáreas, este ecosistema retiene 1,19 millones de toneladas de carbono, representando el 10 % del total de carbono en el suelo (Figura 14b; Tabla 12).



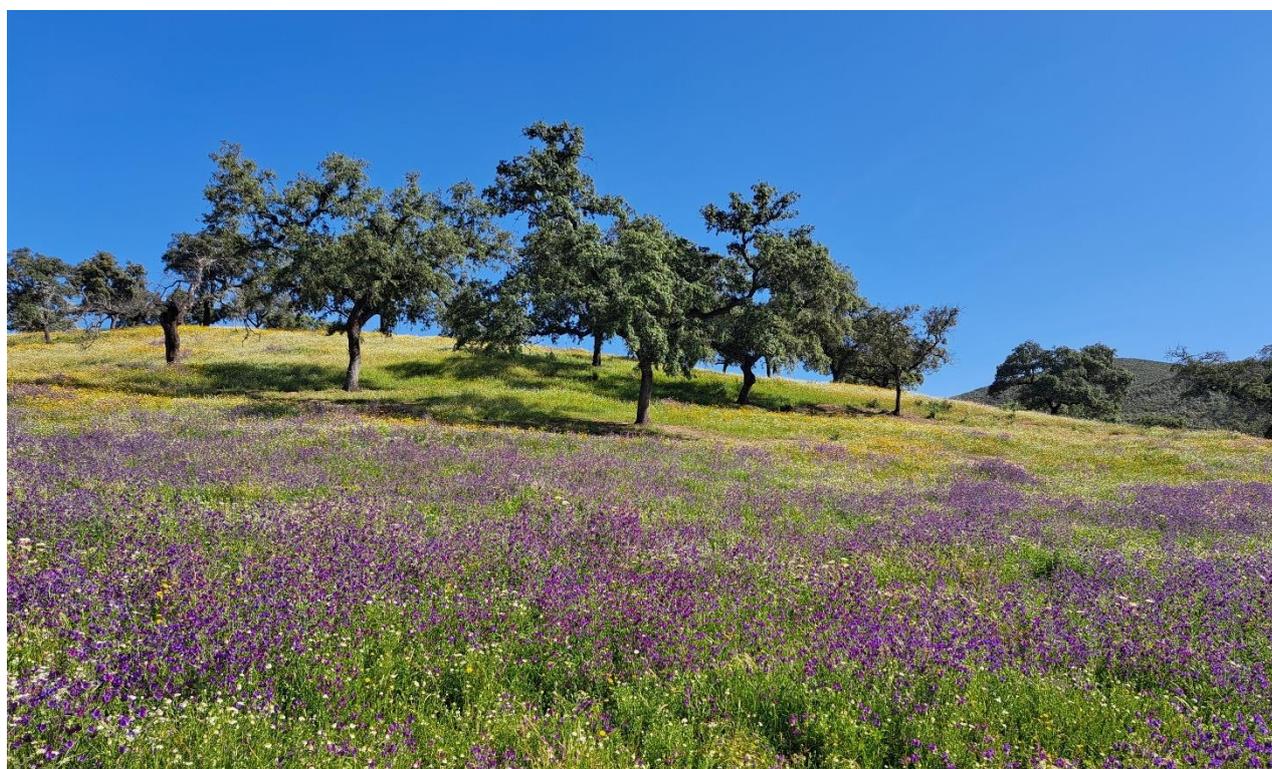
Otros bosques, aunque con menor impacto total, también contribuyen a la retención de carbono en la región. Los bosques de coníferas, por ejemplo, con poco más de 7.400 hectáreas, almacenan 296.377 toneladas de carbono, mientras que los bosques mixtos, con una superficie de 6.143 hectáreas, retienen 127.725 toneladas de C. Por su parte, los bosques de plantación de frondosas, a pesar de su extensión de más de 34.000 hectáreas, presentan valores de almacenamiento más bajos (16,94 t C/ha), acumulando un total de 577.815 toneladas de carbono (Tabla 12).

En contraste, las áreas agrícolas y seminaturales muestran un menor potencial de retención de carbono. Los sistemas de pastizal, aunque relativamente eficientes (32,24 t C/ha), solo representan 472.810 toneladas en total debido a su limitada extensión en RBDSA. Los cultivos permanentes, como el olivar y los frutales con más de 68.000 hectáreas en conjunto, contribuyen con 1,79 millones de toneladas de carbono, pero su capacidad de almacenamiento es significativamente menor en comparación con los bosques naturales (Tabla 12).

En resumen, los bosques de frondosas y adhesados constituyen los mayores reservorios de carbono del suelo, mientras que los matorrales destacan por su alta eficiencia de almacenamiento. En cambio, los terrenos agrícolas, aunque extensos, presentan un menor potencial de fijación de carbono, lo que abre la puerta a la implementación de estrategias de manejo sostenible que ayuden a mejorar su capacidad de almacenamiento. Por lo que los resultados subrayan la vital importancia de los ecosistemas forestales y seminaturales en la captura y almacenamiento de carbono en la Reserva de la Biosfera.

*Dehesa en primavera en la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena.*

*Autor: Antonio José López Fernández*





**Tabla 12. Carbono orgánico del suelo (COS) almacenado en la Reserva de la Biosfera ‘Dehesas de Sierra Morena’.** COS (t/ha): promedio de carbono orgánico en el suelo por hectárea y formación de vegetación, calculado a partir de los datos disponibles en la base de datos del Inventario Nacional de Erosión del Suelo. COS total (t C): Cantidad total de carbono orgánico en el suelo estimada para la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena. MFE, Mapa Forestal Español.

Cartografía	Formación de vegetación	Superficie (ha)	Promedio COS (t C /ha)	COS total (t C)
MFE	Bosque de coníferas	7.425,16	39,92	296.412,38
	Bosque de frondosas	221.951,56	35,09	7.788.280,24
	Bosque Mixto	6.143,63	20,79	127.726,06
	Bosque de plantación (frondosas)	34.111,82	16,94	577.854,23
	Bosque adehesado (frondosas)	225.904,37	30,03	6.783.908,23
	Matorral	42.312,99	28,15	1.191.110,66
	Pastizal	14.665,35	32,24	472.810,88
CORINE	Frutales	4.573,48	15,91	72.764
Land Cover	Olivares	63.675,10	27,07	1.723.685
<b>Total</b>				<b>19.033.543</b>

### 5.3.3. Resultados del carbono acumulado en madera muerta

El carbono almacenado en la madera muerta en la Reserva de la Biosfera ‘Dehesas de Sierra Morena’ representa una fracción muy pequeña del total, con 193.262 toneladas, lo que equivale a menos del 1 % del carbono total estimado en el ecosistema (Tabla 13).

Este carbono no se distribuye uniformemente en el territorio, sino que varía según la provincia. Huelva es la que más contribuye, con 101.293 toneladas, debido a la gran extensión de sus bosques y a una biomasa de madera muerta relativamente alta (0,84 t/ha). Sevilla, con 67.751 toneladas, sigue en importancia, mientras que Córdoba, con 24.216 toneladas, es la que menos carbono almacena en este compartimento, reflejando una menor presencia de madera muerta en sus ecosistemas forestales.

Aunque su aporte es relativamente bajo en comparación con otras reservas de carbono, como el carbono orgánico del suelo o la biomasa aérea viva, su presencia sigue siendo relevante dentro del ciclo del carbono y la dinámica ecológica de los bosques.



**Tabla 13. Carbono total estimado en la madera muerta de Reserva de la Biosfera ‘Dehesas de Sierra Morena’.** Biomasa estimada ( $t_{ms}/ha$ ): Biomasa de materia seca estimada a nivel de provincia, aplicada a la superficie de bosque ocupada por la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena. Contenido en carbono: contenido en carbono por biomasa ( $t C/ha$ ). Carbono total: cantidad total de carbono estimado en la madera muerta en la Reserva de la Biosfera ‘Dehesas de Sierra Morena’ ( $t C$ ).

	Provincia	Superficie	Biomasa ( $t_{ms}/ha$ )	Contenido en C ( $t C/ha$ )	Carbono total ( $t C$ )
Formación de Bosque	Córdoba	89.692,48	0,56	0,27	24.216,97
	Huelva	247.057,99	0,84	0,41	101.293,78
	Sevilla	225.839,60	0,63	0,3	67.751,88
<b>Total</b>					<b>193.262,63</b>

#### 5.3.4. Resultados del carbono acumulado en detritus

Al igual que en el caso de la madera muerta, el carbono acumulado en el sumidero de detritus es pequeño, contabilizando 1.743.915,74 toneladas de C, lo que representa un 4.63 % sobre el total de C en RBDSA, de los cuales la mayor parte se encuentra en las tierras forestales con 1.693.235,50 toneladas de C, que constituye el 97 % del total de depósito de C en detritus (Tabla 14).

**Tabla 14. Carbono total estimado en detritus en las distintas formaciones de Reserva de la Biosfera ‘Dehesas de Sierra Morena’.** Superficie de formación ocupada por la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena. Contenido en carbono: contenido en carbono por detritus ( $t C/ha$ ). Carbono total: cantidad total de carbono estimado en detritus en la Reserva de la Biosfera ‘Dehesas de Sierra Morena’ ( $t C$ ).

Uso del suelo	Superficie (ha)	Contenido en carbono ( $t C/ha$ )	Carbono total ( $t C$ )
Tierras forestales	560.674,01	3,02	1.693.235,50
Tierras de cultivo	68.248,58	0,33	22.522,03
Pastizales	68.678,57	0,41	28.158,21
<b>Total</b>			<b>1.743.915,74</b>



## 6. Limitaciones y posibles mejoras



*Vista del río Curueño en la Reserva de la Biosfera Argüellos.*

*Autor: OAPN*



En el método seguido en este trabajo se han tenido en cuenta las directrices del IPCC para el inventario de GEI (*directrices del IPCC de 1996, informe sobre las buenas prácticas y directrices del IPCC de 2006*) (IPCC, 2006). Por ello, este estudio cubre el estándar de calidad vigente y es el mejor método que tenemos en la actualidad para el cálculo de sumidero de carbono. Sin embargo, todo método conlleva una serie de asunciones que pueden conllevar a cierto error en las estimas. En este apartado, vamos a desglosar algunas de estas limitaciones y abordaremos algunas posibles soluciones futuras a estas limitaciones. En la Tabla 15 se resumen algunas de estas limitaciones, las cuales se desarrollan ampliamente más abajo.



*Vista del río Miño con vegetación acuática y bosque de ribera en la Reserva de la Biosfera Terras do Minho. Autor: OAPN*

*Cortado calizo en pinsapar en la Reserva de la Biosfera Sierra de las Nieves. Autor: OAPN*





**Tabla 15. Resumen de las limitaciones del estudio y posibles soluciones futuras.**

<b>Código</b>	<b>Limitación</b>	<b>Solución futura</b>
<b>1</b>	Identificación de la superficie ocupada por tipo de formación vegetal no disponible o no actualizada	Identificación del tipo de formación vegetal más precisa mediante modelos basados en datos de imágenes de alta resolución espacial
<b>2</b>	Uso de un valor medio constante para la biomasa aérea de cada especie forestal	Calibración de modelos en función de variables tomadas por sensores remotos como Índices de Vegetación o LIDAR y ajustados a cada región climática
<b>3</b>	Limitación en la estimación de biomasa por el muestreo parcial del IFN	Comparación de datos de biomasa de mediciones de todos los árboles de la parcela con los datos de árboles seleccionados del IFN para identificar sesgos
<b>4</b>	Diferentes aproximaciones para cálculo de biomasa: ecuaciones alométricas vs. coeficiente de expansión	Comparación del cálculo de biomasa aérea entre estas dos aproximaciones para todas las especies forestales e identificar sesgos
<b>5</b>	Limitación de usar un coeficiente constante para la biomasa subterránea sin considerar la clase diamétrica	Diseño de ecuaciones que relacionen los coeficientes de biomasa subterránea con la clase diamétrica del árbol
<b>6</b>	Limitaciones en la estimación de biomasa en formaciones mixtas	Cálculo de valores de biomasa y carbono considerando la presencia de otras especies y calcular la desviación de los valores con respecto a aquellos en formaciones monoespecíficas
<b>7</b>	Falta de acceso o no disponibilidad de los datos actualizados al 4º IFN en Andalucía y otras comunidades autónomas	El incremento de biomasa medio por formación se podría calcular en la actualidad a partir de los datos disponibles de la productividad forestal del IFN2 al IFN3, y sumándosela a los datos de biomasa del IFN3. Otra opción sería tener disponibilidad de los datos del IFN4
<b>8</b>	No se tiene en cuenta la biomasa de sotobosque en las distintas formaciones boscosas	Contabilizar el depósito de C en sotobosque para las distintas formaciones forestales. Se podría hacer considerando un valor promedio de biomasa de sotobosque conociendo la especie dominante por formación forestal o con datos de Fcc y altura del sotobosque y aplicando las ecuaciones alométricas de Montero et al. (2020)
<b>9</b>	Limitación en el cálculo del sumidero de carbono en madera muerta por tipo de formación vegetal	Elaboración de ecuaciones optimizadas para cada formación vegetal arbórea a partir de inventarios más detallados que incluyan mediciones específicas de madera muerta por tipo de formación vegetal
<b>10</b>	Limitaciones en la estimación del carbono en detritus a nivel de formación vegetal	Desarrollo de bases de datos más detalladas que integren mediciones específicas del carbono en detritus (hojarasca) por tipo de formación vegetal y especie forestal, tanto para árboles, matorral y herbáceas
<b>11</b>	Carbono orgánico en el suelo sin considerar tipo de suelo o diferencias en profundidad del perfil	Ajuste de valores dependiendo de las distintas formaciones vegetales, teniendo en cuenta el tipo de suelo y las distintas profundidades



## **1. Identificación de la superficie ocupada por tipo de formación vegetal no disponible o actualizada**

En este estudio, la falta de información precisa sobre la ocupación del suelo para cada formación vegetal ha obligado a estimar el porcentaje de cobertura utilizando cartografía existente, como el Mapa Forestal Español y Corine (IGN, 2018; MITECO, 2023c). Sin embargo, esta información presenta ciertas limitaciones. Por un lado, su antigüedad puede afectar la precisión de los datos, ya que el MFE para Andalucía data del año 2006 y Corine del año 2018. Durante este tiempo, la cubierta vegetal pudo haber cambiado debido a incendios, modificaciones en el uso del suelo u otros factores, lo que hace recomendable una actualización.

Por otro lado, la clasificación actual puede contener errores en la asignación de ciertas formaciones vegetales. La metodología empleada distingue entre bosques de frondosas, coníferas y mixto, lo que puede generar imprecisiones en masas mixtas con especies en proporciones variables. Estos errores pueden alterar significativamente los valores de biomasa estimados. Para mejorar la precisión, sería conveniente desarrollar métodos de clasificación más específicos mediante el uso de datos obtenidos de imágenes con alta resolución espacial con sensores remotos que permitan una identificación más detallada de la vegetación.

## **2. Uso de un valor medio constante para la biomasa aérea de cada especie forestal**

En este estudio, hemos estimado un valor medio de biomasa aérea de referencia para cada especie forestal, utilizando datos de biomasa obtenidos de una selección de parcelas del IFN donde la especie en cuestión tenía una representación  $>60\%$  del área basal de la parcela. Sin embargo, la biomasa aérea de una misma especie puede variar significativamente en función de las condiciones ambientales en las que crezca, ya que está influida principalmente por factores edáficos, topográficos, climáticos y estructurales (ver, por ejemplo, la variabilidad en los datos de biomasa en distintos tipos de bosques de Andalucía en Herráiz et al., (2023), Figura 15).

El uso de un valor promedio constante para cada tipo de bosque en función de la comunidad autónoma no captura del todo esta variabilidad, lo que puede generar imprecisiones en la estimación de biomasa. Dado el gran tamaño de las áreas de estudio, la medición directa en campo no es una opción viable. Algunos estudios han identificado relaciones significativas entre la biomasa aérea y



variables como la densidad y el NDVI en distintos bosques de Andalucía (Herráiz et al., 2023). No obstante, los coeficientes de regresión ( $R^2$ ) variaban entre 0,29 y 0,65 según la especie, lo que refleja una considerable incertidumbre en las estimaciones basadas únicamente en densidad o NDVI.

Por ello, resulta fundamental calibrar modelos basados en variables obtenidas mediante sensores remotos, como índices de vegetación o datos dasométricos provenientes de tecnología LiDAR adecuados a las condiciones ambientales dentro de cada región, con el fin de mejorar la precisión y permitan una estimación más fiable de la biomasa forestal por tipo de bosque.

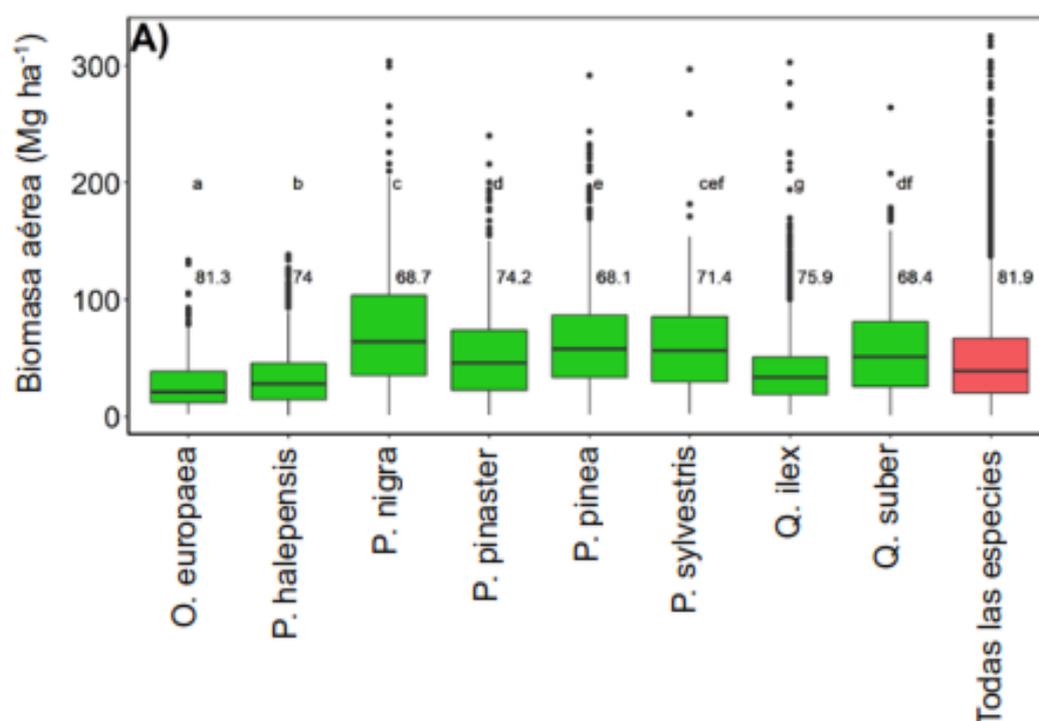


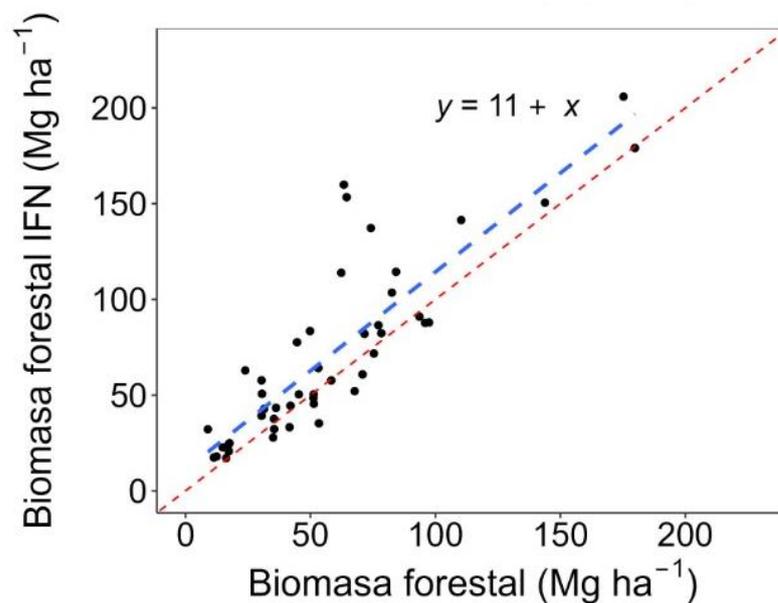
Figura 15. Biomasa aérea de los distintos bosques en Andalucía. Extraída de Herráiz et al., (2023).

### 3. Limitación en la estimación de biomasa por el muestreo parcial del IFN

Los datos del IFN no incluyen la medición de todos los árboles de la parcela, ya que el muestreo se realiza en subparcelas concéntricas, considerando únicamente los árboles dentro de ciertos rangos de tamaño. Esta metodología puede generar limitaciones en la estimación de biomasa, por lo que resulta fundamental comparar los valores obtenidos con el IFN con aquellos calculados a partir de la totalidad de los árboles presentes en la parcela.



A partir del muestreo completo de un conjunto de parcelas del IFN, se compararon los valores de biomasa calculados con la metodología del IFN y aquellos obtenidos considerando todos los árboles de la parcela (Salazar et al., comunicación personal). La ecuación de la regresión entre ambas estimaciones muestra una pendiente de 1 (Figura 16), lo que indica una relación lineal entre los dos enfoques. No obstante, los valores de biomasa estimados con el IFN tienden a ser ligeramente superiores, como evidencia el intercepto de 11 en la ecuación de la recta. Esta discrepancia sugiere que la metodología del IFN podría introducir un sesgo en la estimación de biomasa, por lo que sería recomendable evaluar su impacto y, si es necesario, ajustar los modelos para mejorar su precisión.



**Figura 16. Regresión de la biomasa forestal estimada con la metodología del IFN frente a la calculada con todos los árboles de la parcela.** La línea roja representa la relación 1:1 y la línea azul representa la línea ajustada a las observaciones (Salazar et al., comunicación personal)

#### **4. Diferentes aproximaciones para cálculo de biomasa: ecuaciones alométricas vs. coeficiente de expansión**

En la metodología propuesta en este estudio para cuantificar el sumidero de carbono en las Reservas de la Biosfera, los valores medios de referencia de biomasa para cada tipo de bosque se calculan a partir de aplicar las ecuaciones alométricas de Montero et al., (2005) de manera individual a cada árbol medido en el IFN, en función de su DBH y luego se hace el sumatorio de los valores de



biomasa de todos los árboles dentro de la parcela. A partir del valor de cada parcela, se obtiene un valor medio de biomasa por tipo de bosque, determinado según la especie mayoritaria.

Por el contrario, la metodología utilizada por el Ministerio de Transición Ecológica (MITECO, 2024b) sigue un enfoque diferente: primero se calcula un valor medio de volumen de madera por hectárea y, posteriormente, se aplica un factor de expansión para estimar la biomasa aérea de cada formación.

Estas diferencias metodológicas pueden generar discrepancias en los resultados, por lo que sería necesario evaluar cuál de los enfoques proporciona estimaciones más precisas y ajustadas a la realidad.

#### **5. Limitación del uso de un valor constante para la biomasa subterránea sin considerar la clase diamétrica**

El cálculo de la biomasa subterránea en las formaciones arboladas se ha realizado utilizando un valor constante para cada especie, basado en las tablas publicadas por el Ministerio de Transición Ecológica (MITECO, 2024b). Sin embargo, este enfoque no tiene en cuenta la variabilidad que existe en función del tamaño del árbol, lo que puede generar estimaciones poco precisas.

La proporción de biomasa subterránea respecto a la biomasa total no es un valor fijo, sino que cambia según el diámetro del árbol. Por ejemplo, en el caso de la encina, esta proporción puede oscilar entre 0,60 en árboles pequeños y 0,20 en individuos de mayor tamaño (Figura 17, Villar et al., 2017). Al aplicar un valor único sin diferenciar por clase diamétrica, se pueden introducir sesgos en la estimación de la biomasa subterránea, especialmente en bosques con estructuras muy heterogéneas.

Para mejorar la precisión de estos cálculos, sería recomendable emplear funciones que relacionen la biomasa subterránea con el diámetro del árbol, en lugar de utilizar un único coeficiente constante por especie. Esto permitiría obtener estimaciones más ajustadas a la realidad y reducir la incertidumbre en la cuantificación del carbono almacenado en el sistema radicular.

*Vistas del río Anoaia en Allariz en la Reserva de la Biosfera del Área de Allariz. Autor: OAPN*



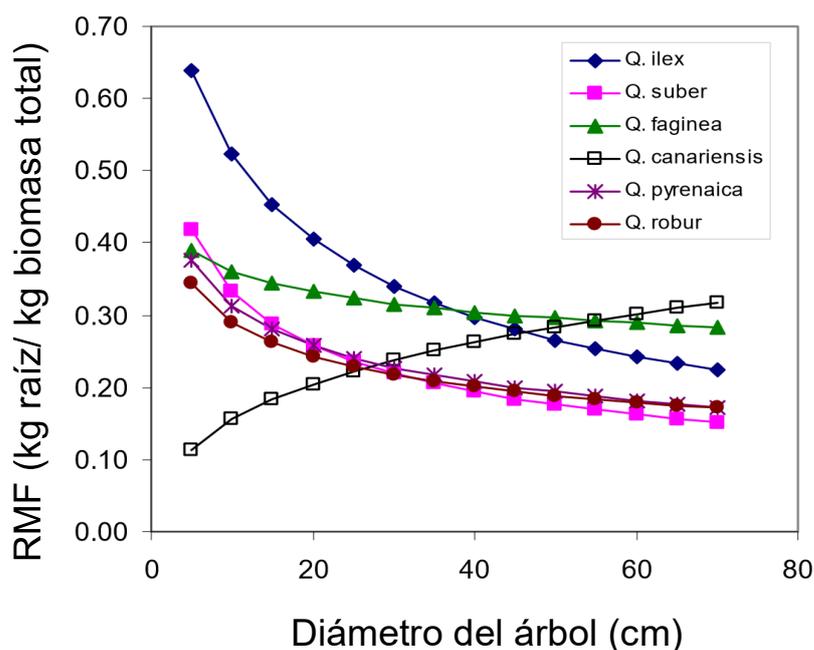


Figura 17. Variación de la proporción de biomasa de raíz con respecto a la biomasa total en función de distintas clases diamétricas para distintas especies de *Quercus*. Extraída de Villar et al. (2017).

## 6. Limitaciones en la estimación de biomasa en formaciones mixtas

En nuestro estudio, el cálculo del valor medio de referencia de biomasa aérea se ha realizado considerando únicamente aquellas parcelas donde la especie forestal de interés es dominante, estableciendo como criterio que represente al menos el 60% de la biomasa total de la parcela. No obstante, este umbral puede variar entre estudios, lo que podría afectar a la representatividad de los valores de referencia de biomasa obtenidos. Al aplicar este enfoque, se asume que la especie dominante define la biomasa total del bosque, sin considerar la influencia de otras especies presentes en la formación.

Esta simplificación puede generar imprecisiones, especialmente en bosques mixtos, donde la coexistencia con otras especies puede modificar significativamente las tasas de crecimiento, la densidad de la madera y la asignación de biomasa entre compartimentos (aéreo y subterráneo) de la especie dominante. Dependiendo de la composición del bosque, el cálculo de biomasa basado únicamente en la especie dominante podría subestimar o sobrestimar los valores reales, ya que no se tiene en cuenta la contribución diferencial de las especies acompañantes.



Para mejorar la precisión de las estimaciones de biomasa y carbono en formaciones mixtas, sería recomendable desarrollar modelos que integren la biomasa específica de todas las especies en función de su proporción real dentro del ecosistema. Esto permitiría obtener una evaluación más precisa del almacenamiento de carbono y una representación más fiel de la estructura forestal.

### **7. Falta de acceso o no disponibilidad de los datos actualizados al IFN4 en Andalucía y otras comunidades autónomas**

Una de las principales limitaciones que hemos encontrado en este estudio es que los datos actualizados del 4º IFN no estaban disponibles para muchas de las comunidades autónomas, como es el caso de Andalucía, por lo que se ha trabajado a partir de datos del IFN3. En promedio han transcurrido 17 años desde la recopilación de estos datos del IFN3, por lo que la biomasa forestal ha podido incrementarse significativamente en función de la productividad de cada formación arbórea.

El crecimiento forestal es un proceso dinámico influenciado por factores climáticos, edáficos y de manejo forestal. Según estudios recientes, la productividad forestal en distintas formaciones arbóreas de Andalucía varía entre 0,5 y 2 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Herráiz et al., 2023). Esto implica que, dependiendo del tipo de bosque y sus condiciones, la biomasa acumulada desde 2007 podría haber aumentado en un rango estimado de 8,5 a 34 Mg ha<sup>-1</sup> hasta la fecha.

Al no considerar este incremento, las estimaciones basadas en el IFN3 podrían estar subestimando la biomasa actual, lo que afectaría a los cálculos de almacenamiento de carbono y los análisis de captura de CO<sub>2</sub> calculados aquí para el ejemplo de la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena. Para mejorar la precisión de las estimaciones, sería necesario ajustar los valores de biomasa incorporando modelos de crecimiento o datos actualizados obtenidos mediante sensores remotos, imágenes satelitales o muestreos complementarios. Esto permitiría reflejar con mayor exactitud la realidad forestal actual y mejorar la cuantificación del carbono almacenado en los ecosistemas andaluces.

*Matas de borrazas en la Reserva de la Biosfera Marismas del Odiel.*

*Autor: J.M. Reyero*





#### **8. No se tiene en cuenta la biomasa de sotobosque en las distintas formaciones boscosas**

No se ha considerado el componente de biomasa del sotobosque dentro de las masas forestales ya que no hay modelos ni medidas de matorral asociadas a las distintas formaciones arbóreas. Se podrían usar las bases de datos del Inventario Forestal en las que se indican la Fcc y Hm de las especies mayoritarias y sobre esta base aplicar los modelos de Montero et al., (2020). Sin embargo, dado que las fórmulas de biomasa y productividad del matorral se aplican dependiendo de las especies mayoritarias, habría que decidir en cada caso que ecuación sería aplicable. Algunos estudios han valorado que la biomasa de matorral puede oscilar entre 4,4 a 19,6 t C / ha (Navarro Cerrillo & Blanco Oyonarte, 2006). También se podría usar una ecuación alométrica genérica desarrollada por Montero et al., (2020) para todos los tipos de matorral de la Península Ibérica, ya que es más importante la cobertura y la altura del estrato de matorral que la propia especie.

#### **9. Limitación en el cálculo del sumidero de carbono en madera muerta por tipo de formación vegetal**

La estimación del carbono almacenado en la madera muerta presenta importantes limitaciones cuando se intenta diferenciar por tipo de formación vegetal. De acuerdo con la Guía del IPCC 2006, la madera muerta abarca toda la biomasa leñosa no viva que no forma parte de la hojarasca o detritus. Esto incluye troncos en pie, madera caída sobre el suelo y material leñoso enterrado, además de raíces muertas y cepas con un diámetro igual o superior a 7.5 cm (o el umbral definido por cada país).

A nivel nacional, los valores de carbono almacenado en madera muerta dentro de los bosques se han empezado a estimar a partir del 4º Inventario Forestal Nacional (IFN4), que como hemos mencionado anteriormente no está disponible para algunas de las comunidades autónomas como Andalucía. Aun así, los cálculos del IFN4 solo consideran la parte aérea de la biomasa muerta, excluyendo las raíces y otros componentes subterráneos. Esta omisión introduce una fuente de incertidumbre, ya que la proporción de carbono retenida en la madera muerta varía en función de factores como la especie forestal, el tipo de ecosistema y las condiciones de descomposición.

Otro aspecto crítico es la falta de datos específicos por formación vegetal. Esto dificulta una caracterización precisa de este sumidero de carbono, ya que las tasas de acumulación y descomposición pueden diferir significativamente entre tipos de bosques o formaciones arbustivas.



Para el presente estudio, los valores promedio de carbono en madera muerta han sido utilizados a partir de aquellos calculados y disponibles por el Ministerio de Transición Ecológica a nivel de provincia. Concretamente, para el ejemplo calculado aquí de la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena, los datos utilizados serían aquellos de las provincias de Córdoba, Huelva y Sevilla (Tabla 9). Estos valores promedio generales no refleja la variabilidad entre diferentes formaciones vegetales o especies predominantes, lo que limita la precisión de las estimaciones.

Para mejorar la fiabilidad de los cálculos de carbono en este sumidero, sería necesario contar con inventarios más detallados que incluyan mediciones específicas de madera muerta por tipo de formación vegetal. Esto permitiría refinar los modelos de estimación y reducir la incertidumbre en la contabilidad del carbono a nivel de sumidero de madera muerta.

#### **10. Limitaciones en la estimación del carbono en detritus a nivel de formación vegetal**

A nivel nacional, existen estimaciones generales del carbono total acumulado en detritus según la superficie ocupada por cada tipo de uso del suelo (bosques, cultivos, pastizales, entre otros), basadas en la clasificación de la UNFCCC (ver Tabla 10) (Ukonmaanaho et al., 2020). Sin embargo, estas estimaciones rara vez se desglosan a nivel de especie forestal (Tabla 16; ver Litterfall Database, ICP Forests) y son prácticamente inexistentes para formaciones de matorral. Reflejar estas diferencias a nivel de especie forestal es importante ya que, por ejemplo, la cantidad de hojarasca producida anualmente por una especie forestal puede ser significativamente mayor que la de otra, al igual que la concentración de carbono en el material vegetal, que varía entre especies (Tabla 16).

*Restos arqueológicos de la ciudad celtibera en el valle del río Alhama en la Reserva de la Biosfera de los Valles del Leza, Jubera, Cidacos y Alhama. Autor: OAPN*





**Tabla 16. Rango de contenido en carbono en detritus para algunas especies forestales.**

Fuente: ICP Forests.

Especie forestal	Contenido en Carbono (g C /100g)
<i>Fagus sylvatica</i>	46-58
<i>Picea abies</i>	40-62
<i>Pinus sylvestris</i>	45-58
<i>Betula pendula</i>	53-57
<i>Quercus frainette</i>	41-58
<i>Quercus robur</i>	42-60
<i>Quercus petraea</i>	35-58
<i>Picea sitchensis</i>	41-57

Este vacío de información impide realizar una estimación precisa y realista de este sumidero de carbono por tipo de formación vegetal. En el contexto del presente estudio, esta limitación ha restringido la posibilidad de calcular con exactitud el carbono almacenado en el detritus, lo que introduce un sesgo los valores resultantes de aplicar la herramienta para la contabilidad del carbono a escala de las Reservas de la Biosfera.

Para superar esta barrera, sería fundamental desarrollar bases de datos más detalladas que integren mediciones específicas del carbono en materia orgánica muerta por tipo de formación vegetal y especie forestal, tanto para árboles, matorral y herbáceas. Esto permitiría mejorar la precisión de los modelos de estimación y generar información más representativa para la toma de decisiones en políticas de conservación, manejo forestal y mitigación del cambio climático.

### **11. Carbono orgánico en el suelo sin considerar tipo de suelo o diferencias en profundidad**

Para el cálculo del COS, se han empleado valores de referencia obtenidos de la base de datos del Inventario Nacional de Erosión de Suelos, considerando la comunidad autónoma y la formación vegetal correspondiente. Sin embargo, esta metodología presenta ciertas limitaciones que pueden afectar la precisión de las estimaciones.

Uno de los principales aspectos no considerados es el tipo de suelo, un factor determinante en la capacidad de almacenamiento de carbono. Diferentes tipos de suelo, como los arenosos, limosos o arcillosos, presentan variaciones en su



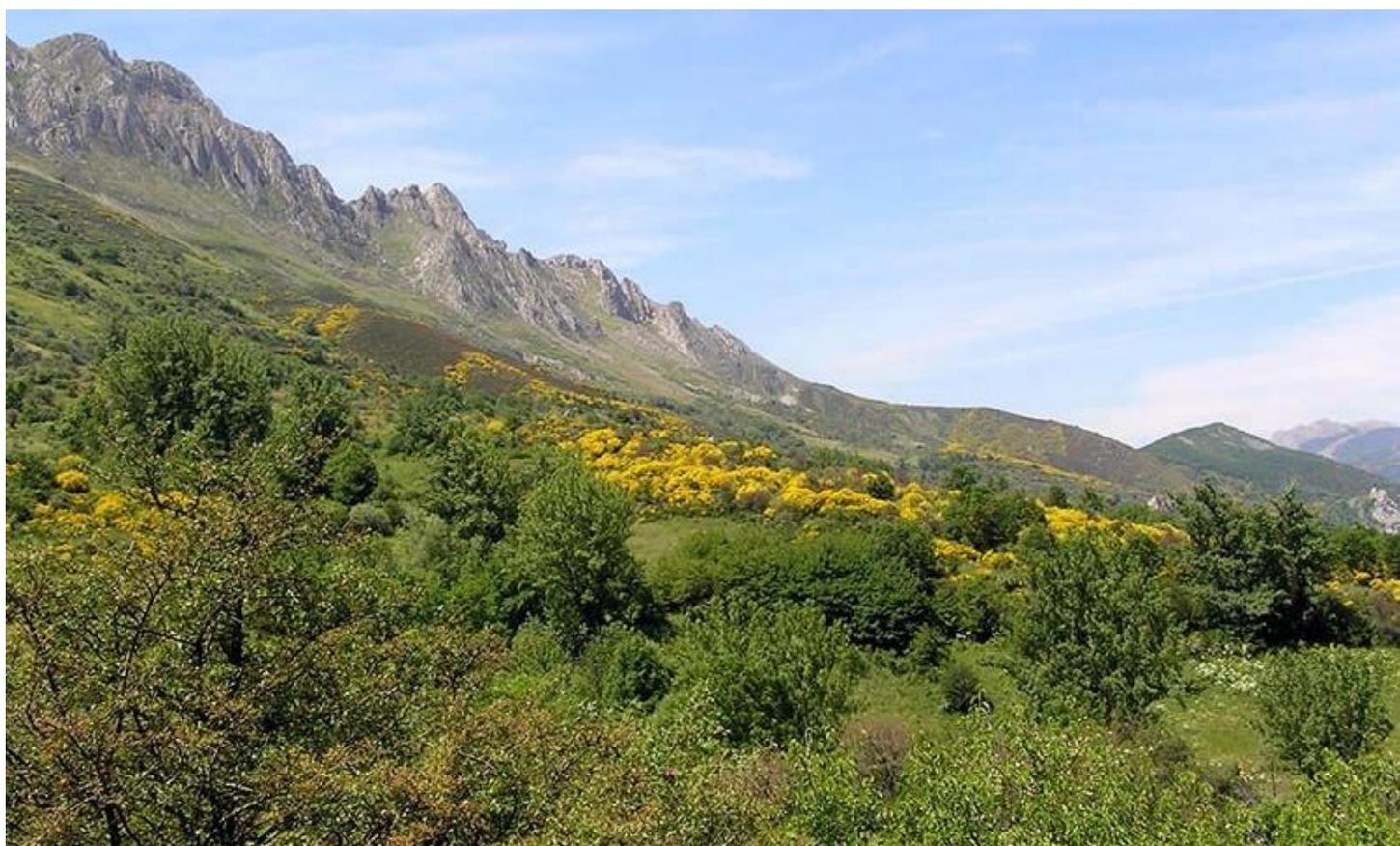
contenido de materia orgánica debido a diferencias en su estructura, porosidad, retención de humedad y actividad biológica (Tabla 17, Muñoz-Rojas et al., 2012). Al utilizar valores promedio sin distinguir entre tipos de suelo, se pueden generar sobreestimaciones o subestimaciones del contenido real de carbono.

Además, la estimación del COS se ha basado en valores de referencia a una profundidad de 30 cm. El carbono orgánico no se distribuye de manera homogénea en el suelo y, aunque su concentración suele ser mayor en los primeros centímetros, puede seguir acumulándose en profundidad, especialmente en suelos con alta estabilidad estructural o con influencia de sistemas radiculares profundos (Tabla 18, Muñoz-Rojas et al., 2012). Ignorar esta variabilidad puede subestimar la cantidad total de carbono almacenado en el ecosistema.

Para mejorar la precisión de estas estimaciones, sería recomendable incorporar factores de ajuste según el tipo de suelo y desarrollar metodologías que consideren la variabilidad en la profundidad del carbono orgánico. Esto permitiría reflejar con mayor fidelidad el papel del suelo como sumidero de carbono y mejorar la evaluación del balance de carbono en los ecosistemas evaluados.

*Valle de Genicera en la Reserva de la Biosfera Los Argüellos.*

*Autor: OAPN*





**Tabla 17. Valores promedio de carbono orgánico del suelo (COS) (t C / ha) por tipo y uso del suelo.** Extraída de Muñoz-Rojas et al., 2012.

Tipo	Grupo	N	COS (t C / ha)	Desviación estándar
Suelo	Arenosoles	71	36,91	8,01
	Calcisoles	186	67,77	8,01
	Cambisoles	238	41,48	12,98
	Fluvisoles	73	56,60	30,45
	Leptosoles	337	37,62	15,61
	Luvisoles	144	50,70	26,90
	Regosoles	329	42,57	22,52
	Vertisoles	78	60,88	10,43
Uso del suelo	Tierras de cultivo	331	55,19	12,13
	Bosque	470	55,19	14,26
	Áreas agrícolas heterogéneas	169	48,09	21,49
	Espacios abiertos con poca o ninguna vegetación	8	16,96	11,45
	Cultivos permanentes	191	43,12	19,03
	Matorrales y/o asociaciones de vegetación herbácea	298	55,23	21,82
	Todos los grupos	1456	47,98	21,47

**Tabla 18. Variación del carbono orgánico del suelo (COS) (t C / ha) con la profundidad en bosques.** Extraída de Muñoz-Rojas et al., (2012).

Todos los tipos de suelo en bosque		
Profundidad del suelo	COS (t C / ha)	Coefficiente de variación
0-25	39,9	103,8
25-50	11,9	167
50-75	4,9	208
<b>Total</b>	<b>47,8</b>	<b>51,9</b>



# 7. Conclusiones



*Río rodeado de bosque en otoño en la Reserva de la Sierra del Rincón*  
*Autor: Juan Valdivieso Domínguez-MANIMALS, S.L.*



En este estudio, hemos desarrollado una metodología destinada a facilitar el cálculo del almacenamiento de carbono en distintas formaciones vegetales y tipos de sumideros dentro de espacios protegidos, con especial énfasis en las Reservas de la Biosfera. Este enfoque se fundamenta en metodologías estandarizadas y confiables, respaldadas por una exhaustiva revisión bibliográfica y siguiendo la clasificación de LULUCF y las directrices del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de IPCC.

A partir de los resultados obtenidos, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. Se dispone de metodologías bien definidas para la cuantificación del almacenamiento de carbono en ecosistemas terrestres, lo que ha permitido realizar un análisis preciso sobre el papel de los diferentes sumideros (biomasa viva, carbono orgánico del suelo, materia muerta) en la mitigación del cambio climático dentro de espacios protegidos. Sin embargo, la situación es diferente en el caso de los sumideros para ecosistemas marinos, como los pastos marinos y marismas, que desempeñan un papel crucial en la captura y almacenamiento de carbono, proceso conocido como "carbono azul". La cuantificación del carbono almacenado en estos ecosistemas sigue siendo un desafío debido a la variabilidad de los métodos de medición y la falta de datos sistematizados. Por ello, este estudio se resalta la necesidad de futuras investigaciones que integren la dimensión marina de manera más completa, con el fin de obtener una visión integral de la contribución de las Reservas de la Biosfera en la lucha contra el cambio climático.
2. Los valores de referencia a los que se han llegado en este estudio representan un resumen de la información disponible en la literatura científica mediante protocolos estandarizados, pero hay que tener en cuenta que presentan diversas limitaciones expuestas en el capítulo 6. Por esta razón, los datos deben considerarse como aproximaciones y no deben interpretarse como cifras definitivas ni exactas del carbono real almacenado en cada ecosistema, sino como valores de referencia sobre los que construir futuras investigaciones y estudios más detallados.
3. Aunque existen metodologías bien definidas para cuantificar el almacenamiento de carbono en sumideros de ecosistemas terrestres, la disponibilidad de datos precisos varía significativamente según el tipo de formación vegetal y la escala geográfica. A nivel global, los estudios más detallados están disponibles para el almacenamiento de carbono en biomasa viva dentro de formaciones arbóreas, y en cierta medida para formaciones de matorral. Sin embargo, existe una notable escasez de datos



específicos para otros tipos de formaciones, como humedales, diversidad de pastizales o determinados cultivos. Además, los datos más accesibles corresponden a la cuantificación de carbono en biomasa viva y carbono orgánico del suelo, mientras que la información sobre carbono acumulado en madera muerta o detritus es mucho más general y carece de detalles específicos por formación vegetal y región. Esto pone de manifiesto la necesidad de continuar con estudios regionales que mejoren la precisión de los valores de almacenamiento de carbono en diferentes tipos de ecosistemas.

4. El análisis realizado en la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena demuestra el papel fundamental que desempeñan estos espacios en la captura de CO<sub>2</sub> y su contribución a la mitigación del cambio climático. Los resultados obtenidos evidencian el potencial de estos ecosistemas como sumideros de carbono, resaltando la importancia de su conservación y gestión sostenible. La protección y el manejo adecuado de estos entornos no solo favorecen el almacenamiento de carbono, sino que también fortalecen la resiliencia ambiental, garantizan la provisión de servicios ecosistémicos esenciales y contribuyen al mantenimiento de la biodiversidad. En este sentido, es crucial seguir promoviendo estrategias de gestión sostenible que maximicen la capacidad de las Reservas de la Biosfera para actuar como sumideros de carbono y mitigar los efectos del cambio climático.

En conclusión, este estudio pone de manifiesto la relevancia de los ecosistemas terrestres en el almacenamiento de carbono y destaca la necesidad de mejorar la disponibilidad de datos para los ecosistemas marinos y otros tipos de formaciones vegetales. La continuidad de investigaciones en esta línea permitirá perfeccionar las metodologías de cálculo y proporcionar herramientas más precisas para la toma de decisiones en la conservación de estos espacios protegidos.

*La berrea en la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena.  
Autor: Rafael Arenas González*



## 8. Referencias bibliográficas



*Cabra con el faro del Cap de Cavalleira al fondo en la Reserva de la Biosfera de Menorca*  
*Autor: OAPN*



- Aguirre, A., Del Río, M., Ruiz-Peinado, R., Condés, S., 2021. Stand-level biomass models for predicting C stock for the main Spanish pine species. *For. Ecosyst.* 8, 29. <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00308-w>
- Alberdi Asensio, I., 2015. Metodología para la estimación de indicadores armonizados a partir de los inventarios forestales nacionales europeos con especial énfasis en la biodiversidad forestal (PhD Thesis). Universidad Politécnica de Madrid. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.39123>
- Alberdi, I., Sandoval, V., Condés, S., Cañellas, I., Vallejo, R., 2016. The Spanish National Forest Inventory, a tool for the knowledge, management and conservation of forest ecosystems. *ECOS* 25, 88–97. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-3.10>
- Alberdi, I., Vallejo, R., Álvarez-González, J.G., Condés, S., González-Ferreiro, E., Guerrero, S., Hernández, L., Martínez-Jauregui, M., Montes, F., Oliveira, N., Pasalodos-Tato, M., Robla, E., Ruiz-González, A.D., Sánchez-González, M., Sandoval, V., San Miguel, A., Sixto, H., Cañellas, I., 2017. The multi-objective Spanish National Forest Inventory. *For. syst.* 26, e04S. <https://doi.org/10.5424/fs/2017262-10577>
- Alexander, L.V., 2016. Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. *Weather and Climate Extremes* 11, 4–16. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.10.007>
- Álvarez, Vergel.R., Álvarez García, M.A., Amezaga, I., Arnáez, I., Arrojo Agudo, P., González, R.B., Boada Juncà, M., Casares González, P., Castillo, F.J., Díez Casero, J.J., Fernández Prieto, J.A., García de la Fuente, L., Gómez Gómez, C.M., Gortázar, L., Jiménez, C., Lasanta, T., Zaragoza, R.M., Marín, C., Miguélez, E., Nortes, D., Onaindia, M., Peña, L., Querol Carceller, X., Rita Larrucea, J., Roces Díaz, J., Rodríguez Mirallas, G., Rodríguez-Loinaz, G., Sánchez Mateo, S., Tejedor, M., Urmeneta, A., Varga Linde, D., 2012. *Servicios ambientales en Reservas de la Biosfera Españolas*. Edita: Miren Onaindía Olalde, Organismo Autónomo Parques Nacionales, Miren Onaindía Olalde, Organismo Autónomo Parques Nacionales. ed.
- Ameztegui, A., Rodrigues, M., Granda, V., 2022. Uncertainty of biomass stocks in Spanish forests: a comprehensive comparison of allometric equations. *Eur J Forest Res* 141, 395–407. <https://doi.org/10.1007/s10342-022-01444-w>
- Araya, R.P., Clüsener-Godt, M., 2007. *Reservas de la Biosfera. Un espacio para la integración de conservación y desarrollo*, UNESCO. ed.
- Asner, G.P., Clark, J.K., Mascaró, J., Galindo García, G.A., Chadwick, K.D., Navarrete Encinales, D.A., Paez-Acosta, G., Cabrera Montenegro, E., Kennedy-Bowdoin, T., Duque, Á., Balaji, A., Von Hildebrand, P., Maatoug, L., Phillips Bernal, J.F., Yepes Quintero, A.P., Knapp, D.E., García Dávila, M.C., Jacobson, J., Ordóñez, M.F., 2012. High-resolution mapping of forest carbon stocks in the Colombian Amazon. *Biogeosciences* 9, 2683–2696. <https://doi.org/10.5194/bg-9-2683-2012>



- Baldocchi, D., Falge, E., Gu, L., Olson, R., Hollinger, D., Running, S., Anthoni, P., Bernhofer, C., Davis, K., Evans, R., Fuentes, J., Goldstein, A., Katul, G., Law, B., Lee, X., Malhi, Y., Meyers, T., Munger, W., Oechel, W., Paw, K.T., Pilegaard, K., Schmid, H.P., Valentini, R., Verma, S., Vesala, T., Wilson, K., Wofsy, S., 2001. FLUXNET: A New Tool to Study the Temporal and Spatial Variability of Ecosystem-Scale Carbon Dioxide, Water Vapor, and Energy Flux Densities. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 82, 2415–2434. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2001\)082<2415:FANTTS>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2001)082<2415:FANTTS>2.3.CO;2)
- Bellido, L.L., 2017. Balance y huella de carbono en plantaciones de olivar en el sur de España. Universidad de Córdoba.
- Breidenich, C., Magraw, D., Rowley, A., Rubin, J.W., 1998. The Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. *The American Journal of International Law* 92, 315–331. <https://doi.org/10.2307/2998044>
- Carrasco-Barea, L., Verdaguer, D., Gispert, M., Font, J., Compte, J., Llorens, L., 2023. Carbon Stocks in Vegetation and Soil and Their Relationship with Plant Community Traits in a Mediterranean Non-tidal Salt Marsh. *Estuaries and Coasts* 46, 376–387. <https://doi.org/10.1007/s12237-022-01155-w>
- Castaño-Quintero, P.A., Gil-Cerezo, M.V., Galán Soldevilla, C., Domínguez-Vilches, E., 2019. The Biosphere Reserves of Spain during 2008-2014: Implementation and Key Aspects for its Management. *Cuad. Des. Rural* 16. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr16-83.tbrs>
- Cicuéndez, V., Inclán, R., Sánchez-Cañete, E.P., Román-Cascón, C., Sáenz, C., Yagüe, C., 2024. Modeling Gross Primary Production (GPP) of a Mediterranean Grassland in Central Spain Using Sentinel-2 NDVI and Meteorological Field Information. *Agronomy* 14, 1243. <https://doi.org/10.3390/agronomy14061243>
- Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente - Junta de Andalucía [WWW Document], n.d. URL <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/sostenibilidadmedioambiente/economiaazul.html> (accessed 11.26.24).
- Cotillas, M., Espelta, J.M., Sánchez-Costa, E., Sabaté, S., 2016. Aboveground and belowground biomass allocation patterns in two Mediterranean oaks with contrasting leaf habit: an insight into carbon stock in young oak coppices. *Eur J Forest Res* 135, 243–252. <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0932-9>
- Cotrufo, M.F., Ngao, J., Marzaioli, F., Piermatteo, D., 2010. Inter-comparison of methods for quantifying above-ground leaf litter decomposition rates. *Plant Soil* 334, 365–376. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0388-0>
- Cruz-Pérez, N., Grube, G., Ruiz-Peinado, R., García-Gil, A., Santamarta, J.C., 2024. Carbon neutrality of an island with 100% renewable energy production and forest as carbon sinks: El Hierro (Canary Islands) a pilot for Europe. *Soil Use and Management* 40, e13042. <https://doi.org/10.1111/sum.13042>
- Curado, G., Rubio-Casal, A.E., Figuerola, E., Grewell, B.J., Castillo, J.M., 2013. Native plant restoration combats environmental change: development of carbon and nitrogen sequestration capacity using small cordgrass in European salt



- marshes. *Environ Monit Assess* 185, 8439–8449. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3185-4>
- FAO, 2018. *Global forest resource assessment 2020 – Terms and definitions*. Rome, Italy.
- Fatichi, S., Pappas, C., Zscheischler, J., Leuzinger, S., 2018. Modelling carbon sources and sinks in terrestrial vegetation. *New Phytologist* 221, 652–668. <https://doi.org/10.1111/nph.15451>
- Funes, I., Molowny-Horas, R., Savé, R., De Herralde, F., Aranda, X., Vayreda, J., 2022. Carbon stocks and changes in biomass of Mediterranean woody crops over a six-year period in NE Spain. *Agron. Sustain. Dev.* 42, 98. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00827-y>
- Funes, I., Savé, R., Biel, C., Vayreda, J., García-Escudero, E., Aranda, X., 2014. El cultivo de la vid como sumidero de carbono en La Rioja.
- Garbulsky, M.F., Peñuelas, J., Gamon, J., Inoue, Y., Filella, I., 2011. The photochemical reflectance index (PRI) and the remote sensing of leaf, canopy and ecosystem radiation use efficiencies: A review and meta-analysis. *Remote Sensing of Environment* 115, 281–297. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.08.023>
- Gemitzi, A., Albarakat, R., Kratouna, F., Lakshmi, V., 2021. Land cover and vegetation carbon stock changes in Greece: A 29-year assessment based on CORINE and Landsat land cover data. *Science of The Total Environment* 786, 147408. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147408>
- Gispert, M., Kuliush, T., Dyachenko, L., Kharytonov, M., Emran, M., Verdaguer, D., Llorens, L., Carrasco-Barea, L., 2021. Appraising soil carbon storage potential under perennial and annual Chenopodiaceae in salt marsh of NE Spain. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 252, 107240. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107240>
- Gómez-García, E., 2020. Estimating the changes in tree carbon stocks in Galician forests (NW Spain) between 1972 and 2009. *Forest Ecology and Management* 467, 118157. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118157>
- Grace, J., 2004. Understanding and managing the global carbon cycle. *Journal of Ecology* 92, 189–202. <https://doi.org/10.1111/j.0022-0477.2004.00874.x>
- Guanter, L., Zhang, Y., Jung, M., Joiner, J., 2014. Global and time-resolved monitoring of crop photosynthesis with chlorophyll fluorescence [WWW Document]. <https://doi.org/10.1073/pnas.1320008111>
- Hernández-Clemente, R., Navarro-Cerrillo, R., Ramírez, F., Hornero, A., Zarco-Tejada, P., 2014. A Novel Methodology to Estimate Single-Tree Biophysical Parameters from 3D Digital Imagery Compared to Aerial Laser Scanner Data. *Remote Sensing* 6, 11627–11648. <https://doi.org/10.3390/rs6111627>
- Herraiz, A.D., Salazar-Zarzosa, P.C., Mesas, F.J., Arenas-Castro, S., Ruiz-Benito, P., Villar, R., 2023. Modelling aboveground biomass and productivity and the impact of climate change in Mediterranean forests of South Spain. *Agricultural and Forest Meteorology* 337, 109498. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109498>



- Hunter, M.L., 1990. *Wildlife, forests, and forestry : principles of managing forests for biological diversity*. Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall.
- ICOS, 2023. Red de observación de flujos de carbono en España. [WWW Document]. URL <https://icos-spain.aemet.es/es> (accessed 11.27.24).
- IGN, 2018. Centro de Descargas del CNIG (IGN) [WWW Document]. Centro de Descargas del CNIG. URL <http://centrodedescargas.cnig.es> (accessed 2.18.25).
- IGN, n.d. LIDAR Nacional: Información y cobertura. [WWW Document]. Centro de Descargas del CNIG. URL <http://centrodedescargas.cnig.es> (accessed 11.27.24).
- Infante-Amate, J., Iriarte-Goñi, I., Aguilera, E., 2023. Historical changes in biomass carbon stocks in the Mediterranean (Spain, 1860–2010). *Anthropocene* 44, 100416. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2023.100416>
- IPCC, 2021. *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 1st ed. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- IPCC, 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use*. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- IPCC, 2003. *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry /The Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ed. by Jim Penman. Hayama, Kanagawa.
- IUCN 2023 : International Union for Conservation of Nature annual report, 2024. . IUCN.
- Jagodziński, A.M., Dyderski, M.K., Gęsikiewicz, K., Horodecki, P., Cysewska, A., Wierczyńska, S., Maciejczyk, K., 2018. How do tree stand parameters affect young Scots pine biomass? – Allometric equations and biomass conversion and expansion factors. *Forest Ecology and Management* 409, 74–83. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.11.001>
- Joos, F., Spahni, R., 2008. Rates of change in natural and anthropogenic radiative forcing over the past 20,000 years. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 105, 1425–1430. <https://doi.org/10.1073/pnas.0707386105>
- Karberg, N.J., Scott, N.A., Giardina, C.P., 2008. Methods for Estimating Litter Decomposition, in: Hoover, C.M. (Ed.), *Field Measurements for Forest Carbon Monitoring*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 103–111. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8506-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8506-2_8)
- Karl, T.R., Trenberth, K.E., 2003. Modern Global Climate Change. *Science* 302, 1719–1723. <https://doi.org/10.1126/science.1090228>
- Koch, B., 2013. La teledetección como apoyo a los inventarios forestales nacionales EFN. *Antología de conocimiento para la evaluación de los recursos forestales*.
- Krishna, M.P., Mohan, M., 2017. Litter decomposition in forest ecosystems: a review. *Energ. Ecol. Environ.* 2, 236–249. <https://doi.org/10.1007/s40974-017-0064-9>
- Kulovesi, K., Oberthür, S., 2020. Assessing the EU’s 2030 Climate and Energy Policy Framework: Incremental change toward radical transformation? *Review of*



- European, Comparative & International Environmental Law 29, 151–166. <https://doi.org/10.1111/reel.12358>
- Kuyper, J., Schroeder, H., Linnér, B.-O., 2018. The Evolution of the UNFCCC. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 43, 343–368. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102017-030119>
- Lecerf, A., 2017. Methods for estimating the effect of litterbag mesh size on decomposition. *Ecological Modelling* 362, 65–68. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.08.011>
- Mateos, E., Garrido, F., Ormaetxea, L., 2016. Assessment of Biomass Energy Potential and Forest Carbon Stocks in Biscay (Spain). *Forests* 7, 75. <https://doi.org/10.3390/f7040075>
- Menéndez-Miguélez, M., Álvarez-Álvarez, P., Pardos, M., Madrigal, G., Ruiz-Peinado, R., López-Senespleda, E., Del Río, M., Calama, R., 2023. Development of tools to estimate the contribution of young sweet chestnut plantations to climate-change mitigation. *Forest Ecology and Management* 530, 120761. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120761>
- Menéndez-Miguélez, M., Calama, R., Del Río, M., Madrigal, G., López-Senespleda, E., Pardos, M., Ruiz-Peinado, R., 2022. Species-specific and generalized biomass models for estimating carbon stocks of young reforestations. *Biomass and Bioenergy* 161, 106453. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106453>
- Millennium Ecosystem Assessment (Ed.), 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*, The Millennium Ecosystem Assessment series. Island Press, Washington, DC.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [WWW Document], n.d. . Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. URL <https://www.miteco.gob.es/es.html> (accessed 11.27.24).
- Mitchell, J.M., 1976. An Overview of Climatic Variability and its Causal Mechanisms. *Quat. res.* 6, 481–493. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(76\)90021-1](https://doi.org/10.1016/0033-5894(76)90021-1)
- MITECO, 2024a. Informe de Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, 2024th ed.
- MITECO, 2024b. Cambio en las existencias de carbono de la biomasa viva en las tierras forestales que permanecen como tales.
- MITECO, 2023a. Cambio en las existencias de carbono orgánico del suelo en suelos minerales en las tierras en transición.
- MITECO, 2023b. Cambio en las existencias de carbono de la madera muerta en las tierras de transición.
- MITECO, 2023c. Mapa Forestal de España (MFE) de máxima actualidad [WWW Document]. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. URL <https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/biodiversidad/mfe.html> (accessed 2.18.25).
- MITECO, 2022. Inventario Nacional de Erosión de Suelos [WWW Document]. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. URL <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos->



naturaleza/informacion-disponible/inventario\_nacional\_erosion.html  
(accessed 11.25.24).

- Montealegre, A.L., 2017. Aplicaciones forestales de los datos LiDAR-PNOA en ambiente mediterráneo: su filtrado e interpolación y el modelado de parámetros estructurales con apoyo en trabajo de campo. Universidad de Zaragoza, Geography and Territorial Planning Dep., Zaragoza University.(Spain).
- Montero, G., López-Leiva, C., Ruiz-Peinado, R., López-Senespleda, E., Onrubia, R., Pasalodos, M., 2020. Producción de biomasa y fijación de carbono por los matorrales españoles y por el horizonte orgánico superficial de los suelos forestales.
- Montero, G., Ruiz-Peinado, R., Muñoz, M., 2005. Producción de biomasa y fijación de CO<sub>2</sub> por los bosques españoles. INIA - Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- Mulero Mendigorri, A., 2004. Iniciativas internacionales para la protección de espacios naturales. Un análisis crítico de su aplicación en España.
- Muñoz-Rojas, M., De La Rosa, D., Zavala, L.M., Jordán, A., Anaya-Romero, M., 2011. Changes in land cover and vegetation carbon stocks in Andalusia, Southern Spain (1956–2007). *Science of The Total Environment* 409, 2796–2806. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.04.009>
- Muñoz-Rojas, M., Jordán, A., Zavala, L.M., De La Rosa, D., Abd-Elmabod, S.K., Anaya-Romero, M., 2012. Organic carbon stocks in Mediterranean soil types under different land uses (Southern Spain). *Solid Earth* 3, 375–386. <https://doi.org/10.5194/se-3-375-2012>
- Navarrete-Poyatos, M.A., Navarro-Cerrillo, R.M., Lara-Gómez, M.A., Duque-Lazo, J., Varo, M.D.L.A., Palacios Rodriguez, G., 2019. Assessment of the Carbon Stock in Pine Plantations in Southern Spain through ALS Data and K-Nearest Neighbor Algorithm Based Models. *Geosciences* 9, 442. <https://doi.org/10.3390/geosciences9100442>
- Navarro Cerrillo, R.M., Blanco Oyonarte, P., 2006. Estimation of above-ground biomass in shrubland ecosystems of southern Spain. *For. syst.* 15, 197–207. <https://doi.org/10.5424/srf/2006152-00964>
- Navarro-Cerrillo, R.M., Sanchez de la Orden, M., Gomez Bonilla, J., Garcia-Ferrer, A., Hernández-Clemente, R., Lanjeri, S., 2010. LIDAR-based estimation of leaf area index on Holm oak [*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp.] trees. *Forest Systems* 19, 61–69.
- Novo-Fernández, A., Barrio-Anta, M., Recondo, C., Cámara-Obregón, A., López-Sánchez, C.A., 2019. Integration of National Forest Inventory and Nationwide Airborne Laser Scanning Data to Improve Forest Yield Predictions in North-Western Spain. *Remote Sensing* 11, 1693. <https://doi.org/10.3390/rs11141693>
- OAPN, 2009. Catálogo de experiencias demostrativas en las Reservas de Biosfera Españolas., Organismo Autónomo Parques Nacionales. ed.



- ONU, 1998. Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- PNOA, 2021. Cobertura PNOA: Planificación y distribución. [WWW Document]. Plan Nacional de Ortofotografía Aérea. URL <https://pnoa.ign.es/> (accessed 11.27.24).
- Raupach, M.R., Marland, G., Ciais, P., Le Quéré, C., Canadell, J.G., Klepper, G., Field, C.B., 2007. Global and regional drivers of accelerating CO<sub>2</sub> emissions. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104, 10288–10293. <https://doi.org/10.1073/pnas.0700609104>
- Renna, V., Martín-Gallego, P., Julián, F., Six, J., Cardinael, R., Laub, M., 2024. Initial soil carbon losses may offset decades of biomass carbon accumulation in Mediterranean afforestation. *Geoderma Regional* 36, e00768. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00768>
- Rhodes, C.J., 2016. The 2015 Paris Climate Change Conference: Cop21. *Science Progress* 99, 97–104. <https://doi.org/10.3184/003685016X14528569315192>
- Ristok, C., Leppert, K.N., Franke, K., Scherer-Lorenzen, M., Niklaus, P.A., Wessjohann, L.A., Bruelheide, H., 2017. Leaf litter diversity positively affects the decomposition of plant polyphenols. *Plant Soil* 419, 305–317. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3340-8>
- Royo-Serrano, L., Martínez Ruiz, A., Bravo Llorente, R., Sanabria Donoso, J.J., Martín Pérez, S., 2022. Mapa del carbono orgánico del suelo en España: estimación a partir de los datos del Inventario Nacional de Erosión de Suelos. Ministerio para la Transición Ecológica, Madrid, España.
- Rovira, P., Socoró, J.R., Rubio, A., Roca, N., Millán, J.A.A., Calzada, V.R.V., 2007. Estimación del carbono orgánico en los suelos peninsulares españoles, in: *El Papel de Los Bosques Españoles En La Mitigación Del Cambio Climático*. Fundació Gas Natural Fenosa, pp. 197–222.
- Rubino, M., Dungait, J.A.J., Evershed, R.P., Bertolini, T., De Angelis, P., D’Onofrio, A., Lagomarsino, A., Lubritto, C., Merola, A., Terrasi, F., 2010. Carbon input belowground is the major C flux contributing to leaf litter mass loss: Evidences from a <sup>13</sup>C labelled-leaf litter experiment. *Soil Biology and Biochemistry* 42, 1009–1016. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.02.018>
- Ruiz-Peinado, R., Del Rio, M., Montero, G., 2011. New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species. *For. syst.* 20, 176–188. <https://doi.org/10.5424/fs/2011201-11643>
- Ruiz-Peinado, R., Montero, G., Del Rio, M., 2012. Biomass models to estimate carbon stocks for hardwood tree species. *For. syst.* 21, 42–52. <https://doi.org/10.5424/fs/2112211-02193>
- Saatchi, S.S., Harris, N.L., Brown, S., Lefsky, M., 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents [WWW Document]. <https://doi.org/10.1073/pnas.1019576108>
- Sanz, M.J., Galán, E., 2021. Impactos y Riegos Derivados del Cambio Climático en España. MITECO, Madrid.



- Sayer, E.J., 2006. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews* 81, 1–31. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006846>
- Schneider, S.H., 1989. The Greenhouse Effect: Science and Policy. *Science* 243, 771–781.
- Slade, E.M., Riutta, T., 2012. Interacting effects of leaf litter species and macrofauna on decomposition in different litter environments. *Basic and Applied Ecology* 13, 423–431. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2012.06.008>
- Smith, P., Beaumont, L., Bernacchi, C.J., Byrne, M., Cheung, W., Conant, R.T., Cotrufo, F., Feng, X., Janssens, I., Jones, H., Kirschbaum, M.U.F., Kobayashi, K., LaRoche, J., Luo, Y., McKechnie, A., Penuelas, J., Piao, S., Robinson, S., Sage, R.F., Sugget, D.J., Thackeray, S.J., Way, D., Long, S.P., 2021. Essential outcomes for COP26. *Global Change Biology* 28, 1–3. <https://doi.org/10.1111/gcb.15926>
- Thirunavukkarasu, A., Hedenström, M., Sparrman, T., Nilsson, M.B., Schleucher, J., Öquist, M., 2024. Unraveling the dynamics of lignin chemistry on decomposition to understand its contribution to soil organic matter accumulation. *Plant Soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-07066-y>
- Thomas, S.C., Martin, A.R., 2012. Carbon Content of Tree Tissues: A Synthesis. *Forests* 3, 332–352. <https://doi.org/10.3390/f3020332>
- Trenberth, K.E., 2001. Climate Variability and Global Warming. *Science* 293, 48–49. <https://doi.org/10.1126/science.293.5527.48>
- Ukonmaanaho, L., Pitman, R., Bastrup, B.A., Breda, N., Rautio, P., 2020. Part XIII: Sampling and Analysis of Litterfall. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, Version 2020-1. In: UNECE ICP Forests Programme Coordinating Centre (ed.). ed. Thünen Institute for Forests Ecosystems, Eberswalde, Germany.
- UNESCO, 2024. Man and the Biosphere Programme (MAB) | UNESCO [WWW Document]. URL <https://www.unesco.org/en/mab> (accessed 11.27.24).
- UNESCO, 2010. Reservas de la Biosfera. Su contribución a la provisión de servicios de los ecosistemas.
- UNFCCC, 2023. National Inventory Submissions 2023 [WWW Document]. URL <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2023> (accessed 2.16.25).
- Villar, R., Ruiz-Benito, P., de la Riva, E.G., Poorter, H., Cornelissen, J.H.C., Quero, J.L., 2017. Growth and Growth-Related Traits for a Range of *Quercus* Species Grown as Seedlings Under Controlled Conditions and for Adult Plants from the Field, in: Gil-Pelegrín, E., Peguero-Pina, J.J., Sancho-Knapik, D. (Eds.), *Oaks Physiological Ecology. Exploring the Functional Diversity of Genus Quercus L.* Springer International Publishing, Cham, pp. 393–417. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-69099-5\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-69099-5_12)
- Waskman, S.A., 1936. *Humus: origin, chemical composition, and importance in nature.* Baltimore, EEUU: The Williams & Wilkins Company.



Zhao, F., Strahler, A.H., Schaaf, C.L., Yao, T., Yang, X., Wang, Z., Schull, M.A., Román, M.O., Woodcock, C.E., Olofsson, P., Ni-Meister, W., Jupp, D.L.B., Lovell, J.L., Culvenor, D.S., Newnham, G.J., 2012. Measuring gap fraction, element clumping index and LAI in Sierra Forest stands using a full-waveform ground-based lidar. *Remote Sensing of Environment* 125, 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.07.007>



# 9. Anexos



*Vistas de la Reserva de la Biosfera Bardenas Reales*  
*Autor: OAPN*

**Anexo 1. Formaciones vegetales presentes en algunas de las Reservas Biosfera Españolas.** La tabla incluye el listado de comunidades autónomas (CCAA), el nombre de la Reserva de la Biosfera y la descripción de las formaciones vegetales presentes en cada reserva.

CCAA	Reserva de la Biosfera	Formaciones vegetales
Andalucía	Sierra Nevada	Bosques caducifolios
		Bosques de coníferas
		Bosques de frondosas perennifolias
		Cultivos forestales
		Matorral atlántico
		Vegetación de alta montaña, piornales y prados
		Formaciones vegetales de ribera
		Cultivos leñosos en seco
		Cultivos herbáceos y pastizales
		Frutales
	Sierra de las Nieves	Bosques caducifolios
		Bosques de coníferas
		Bosques de frondosas perennifolias
		Matorral mediterráneo
		Vegetación de alta montaña, piornales y prados
		Formaciones vegetales de ribera
		Cultivos leñosos en seco
		Cultivos herbáceos y pastizales
		Frutales
		Pastizales de alta montaña
	Vegetación rupícola	
	Cabo de Gata - Níjar	Matorral desértico o subdesértico
	Doñana	Bosques de frondosas perennifolias
		Cultivos forestales
		Matorral mediterráneo
		Formaciones vegetales de ribera
		Cultivos leñosos en seco
		Cultivos herbáceos y pastizales
		Cultivos herbáceos regados
		Vegetación marisma
		Matorral atlántico
		Frutales
		Arrozales
Viñedos		
Olivares		

CCAA	Reserva de la Biosfera	Formaciones vegetales
	Dehesas de Sierra Morena	Cultivos de frutos rojos en regadío
		Bosques de coníferas
		Bosques de frondosas perennifolias
		Matorral mediterráneo
		Formaciones vegetales de ribera
	Reserva Intercontinental del Mediterráneo	Bosques de coníferas
		(Intercontinental, compartida con el Reino de Marruecos)
	Matorral mediterráneo	
	Vegetación de alta montaña, piornales y prados	
	Vegetación de ribera	
	Cultivos herbáceos y pastizales	
	Aragón	Ordesa - Viñamala
Bosques caducifolios		
Bosques de coníferas		
Bosques de frondosas perennifolias		
Matorral mediterráneo		
Vegetación de alta montaña, piornales y prados		
Formaciones vegetales de ribera		
Principado de Asturias	Muniellos	Cultivos herbáceos y pastizales
		Matorral atlántico
		Bosques caducifolios
		Vegetación de alta montaña, piornales y prados
		Formaciones vegetales de ribera
	Somiedo	Cultivos herbáceos y pastizales
		Matorral atlántico
		Formaciones vegetales de ribera
		Vegetación de alta montaña, piornales y prados
		Bosques caducifolios
Baleares	Menorca	Bosques de coníferas
		Bosques de frondosas perennifolias
		Matorral mediterráneo
		Formaciones de ribera
		Cultivos leñosos en secano
		Cultivos herbáceos y pastizales

CCAA	Reserva de la Biosfera	Formaciones vegetales
Canarias		Cultivos herbáceos regados
		Vegetación marisma
		Matorral desértico o subdesértico
		Frutales
		Comunidades de fondos marinos
	La Palma	Bosques de coníferas
		Vegetación de alta montaña, piornales y prados
		Cultivos leñosos en seco
		Laurisilva Macaronésica
	Lanzarote	Matorral mediterráneo
		Cultivos leñosos en seco
		Cultivos herbáceos y pastizales
		Matorral desértico o subdesértico
		Matorral atlántico
	Isla de Hierro	Bosques de coníferas
		Cultivos forestales
		Cultivos herbáceos y pastizales
		Frutales
		Sabinar, laurisilva y monte verde
	Gran Canaria	Bosques de coníferas
		Matorral mediterráneo
Vegetación de alta montaña, piornales y prados		
Formaciones vegetales de ribera		
Cultivos leñosos en seco		
Cultivos herbáceos y pastizales		
Cultivos herbáceos regados		
Vegetación marisma		
Matorral desértico o subdesértico		
Matorral atlántico		
Frutales		
Área marina: pradera		
La Gomera	Bosques de coníferas	
	Cultivos herbáceos y pastizales	
	Frutales	
	Cardonal tabaibal	
	Bosque termófilo	
	Fayal- Brezal	
	Laurisilva	
Castilla-La Mancha	Valle del Cabriel	Bosques de coníferas
		Matorral mediterráneo

CCAA	Reserva de la Biosfera	Formaciones vegetales
		Formaciones vegetales de ribera
		Cultivos leñosos en secano
		Frutales
		Cultivos leñosos (vid)
Castilla y León	Valle de Laciana	Bosques caducifolios
		Vegetación de alta montaña, piornales y prados
		Cultivos herbáceos y pastizales
		Cultivos herbáceos regados
		Frutales
	Babia	Bosques caducifolios
		Vegetación de alta montaña, piornales y prados
		Formaciones vegetales de ribera
		Cultivos herbáceos y pastizales
		Matorral atlántico
	Alto Bernesga	Bosques caducifolios
		Bosques de coníferas
		Bosques de frondosas perennifolias
		Vegetación de alta montaña, piornales y prados
		Formaciones vegetales de ribera
		Cultivos herbáceos y pastizales
		Cultivos herbáceos regados
	Matorral atlántico	
	Sierras de Béjar y Francia	Bosques de coníferas
		Bosques de frondosas perennifolias
Cultivos forestales		
Matorral mediterráneo		
Vegetación de alta montaña, piornales y prados		
Formaciones vegetales de ribera		
Cultivos leñosos en secano		
Cultivos herbáceos y pastizales		
Frutales		
Ancares Leoneses	Bosques caducifolios	
	Bosques de coníferas	
	Vegetación de alta montaña, piornales y prados	
	Cultivos herbáceos y pastizales	
Cataluña	Montseny	Bosques caducifolios
		Bosques de coníferas
		Bosques de frondosas perennifolias

CCAA	Reserva de la Biosfera	Formaciones vegetales
		Cultivos forestales
		Matorral mediterráneo
		Vegetación de alta montaña, piornales y prados
		Formaciones vegetales de ribera
		Cultivos leñosos en secano
		Cultivos herbáceos y pastizales
		Cultivos herbáceos regados
	Frutales	
	Val d'Aran	Bosques caducifolios
		Bosques de coníferas
		Vegetación de alta montaña, piornales y prados
		Formaciones vegetales de ribera
		Cultivos herbáceos y pastizales
		Matorral atlántico
Frutales		
Extremadura	Monfragüe	Bosques caducifolios
		Bosques de coníferas
		Bosques de frondosas perennifolias
		Cultivos forestales
		Matorral mediterráneo
		Formaciones vegetales de ribera
		Cultivos leñosos en secano
		Cultivos herbáceos y pastizales
		Cultivos herbáceos regados
	Frutales	
	Tajo - Tejo	Bosques de coníferas
	(Transfronteriza con Portugal)	Bosques de frondosas perennifolias
		Cultivos forestales
		Matorral mediterráneo
Formaciones vegetales de ribera		
Cultivos leñosos en secano		
Cultivos herbáceos y pastizales		
Galicia	Reserva Transfronteriza de Gerês-Xurés	Bosques caducifolios
	(Transfronteriza con Portugal)	Bosques de coníferas
		Bosques de frondosas perennifolias
		Cultivos forestales
		Formaciones vegetales de ribera
		Cultivos herbáceos y pastizales
		Cultivos herbáceos regados

CCAA	Reserva de la Biosfera	Formaciones vegetales
	Os Ancares Lucenses e Montes de Cervantes, Navia e Becerreá	Matorral atlántico
		Frutales
		Bosques caducifolios
		Vegetación de alta montaña, piornales y prados
		Formaciones vegetales de ribera
		Matorral atlántico
Madrid	Sierra del Rincón	Frutales
		Bosques caducifolios
		Bosques de coníferas
		Matorral mediterráneo
		Vegetación de alta montaña, piornales y prados
		Formaciones vegetales de ribera
Navarra	Las Bardenas Reales	Cultivos herbáceos y pastizales
		Bosques de coníferas
		Cultivos herbáceos regados
		Matorral desértico o subdesértico
Comunidad Valenciana	Alto Turia (Compartida con Castilla-La Mancha)	Cereal (cebada/trigo)
		Bosques de coníferas
		Bosques de frondosas perennifolias
		Matorral mediterráneo
		Vegetación de alta montaña, piornales y prados
		Formaciones vegetales de ribera
		Cultivos leñosos en secano
		Cultivos herbáceos y pastizales
		Frutales
		Cultivos hortícolas
Minifundios		

**Anexo 2. Coeficiente de conversión (CF) de biomasa a carbono por especie forestal.**

	<b>Especie forestal</b>	<b>CF</b>	
<b>CONÍFERAS</b>	<i>Abies alba</i>	0,50	
	<i>Abies pinsapo</i>	0,50	
	<i>Cedrus</i> spp.	0,50	
	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	0,50	
	<i>Cupressus</i> spp.	0,50	
	<i>Juniperus communis</i>	0,50	
	<i>Juniperus oxycedrus</i>	0,50	
	<i>Juniperus phoenicea</i>	0,50	
	<i>Juniperus sabina</i>	0,50	
	<i>Juniperus thurifera</i>	0,47	
	<i>Larix</i> spp.	0,50	
	<i>Picea abies</i>	0,50	
	<i>Pinus canariensis</i>	0,50	
	<i>Pinus halepensis</i>	0,49	
	<i>Pinus nigra</i>	0,50	
	<i>Pinus pinaster</i>	0,51	
	<i>Pinus pinaster</i> (norte)	0,51	
	<i>Pinus pinaster</i> (resto)	0,51	
	<i>Pinus pinea</i>	0,50	
	<i>Pinus radiata</i>	0,49	
	<i>Pinus sylvestris</i>	0,50	
	<i>Pinus uncinata</i>	0,50	
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0,50	
	<i>Taxus baccata</i>	0,50	
	Otras coníferas	0,50	
	<b>FRONDOSAS</b>	<i>Acacia</i> spp.	0,50
		<i>Ailanthus altissima</i>	0,50
<i>Alnus glutinosa</i>		0,50	
<i>Amelanchier ovalis</i>		0,50	
<i>Betula</i> spp.		0,48	
<i>Castanea sativa</i>		0,48	
<i>Celtis australis</i>		0,50	
<i>Ceratonia siliqua</i>		0,50	
<i>Cornus sanguinea</i>		0,50	
<i>Crataegus</i> spp.		0,50	
<i>Erica arborea</i>		0,50	
<i>Eucalyptus</i> spp.		0,47	

Especie forestal	CF
<i>Euonymus europaeus</i>	0,50
<i>Fagus sylvatica</i>	0,48
<i>Frangula alnus</i>	0,50
<i>Fraxinus</i> spp.	0,47
<i>Ilex aquifolium</i>	0,50
<i>Ilex canariensis</i>	0,50
<i>Laurus azorica</i>	0,50
<i>Malus sylvestris</i>	0,50
<i>Myrica faya</i>	0,50
<i>Myrtus communis</i>	0,50
<i>Ocotea phoetens</i>	0,50
<i>Olea europaea</i>	0,47
<i>Persea indica</i>	0,50
<i>Phillyrea latifolia</i>	0,50
<i>Platanus</i> spp.	0,50
<i>Populus alba</i>	0,50
<i>Populus tremula</i>	0,50
<i>Pyrus</i> spp.	0,50
<i>Quercus canariensis</i>	0,48
<i>Quercus faginea</i>	0,48
<i>Quercus ilex</i> ssp. ballota	0,47
<i>Quercus ilex</i> ssp. ilex	0,47
<i>Quercus petraea</i>	0,50
<i>Quercus pyrenaica</i>	0,47
<i>Quercus robur</i>	0,48
<i>Quercus rubra</i>	0,50
<i>Quercus suber</i>	0,47
Otros <i>Quercus</i>	0,50
<i>Rhamnus alaternus</i>	0,50
<i>Salix</i> spp.	0,50
<i>Sambucus nigra</i>	0,50
<i>Sambucus racemosa</i>	0,50
<i>Tamarix</i> spp.	0,50
<i>Ulmus</i> spp.	0,50
Otros árboles ripícolas	0,50
Otras laurisilvas	0,50
Otras frondosas	0,50
Coníferas/frondosas	0,50

**Anexo 3. Parámetros ajustados de especies forestales caducifolias para el cálculo de la biomasa acumulada en diferentes partes del árbol** utilizando la ecuación alométrica logarítmica (Tabla 5 en el texto) (Montero et al., 2005). *a* y *b*: parámetros de la función,  $R^2_{adj}$ : coeficiente de regresión ajustado, SEE: error estándar de la estimación, BT: biomasa total, BF: biomasa del fuste, BR<sub>7</sub>: biomasa de las ramas de diámetro mayor de 7 cm, BR<sub>2-7</sub>: biomasa de las ramas de diámetro entre 2 y 7 cm, BA: biomasa de acículas, Br: biomasa de raíz, BH: biomasa de hojas.

Formación vegetal	Especies	Partes del árbol	Parámetros			
			<i>a</i>	<i>b</i>	$R^2_{adj}$	SEE
Bosque caducifolio	<i>Alnus glutinosa</i> L.	BT	-0,824827	1,9009	0,926	0,297033
		BF	-1,37963	1,98387	0,879	0,407243
		BR <sub>7</sub>	-7,21999	2,74362	0,754	0,659106
		BR <sub>2-7</sub>	-2,72625	1,85179	0,822	0,473965
		BR <sub>2</sub>	-2,40443	1,44591	0,699	0,51851
		BH	-3,00803	1,44689	0,699	0,51956
		Br	-2,09999	2,16573	0,973	0,188501
	<i>Betula</i> spp.	BT	-1,60855	2,26855	0,981	0,124949
		BF	-2,09231	2,3256	0,97	0,16111
		BR <sub>7</sub>	-7,84245	3,25429	0,476	0,683245
		BR <sub>2-7</sub>	-2,70462	1,97187	0,871	0,297643
		BR <sub>2</sub>	-2,65716	1,64983	0,747	0,37327
		BH	-3,28444	1,59452	0,72	0,386253
		Br	-2,41805	2,01124	0,775	0,40297
	<i>Castanea sativa</i> Mill.	BT	-1,70831	2,21544	0,956	0,223169
		BF	-2,43261	2,14736	0,94	0,255802
		BR <sub>7</sub>	-7,80901	3,49096	0,902	0,455135
		BR <sub>2-7</sub>	-2,29444	1,90889	0,83	0,404981
		BR <sub>2</sub>	-1,55218	1,69381	0,858	0,323418
		BH	—	—	—	—
		Br	-3,97491	2,83892	0,988	0,142565
<i>Fagus sylvatica</i> L.	BT	-1,84548	2,3706	0,982	0,171521	
	BF	-1,63732	2,21464	0,962	0,23272	
	BR <sub>7</sub>	-10,811	4,08961	0,791	0,62932	
	BR <sub>2-7</sub>	-3,86719	2,34551	0,913	0,333796	
	BR <sub>2</sub>	-2,57396	1,84345	0,835	0,425041	
	BH	—	—	—	—	
	Br	1,72224	1,25755	0,574	0,459735	
<i>Fraxinus</i> spp.	BT	-1,47166	2,21865	0,963	0,23677	
	BF	-1,42476	1,9494	0,907	0,340615	
	BR <sub>7</sub>	-5,4098	2,84214	0,672	0,675382	

Formación vegetal	Especies	Parámetros			
Bosque caducifolio	Partes del árbol	<i>a</i>	<i>b</i>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	SEE
	BR <sub>2-7</sub>	-3,96602	2,46903	0,907	0,4300093
	BR <sub>2</sub>	-1,69368	1,73303	0,781	0,498239
	BH	—	—	—	—
	Br	-1,02234	1,98752	0,936	0,312772
<i>Populus x euramericana</i> (Dode) Guinier	BT	-2,94077	2,56677	0,996	0,076417
	BF	-3,15383	2,53766	0,987	0,138507
	BR <sub>7</sub>	-12,0573	4,34719	0,826	0,57433
	BR <sub>2-7</sub>	-6,31271	2,83713	0,915	0,417117
	BR <sub>2</sub>	-2,42121	1,60846	0,727	0,471417
	BH	-3,36508	1,5955	0,727	0,468575
	Br	-5,00204	2,82049	0,955	0,263722
<i>Quercus canariensis</i> Willd.	BT	-1,40683	2,111	0,901	0,351714
	BF	-0,820331	1,7342	0,895	0,298927
	BR <sub>7</sub>	-3,78626	2,42751	0,57	0,843499
	BR <sub>2-7</sub>	-3,62585	2,16258	0,814	0,517668
	BR <sub>2</sub>	-3,20772	1,66513	0,676	0,573344
	BH	-4,5692	1,66513	0,676	0,573344
	Br	-4,1867	2,58308	0,936	0,375852
<i>Quercus faginea</i> Lamk.	BT	-2,89305	2,52426	0,979	0,170157
	BF	-2,88755	2,29324	0,969	0,1885
	BR <sub>7</sub>	-13,9784	5,21419	0,817	0,943078
	BR <sub>2-7</sub>	-4,05078	2,36032	0,931	0,293233
	BR <sub>2</sub>	-3,44735	1,96728	0,884	0,323957
	BH	-3,98028	1,96752	0,884	0,323989
	Br	-3,09335	2,34356	0,926	0,334727
<i>Quercus robur</i> L.	BT	-2,30619	2,50077	0,983	0,178402
	BF	-2,63669	2,49279	0,978	0,201832
	BR <sub>7</sub>	-13,2304	4,83512	0,797	0,757619
	BR <sub>2-7</sub>	-2,81814	2,03615	0,914	0,335275
	BR <sub>2</sub>	-2,47029	1,62158	0,873	0,330875
	BH	-3,69674	1,73143	0,91	0,292365
	Br	-2,46349	2,15149	0,907	0,409521
<i>Quercus petraea</i> Liebl.	BT	Por razones de similitud y simplificación se usan los mismos parámetros de <i>Q. robur</i>			
	BF				
	BR <sub>7</sub>				
	BR <sub>2-7</sub>				
	BR <sub>2</sub>				
	BH				
	Br				

Formación vegetal	Especies	Parámetros				
Bosque caducifolio	Partes del árbol	<i>a</i>	<i>b</i>	R <sup>2</sup> adj	SEE	
	<i>Quercus pyrenaica</i> Willd.	BT	-2,59695	2,53453	0,978	0,247318
		BF + BR <sub>7</sub>	-4,2211	2,95974	0,866	0,595291
		BR <sub>2-7</sub>	-1,97519	1,77301	0,845	0,497009
		BR <sub>2</sub>	-4,85139	2,38766	0,885	0,562992
		BH	—	—	—	—
		Br	-2,4543	2,13346	0,965	0,242145

**Anexo 4. Parámetros ajustados de especies forestales de coníferas para el cálculo de la biomasa viva acumulada en diferentes partes del árbol** utilizando la ecuación alométrica logarítmica (Tabla 5 en el texto) (Montero et al., 2005). *a* y *b*: parámetros de la función,  $R^2_{adj}$ : coeficiente de regresión ajustado, SEE: error estándar de la estimación, BT: biomasa total, BF: biomasa del fuste, BR<sub>7</sub>: biomasa de las ramas de diámetro mayor de 7 cm, BR<sub>2-7</sub>: biomasa de las ramas de diámetro entre 2 y 7 cm, BA: biomasa de acículas, Br: biomasa de raíz, BH: biomasa de hojas.

Formación vegetal	Especies	Partes del árbol	Parámetros			
Bosques de coníferas			<i>a</i>	<i>b</i>	$R^2_{adj}$	SEE
	<i>Abies alba</i> Mill.	BT	-2,10064	2,41766	0,989	0,146074
		BF	-2,99786	2,59847	0,986	0,178107
		BR <sub>7</sub>	-1,14781	0,719066	0,456	0,364825
		BR <sub>2-7</sub>	-4,6873	2,44845	0,817	0,631556
		BR <sub>2</sub>	-1,45395	1,59983	0,87	0,337346
		BA	—	—	—	—
		Br	-3,50229	2,32302	0,925	0,34939
	<i>Abies pinsapo</i> Boiss.	BT	-2,52726	2,31499	0,972	0,213399
		BF	-3,77566	2,46487	0,963	0,260576
		BR <sub>7</sub>	-16,252	5,39755	0,75	0,464884
		BR <sub>2-7</sub>	-5,80425	2,78393	0,757	0,526481
		BR <sub>2</sub>	-0,860115	1,36973	0,633	0,560387
		BA	—	—	—	—
		Br	—	—	—	—
	<i>Juniperus oxycedrus</i> L.	BT	-0,605689	1,69417	0,994	0,015854
		Br	-1,10127	1,60599	0,768	0,333596
	<i>Juniperus phoenicea</i> L.	BT	-0,605689	1,69417	0,994	0,015854
		Br	-1,10127	1,60599	0,768	0,333596
	<i>Juniperus thurifera</i> L.	BT	-1,48238	2,03163	0,962	0,20105
		BF	-1,89714	1,95148	0,959	0,200525
		BR <sub>7</sub>	-13,4535	4,6002	0,816	0,464126
		BR <sub>2-7</sub>	-4,31675	2,38243	0,925	0,334781
		BR <sub>2</sub>	-2,4053	1,68286	0,874	0,315638
		BH	-2,48528	1,68286	0,874	0,315585
		Br	-1,68253	1,73984	0,884	0,301612
	<i>Pinus canariensis</i> Sweet ex Spreng	BT	-3,04507	2,66892	0,989	0,141703
		BF	-3,05487	2,59425	0,989	0,138485
		BR <sub>7</sub>	-11,6241	4,28166	0,434	0,801102
		BR <sub>2-7</sub>	-6,09929	2,72894	0,876	0,508754
		BR <sub>2</sub>	-5,07419	2,59996	0,843	0,558653
		BA	—	—	—	—
		Br	-4,61516	2,72887	0,96	0,298539

Formación vegetal	Especies	Parámetros			
Bosques de coníferas	Partes del árbol	<i>a</i>	<i>b</i>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	SEE
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	BT	-2,0939	2,20988	0,982	0,151637
	BF	-2,51839	2,13609	0,955	0,231322
	BR <sub>7</sub>	-9,55046	3,61115	0,461	0,925623
	BR <sub>2-7</sub>	-4,72651	2,33462	0,889	0,412518
	BR <sub>2</sub>	-2,74498	2,03748	0,953	0,226267
	BA	—	—	—	—
	Br	-3,68133	2,29823	0,882	0,49324
<i>Pinus nigra</i> Arn.	BT	-2,7773	2,51564	0,992	0,134416
	BF	-3,14006	2,4975	0,99	0,155782
	BR <sub>7</sub>	-13,8099	4,63179	0,624	0,9582
	BR <sub>2-7</sub>	-6,62495	2,92521	0,92	0,526873
	BR <sub>2</sub>	-2,83503	2,04538	0,972	0,210812
	BH	—	—	—	—
	Br	-3,76193	2,38784	0,984	0,179241
<i>Pinus pinaster</i> Ait.	BT	-3,00347	2,49641	0,969	0,173491
	BF	-3,43957	2,56636	0,964	0,191593
	BR <sub>7</sub>	-23,0418	6,52359	0,927	0,324283
	BR <sub>2-7</sub>	-6,66264	2,63946	0,651	0,744427
	BR <sub>2</sub>	-4,66658	2,38009	0,752	0,527572
	BA	—	—	—	—
	Br	-3,85184	2,37592	0,985	0,160225
<i>Pinus pinea</i> L.	BT	-2,18117	2,42414	0,96	0,264856
	BF	-3,36491	2,52494	0,979	0,199641
	BR <sub>7</sub>	-4,33663	2,59988	0,871	0,537318
	BR <sub>2-7</sub>	-4,18552	2,39692	0,877	0,483518
	BR <sub>2</sub>	-2,55308	1,93944	0,824	0,48201
	BA	-4,03904	2,15862	0,937	0,300442
	Br	-4,01758	2,47024	0,984	0,196073
<i>Pinus radiata</i> D.Don	BT	-2,61093	2,48739	0,977	0,19327
	BF	-3,02878	2,56358	0,976	0,200075
	BR <sub>7</sub>	-10,5693	3,64861	0,71	0,52533
	BR <sub>2-7</sub>	-4,12515	2,1173	0,746	0,6154
	BR <sub>2</sub>	-3,53532	1,75877	0,669	0,616072
	BA	-5,03445	2,05803	0,739	0,609518
	Br	-2,78485	2,14449	0,939	0,309544
<i>Pinus sylvestris</i> L.	BT	-2,50275	2,41194	0,951	0,246887
	BF	-3,80519	2,70808	0,947	0,290498
	BR <sub>7</sub>	-15,0469	4,80367	0,816	0,688645
	BR <sub>2-7</sub>	-4,07857	2,1408	0,721	0,607015
	BR <sub>2</sub>	-2,08375	1,51001	0,625	0,529942
	BA	-2,36531	1,5099	0,625	0,530047

Formación vegetal	Especies	Parámetros			
Bosques de coníferas	Partes del árbol	<i>a</i>	<i>b</i>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	SEE
	Br	-4,56044	2,62841	0,97	0,283615
	<i>Pinus uncinata</i> Mill.				
	BT	-1,86138	2,31611	0,954	0,25165
	BF	-3,44774	2,70666	0,964	0,265933
	BR <sub>7</sub>	-4,65925	1,96208	0,388	0,639729
	BR <sub>2-7</sub>	-2,1928	1,60699	0,716	0,511617
	BR <sub>2</sub>	-2,63317	1,79147	0,778	0,467995
	BA	—	—	—	—
	Br	-4,50582	2,7558	0,973	0,277497
	Otras coníferas				
	BT	-2,21637	2,35162	0,998	0,073801
	Br	-2,46359	2,13727	0,982	0,22994

**Anexo 5. Parámetros ajustados de especies forestales de bosques de frondosas perennifolias para el cálculo de la biomasa viva acumulada en diferentes partes del árbol** utilizando la ecuación alométrica logarítmica (Tabla 5 en el texto) (Montero et al., 2005). *a* y *b*: parámetros de la función,  $R^2_{adj}$ : coeficiente de regresión ajustado, SEE: error estándar de la estimación, BT: biomasa total, BF: biomasa del fuste, BR<sub>7</sub>: biomasa de las ramas de diámetro mayor de 7 cm, BR<sub>2-7</sub>: biomasa de las ramas de diámetro entre 2 y 7 cm, BA: biomasa de acículas, Br: biomasa de raíz, BH: biomasa de hojas.

Formación vegetal	Especies	Partes del árbol	Parámetros			
			<i>a</i>	<i>b</i>	$R^2_{adj}$	SEE
Bosque de frondosas perennifolias	<i>Ceratonia siliqua</i> L.	BT	-1,51118	2,16178	0,858	0,318842
		BF	-2,01208	1,99344	0,92	0,212672
		BR <sub>7</sub>	-4,98516	2,82065	0,699	0,629392
		BR <sub>2-7</sub>	-2,67667	1,87513	0,575	0,575821
		BR <sub>2</sub>	-1,81674	1,6254	0,731	0,355049
		BH	-2,19442	1,62588	0,732	0,354275
		Br	-1,03055	1,99274	0,861	0,267455
	<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i> Brot.	BT	-0,943709	1,94124	0,927	0,243446
		BF	-1,0421	1,60779	0,837	0,31648
		BR <sub>7</sub>	-4,65302	2,68734	0,732	0,603604
		BR <sub>2-7</sub>	-1,43802	1,59553	0,72	0,441233
		BR <sub>2</sub>	-1,56349	1,53326	0,779	0,363092
		BA	-3,52781	1,53326	0,779	0,363092
		Br	-2,33764	2,11152	0,898	0,341218
	<i>Quercus ilex</i> L.	BT	-2,31596	2,47745	0,963	0,253774
		BF	-1,99607	2,01754	0,937	0,273464
		BR <sub>7</sub>	-5,347	3,04363	0,849	0,541779
		BR <sub>2-7</sub>	-2,52588	2,00304	0,728	0,63967
		BR <sub>2</sub>	-2,66407	1,97498	0,85	0,433902
		BH	-4,13268	1,97313	0,85	0,433717
		Br	-0,730281	1,7893	0,67	0,496779
<i>Quercus suber</i> L.	BT	-3,36627	2,60685	0,914	0,416653	
	BF	-3,01942	2,25213	0,893	0,405357	
	BR <sub>7</sub>	-6,43076	3,21136	0,87	0,574419	
	BR <sub>2-7</sub>	-3,3924	1,99526	0,796	0,525534	
	BR <sub>2</sub>	-5,33638	2,10315	0,676	0,754127	
	BA	-6,05826	2,14483	0,648	0,818511	
	Br	-2,81593	2,07774	0,924	0,356549	
<i>Eucalyptus</i> spp	BT	-1,33002	2,19404	0,98	0,15785	
	BF+BR <sub>7</sub>	-2,20421	2,38196	0,974	0,19683	

Formación vegetal	Especies	Partes del árbol	Parámetros			
			<i>a</i>	<i>b</i>	R <sup>2</sup> adj	SEE
		BR2-7	-2,67562	1,87183	0,822	0,442402
		BR2	-2,64825	1,61429	0,858	0,333087
		BH	-2,05864	1,61762	0,859	0,333319
	Otras frondosas	BT	-1,87511	2,29843	0,999	0,014718
		Br	-1,38199	1,96764	0,998	0,063674

**Anexo 6. Parámetros ajustados de especies forestales de formaciones de laurisilvas y Fayal-Brezales para el cálculo de la biomasa viva acumulada en diferentes partes del árbol** utilizando la ecuación alométrica logarítmica (Tabla 5 en el texto) (Montero et al., 2005). *a* y *b*: parámetros de la función,  $R^2_{adj}$ : coeficiente de regresión ajustado, SEE: error estándar de la estimación, BT: biomasa total, BF: biomasa del fuste, BR<sub>7</sub>: biomasa de las ramas de diámetro mayor de 7 cm, BR<sub>2-7</sub>: biomasa de las ramas de diámetro entre 2 y 7 cm, BA: biomasa de acículas, Br: biomasa de raíz, BH: biomasa de hojas.

Formación vegetal	Especies	Partes del árbol	Parámetros			
			<i>a</i>	<i>b</i>	$R^2_{adj}$	SEE
Laurisilvas y Fayal-Brezales	<i>Erica arborea</i> L.	BT	-0,949661	2,00644	0,963	0,316307
		BF	-1,8135	2,05303	0,962	0,329246
		BR <sub>7</sub>	-6,92178	3,38826	0,762	0,787419
		BR <sub>2-7</sub>	-3,51439	2,13533	0,918	0,477335
		BR <sub>2</sub>	-1,21581	1,61609	0,916	0,393017
		BH	—	—	—	—
		Br	—	—	—	—
	<i>Ilex canariensis</i> Poir.	BT	-0,637183	1,96456	0,98	0,226602
		BF	-1,17012	1,93218	0,964	0,300507
		BR <sub>7</sub>	-2,54028	1,75008	0,924	0,149405
		BR <sub>2-7</sub>	-1,46449	1,42586	0,607	0,583587
		BR <sub>2</sub>	-1,45821	1,76279	0,951	0,320224
		BH	—	—	—	—
		Br	—	—	—	—
	<i>Laurus azorica</i> (Seub.)Franco	BT	-1,92595	2,49131	0,984	0,18046
		BF	-2,96854	2,57608	0,978	0,221931
		BR <sub>7</sub>	-3,98432	2,54256	0,767	0,758262
		BR <sub>2-7</sub>	-2,4357	1,91438	0,883	0,375129
		BR <sub>2</sub>	-2,2519	2,09193	0,915	0,366172
		BH	—	—	—	—
		Br	—	—	—	—
	<i>Myrica faya</i> Ait.	BT	-1,17881	2,18018	0,988	0,208418
		BF	-1,67388	2,02138	0,965	0,336921
		BR <sub>7</sub>	-6,67499	3,49039	0,93	0,378995
		BR <sub>2-7</sub>	-4,0517	2,44571	0,943	0,464147
		BR <sub>2</sub>	-1,66978	1,8878	0,973	0,275118
		BH	—	—	—	—
		Br	—	—	—	—
Otras laurisilvas		BT	-1,36216	2,2664	0,999	0,021902
		Br	-1,38356	2,05614	0,999	0,037231

**Anexo 7. Ecuaciones alométricas para el cálculo de la biomasa viva total de ciertas especies de matorral** (Montero et al., 2020).  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ : parámetros específicos de la ecuación alométrica para cada especie en particular. W: biomasa total acumulada en toneladas de materia seca por hectárea. Hm: altura media del matorral, Fcc: fracción de cubida cubierta del matorral (expresada en %).

Especies	Parámetros			Ecuaciones
	$a_1$	$b_1$	$b_2$	Biomasa total acumulada (t ha <sup>-1</sup> MS)
<i>Nerium oleander</i> L. <i>Crataegus monogyna</i> Jacq <i>Rosa canina</i> L. <i>Berberis vulgaris</i> L. (incluye las subespecies <i>australis</i> y <i>seroi</i> ) <i>Buxus sempervirens</i> L.	4,515059	0,428802		$W \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = a_1 \cdot Hm$ $[\arccos(\sqrt{FCC/100})]^{b_1}$
<i>Quercus ilex</i> L.	0,3768846	1,5295796	1,0172503	$W \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = a_1 \cdot Hm^{b_1}$ $[\arccos(\sqrt{FCC/100})]^{b_2}$
<i>Quercus coccifera</i> L.	2,0135328	0,8191936	0,9125035	$W \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = a_1 \cdot Hm^{b_1}$ $[\arccos(\sqrt{FCC/100})]^{b_2}$
<i>Pistacia lentiscus</i> L.	2,5800701	0,8037841		$W \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = a_1 \cdot Hm$ $[\arccos(\sqrt{FCC/100})]^{b_1}$
<i>Phillyrea angustifolia</i> L. y <i>Phillyrea media</i> L. <i>Arbutus unedo</i> L. <i>Myrtus communis</i> L. <i>Rhamnus lycioides</i> L. y <i>Rhamnus oleoides</i> L. <i>Rhododendron ferrugineum</i> L.	1,0172503			$W \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = a_1 \cdot Hm \arccos(\sqrt{FCC/100})$
<i>Erica arborea</i> L.	1,189603			$W \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = a_1 \cdot Hm \arccos(\sqrt{FCC/100})$
<i>Erica australis</i> L. <i>Erica scoparia</i> L. <i>Calluna vulgaris</i> L. <i>Cytisus oromediterraneus</i> (Rivas Mart. et al.)	11,831024	0,463955		$W \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = a_1 \cdot Hm$ $[\arccos(\sqrt{FCC/100})]^{b_1}$
<i>Cytisus scoparius</i> L.	0,3696343	1,2075982		$W \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = a_1 \cdot Hm$ $[\arccos(\sqrt{FCC/100})]^{b_1}$
<i>Cytisus multiflorus</i> (L'Her.) Sweet <i>Genista florida</i> L. <i>Genista cinerea</i> (Vill.) DC. <i>Genista tinctoria</i> (L.) <i>Teline monspessulana</i> L. y <i>Teline linifolia</i> L. <i>Adenocarpus</i> spp <i>Adenocarpus decorticans</i> Boiss. <i>Adenocarpus hispanicus</i> (Lam.) DC <i>Adenocarpus telonensis</i> (Loisel.) DC	1,6152778			$W \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = a_1 \cdot Hm \arccos(\sqrt{FCC/100})$

Especies	Parámetros			Ecuaciones
	$a_1$	$b_1$	$b_2$	Biomasa total acumulada (t ha <sup>-1</sup> MS)
<i>Adenocarpus complicatus</i> (L.) J. Gay <i>Retama sphaerocarpa</i> (L.) Boiss.				
<i>Ulex europaeus</i> L.	1,429399			$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm \arccoseno (\sqrt{FCC/100})$
<i>Ulex australis</i> Clemente <i>Ulex parviflorus</i> Pourr.	1,577036	1,017956		$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm [\arccoseno(\sqrt{(FCC/100)})]^{b_1}$
<i>Genista scorpius</i> (L.) DC.	0,2127759	2,1722167	0,6170022	$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm^{b_1} [\arccoseno (\sqrt{FCC/100})]^{b_2}$
<i>Genista hirsuta</i> Vahl. <i>Calicotome villosa</i> (Poir) Link <i>Calicotome spinosa</i> (L.) Link <i>Calicotome intermedia</i> (Salzm. ex C. Presl) Boiss. <i>Cistus laurifolius</i> L. <i>Cistus ladanifer</i> L.	1,3981378	0,9987021		$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm [\arccoseno(\sqrt{(FCC/100)})]^{b_1}$
<i>Cistus monspeliensis</i> L. <i>Cistus albidus</i> L.	1,7413566	0,7218292	0,6361264	$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm^{b_1} [\arccoseno(\sqrt{(FCC/100)})]^{b_2}$
<i>Cistus populifolius</i> L. <i>Cistus salviifolius</i> L. <i>Cistus crispus</i> L. <i>Cistus clussi</i> Dunal. <i>Cistus libanotis</i> L. <i>Halimium halimifolium</i> (L.) Willk	1,336776			$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm \arccoseno (\sqrt{FCC/100})$
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	1,025574	1,133836		$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm [\arccoseno (\sqrt{FCC/100})]^{b_1}$
<i>Lavandula stoechas</i> L.	1,952115	0,6468343		$W (t ha^{-1})=a_1 Hm [\arccoseno (\sqrt{FCC/100})]^{b_1}$
<i>Phlomis purpurea</i> L.	1,024665			$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm \arccoseno(\sqrt{(FCC/100)})$
<i>Thymus</i> spp <i>T. vulgaris</i> L. <i>T. mastichina</i> L. <i>T. zygis</i> Loefl ex L. <i>T. baeticus</i> Boiss ex Lacaita Hibridaciones	1,3520818	0,8747779		$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm [\arccoseno (\sqrt{FCC/100})]^{b_1}$
<i>Macrochloa tenacissima</i> L. <i>Lygeum spartum</i> L.	0,9808213			$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm [\arccoseno(\sqrt{(FCC/100)})]$

**Anexo 8. Ecuaciones alométricas para el cálculo de la biomasa total por agrupaciones de especies de matorral** (Montero et al., 2020).  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ : parámetros específicos de la ecuación alométrica por agrupación de matorral. W: biomasa total acumulada en toneladas de materia seca por hectárea. Hm: altura media del matorral, Fcc: fracción de cabida cubierta del matorral (expresada en %).

Agrupaciones de matorral	Parámetros			Ecuaciones
	$a_1$	$b_1$	$b_2$	Biomasa total acumulada ( $t_{ms}/ha$ )
Setos, bardas, orlas	0,6441192			$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm \arccoseno(\sqrt{(FCC/100)})$
Bujedos	4,515059	0,428802		$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm [\arccoseno (\sqrt{(FCC/100)})]^{b_1}$
Arbustados de <i>Quercus ilex</i>	0,3768846	1,5295796	1,0172503	$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm^{b_1}[\arccoseno (\sqrt{(FCC/100)})]^{b_2}$
Sabinares, enebrales y sabino-enebrales no rastreros	0,8170986	1,2403275		$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm [\arccoseno (\sqrt{(FCC/100)})]^{b_1}$
Coscojares más o menos puros ( <i>Quercus coccifera</i> )	2,0135328	0,8191936	0,9125035	$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm^{b_1} [\arccoseno (\sqrt{(FCC/100)})]^{b_2}$
Lentiscares, charnecales ( <i>Pistacia lentiscus</i> )	2,5800701	0,8037841		$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm [\arccoseno (\sqrt{(FCC/100)})]^{b_1}$
Mancha mediterránea y afines	1,628329			$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm \arccoseno(\sqrt{(FCC/100)})$
Garrigas (matorrales pluriespecíficos calcícolas más o menos termófilos)	4,772295	0,591833	1,227138	$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm^{b_1} [\arccoseno (\sqrt{(FCC/100)})]^{b_2}$
Brezales, matorrales de Ericáceas y agrupaciones afines	2,0483619	0,8613609		$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm [\arccoseno (\sqrt{(FCC/100)})]^{b_1}$
Matorrales de leguminosas retamoideas	9,018966	0,32999	0,419907	$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm^{b_1} [\arccoseno (\sqrt{(FCC/100)})]^{b_2}$
Matorrales de leguminosas aulagoides y afines	1,4901824	0,98885	1,0275925	$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm^{b_1} [\arccoseno (\sqrt{(FCC/100)})]^{b_2}$
Jarales y matorrales de Cistáceas	1,7397887	0,884211		$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm [\arccoseno (\sqrt{(FCC/100)})]^{b_1}$
Matorrales de labiadas y "tomillares"	1,378164	0,999194		$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm [\arccoseno (\sqrt{(FCC/100)})]^{b_1}$
Otros matorrales y cubiertas mixtas no intrazonales (no asimilables a grupos anteriores)	1,7222769	0,7768124		$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm [\arccoseno (\sqrt{(FCC/100)})]^{b_1}$
Atochares, espartizales, albardinales	0,9808213			$W (t ha^{-1})=a_1 \cdot Hm \arccoseno(\sqrt{(FCC/100)})$

Anexo 9. Factor de expansión de biomasa (BEFD) por especie forestal. Cifras en t<sub>ms</sub>/ m<sup>3</sup> volumen de madera.

	Especie forestal	BEFD (t <sub>ms</sub> /m <sup>3</sup> )
<b>CONÍFERAS</b>	<i>Abies alba</i>	0,61
	<i>Pinus halepensis</i>	0,74
	<i>Pinus nigra</i>	0,64
	<i>Pinus pinaster</i>	0,55
	<i>Pinus pinea</i>	0,73
	<i>Pinus radiata</i>	0,44
	<i>Pinus sylvestris</i>	0,62
	<i>Pinus uncinata</i>	0,61
	Otras coníferas	0,62
	<b>FRONDOSAS</b>	<i>Alnus glutinosa</i>
<i>Betula pendula</i>		0,73
<i>Castanea sativa</i>		0,75
<i>Eucalyptus globulus</i>		0,81
<i>Fagus sylvatica</i>		0,81
<i>Fraxinus excelsior</i>		0,83
<i>Populus nigra</i>		0,53
<i>Populus tremula</i>		0,66
<i>Quercus canariensis</i>		1,00
<i>Quercus faginea</i>		1,11
<i>Quercus ilex</i>		1,28
<i>Quercus petraea</i>		0,84
<i>Quercus pubescens</i>		0,89
<i>Ulmus minor</i>		0,90
Otras frondosas		0,84
Coníferas/frondosas		0,73

Anexo 10. Coeficiente raíz/vástago (R) por especie forestal. Adimensional.

	Especie forestal	R
<b>CONÍFERAS</b>	<i>Abies alba</i>	0,18
	<i>Abies pinsapo</i>	0,38
	<i>Cedrus spp.</i>	0,38
	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	0,38
	<i>Cupressus spp.</i>	0,38
	<i>Juniperus communis</i>	3,58
	<i>Juniperus oxycedrus</i>	3,58
	<i>Juniperus phoenicea</i>	0,58
	<i>Juniperus sabina</i>	0,58
	<i>Juniperus thurifera</i>	0,31
	<i>Larix spp.</i>	0,38
	<i>Picea abies</i>	0,38
	<i>Pinus canariensis</i>	0,26
	<i>Pinus halepensis</i>	0,30
	<i>Pinus nigra</i>	0,24
	<i>Pinus pinaster</i>	0,28
	<i>Pinus pinaster (norte)</i>	0,28
	<i>Pinus pinaster (resto)</i>	0,28
	<i>Pinus pinea</i>	0,18
	<i>Pinus radiata</i>	0,27
	<i>Pinus sylvestris</i>	0,27
	<i>Pinus uncinata</i>	0,33
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0,38
	<i>Taxus baccata</i>	0,38
	Otras coníferas	0,38
	<b>FRONDOSAS</b>	<i>Acacia spp.</i>
<i>Ailanthus altissima</i>		0,53
<i>Alnus glutinosa</i>		0,67
<i>Amelanchier ovalis</i>		0,53
<i>Betula spp.</i>		0,20
<i>Castanea sativa</i>		0,86
<i>Celtis australis</i>		0,53
<i>Ceratonia siliqua</i>		0,95
<i>Cornus sanguinea</i>		0,53
<i>Crataegus spp.</i>		0,53
<i>Erica arborea</i>		0,44
<i>Eucalyptus spp.</i>		0,49
<i>Euonymus europaeus</i>		0,53
<i>Fagus sylvatica</i>		0,85

Especie forestal	R
<i>Frangula alnus</i>	0,53
<i>Fraxinus</i> spp.	0,73
<i>Ilex aquifolium</i>	0,53
<i>Ilex canariensis</i>	0,65
<i>Laurus azorica</i>	0,39
<i>Malus sylvestris</i>	0,53
<i>Myrica faya</i>	0,63
<i>Myrtus communis</i>	0,53
<i>Ocotea phoetens</i>	0,47
<i>Olea europaea</i>	0,45
<i>Persea indica</i>	0,47
<i>Phillyrea latifolia</i>	0,53
<i>Platanus</i> spp.	0,53
<i>Populus alba</i>	0,53
<i>Populus tremula</i>	0,53
<i>Pyrus</i> spp.	0,53
<i>Quercus canariensis</i>	0,32
<i>Quercus faginea</i>	0,46
<i>Quercus ilex</i> ssp. <i>ballota</i>	0,52
<i>Quercus ilex</i> ssp. <i>ilex</i>	0,52
<i>Quercus petraea</i>	0,28
<i>Quercus pyrenaica</i>	0,30
<i>Quercus robur</i>	0,53
<i>Quercus rubra</i>	0,53
<i>Quercus suber</i>	0,29
Otros <i>quercus</i>	0,53
<i>Rhamnus alaternus</i>	0,53
<i>Salix</i> spp.	0,53
<i>Sambucus nigra</i>	0,53
<i>Sambucus racemosa</i>	0,53
<i>Tamarix</i> spp.	0,53
<i>Ulmus</i> spp.	0,53
Otros árboles ripícolas	0,53
Otras laurisilvas	0,47
Otras frondosas	0,53
Coníferas/frondosas	0,46

**Anexo 11. Valores promedio de referencia de biomasa viva total (t<sub>ms</sub>/ha) y contenido total de carbono por hectárea (t C/ha) por especie forestal, rango de densidad forestal y comunidad autónoma.** CCAA: Comunidad Autónoma, Rango Densidad (pies/ha): rango de número de árboles por hectárea (bajo, medio y alto), Biomasa total (t<sub>ms</sub>/ha): promedio de biomasa viva total (aérea y subterránea en toneladas de materia seca por hectárea) calculado por especie forestal y comunidad autónoma a partir de los datos IFN3, Contenido en Carbono (t C/ha): promedio del contenido de carbono almacenado (toneladas de carbono por hectárea) por especie y comunidad autónoma. Desv. estándar: desviación estándar, N<sup>o</sup> parcelas: número de parcelas.

	Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	N <sup>o</sup> parcelas
Coníferas	<i>Abies alba</i>	Aragón	0-700	192,57	97,44	46,97	8
			700-1500	192,39	97,35	32,93	7
			>1500	254,09	128,57	43,65	3
		Cataluña	0-700	251,04	127,03	83,99	40
			700-1500	292,51	148,01	70,62	40
			>1500	276,15	139,73	94,70	3
		Navarra	0-700	224,51	113,60	77,08	9
			700-1500	248,08	125,53	40,18	6
		<i>Abies pinsapo</i>	Andalucía	0-300	89,74	44,87	34,31
	300-600			109,12	54,56	37,40	7
	>600			168,47	84,24	25,05	5
	<i>Chamaecypariss lawsoniana</i>	País Vasco	0-850	148,96	74,48	44,44	19
			850-1700	235,33	117,67	33,29	11
			>1700	221,21	110,60	45,06	2
	<i>Juniperus communis</i>	Castilla La Mancha	0-250	16,52	8,26	5,68	2
			Castilla y León	20,52	10,26	2,31	2
		Cataluña	0-250	11,89	5,94	3,62	2
		Madrid	0-250	20,03	10,02	7,85	2
			>500	83,05	41,52	6,25	2
<i>Juniperus oxycedrus</i>	Andalucía	0-300	19,18	9,59	1,63	4	
		Aragón	0-300	15,61	7,81	4,42	11
			300-600	38,28	19,14	0,79	2
	>600		78,44	39,22	4,08	2	
	C. Valenciana	0-300	11,71	5,85	3,74	7	
		300-600	58,04	29,02	3,73	2	
		Castilla La Mancha	0-300	27,71	13,86	6,79	24
	300-600		59,71	29,86	9,03	8	

Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
		>600	161,56	80,78	16,47	3
	Castilla y León	0-300	24,51	12,25	8,49	25
		300-600	68,06	34,03	10,72	6
		>600	124,18	62,09	29,84	8
	Cataluña	300-600	51,83	25,91	15,94	2
	Madrid	0-300	21,23	10,61	6,62	30
		300-600	76,26	38,13	11,62	4
		>600	120,88	60,44	13,96	6
	Navarra	0-300	13,91	6,95	1,60	3
<i>Juniperus phoenicea</i>			38,59	19,30	14,65	2
	Andalucía	>500				
	Aragón	0-250	3,20	1,60	0,27	3
		250-500	10,62	5,31	4,78	2
		>500	27,88	13,94	8,39	2
	Islas Baleares	0-250	11,74	5,87	5,93	10
		250-500	13,35	6,67	2,60	3
	Madrid	0-250	11,28	5,64	2,65	2
<i>Juniperus thurifera</i>			15,39	7,31	7,35	88
	Aragón	0-250				
		250-500	33,36	15,85	9,25	30
		>500	48,13	22,86	10,75	26
	C. Valenciana	0-250	16,03	7,61	5,82	11
		250-500	24,55	11,66	7,09	3
		>500	49,79	23,65	4,64	5
	Castilla La Mancha	0-250	17,33	8,23	7,16	200
		250-500	31,72	15,06	8,14	70
		>500	46,30	21,99	10,61	30
	Castilla y León	0-250	15,21	7,22	7,05	66
		250-500	30,29	14,39	7,06	50
		>500	41,45	19,69	9,20	28
	Murcia	0-250	12,98	6,17	3,52	3
<i>Larix decidua</i>	Navarra	0-550	146,00	73,00	4,93	2
		550-1100	111,48	55,74	0,17	2
	País Vasco	0-550	133,46	66,73	46,14	3
<i>Larix spp.</i>	Navarra	0-500	117,66	58,83	14,12	6
		500-1000	134,45	67,23	15,91	6
	País Vasco	0-500	159,88	79,94	21,02	34
		500-1000	164,04	82,02	24,93	7

Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
		>1000	182,75	91,37	55,56	2
<i>Pinus halepensis</i>	Andalucía	0-400	29,47	14,70	11,63	779
		400-800	54,29	27,09	14,58	283
		>800	73,66	36,76	15,17	110
	Aragón	0-400	20,74	10,35	8,79	536
		400-800	46,75	23,33	11,00	288
		>800	73,86	36,86	16,09	173
	C. Valenciana	0-400	21,73	10,84	8,57	1623
		400-800	51,13	25,51	12,18	484
		>800	76,27	38,06	15,59	191
	Castilla La Mancha	0-400	22,83	11,39	8,75	793
		400-800	48,90	24,40	11,36	208
		>800	66,87	33,37	12,95	89
	Castilla y León	0-400	15,60	7,78	6,27	31
		400-800	37,11	18,52	9,02	22
		>800	66,82	33,34	13,00	13
	Cataluña	0-400	23,45	11,70	9,14	867
		400-800	53,41	26,65	11,94	533
		>800	81,65	40,74	15,62	325
	Islas Baleares	0-400	34,17	17,05	11,78	483
		400-800	64,73	32,30	15,31	159
		>800	76,08	37,96	17,00	29
	La Rioja	0-400	16,44	8,20	4,92	9
		400-800	34,10	17,02	8,53	4
		>800	73,21	36,53	17,74	22
Madrid	0-400	15,79	7,88	7,82	30	
	400-800	50,67	25,28	9,29	12	
	>800	60,81	30,34	7,29	7	
Murcia	0-400	19,71	9,83	7,40	694	
	400-800	40,78	20,35	10,02	199	
	>800	60,67	30,27	11,58	74	
Navarra	0-400	26,21	13,08	9,43	36	
	400-800	40,24	20,08	12,98	27	
	>800	69,59	34,73	14,20	20	
País Vasco	>800	65,29	32,58	21,49	2	
<i>Pinus nigra</i>	Andalucía	0-600	70,94	36,11	29,39	350
		600-1300	107,73	54,84	29,79	137

Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
		>1300	138,65	70,57	37,50	36
	Aragón	0-600	42,48	21,62	19,68	333
		600-1300	79,93	40,68	22,93	197
		>1300	111,98	57,00	26,12	88
	C. Valenciana	0-600	41,42	21,08	18,02	172
		600-1300	75,24	38,30	18,81	64
		>1300	119,30	60,73	25,12	26
	Cantabria	0-600	15,69	7,99	6,33	4
	Castilla La Mancha	0-600	49,83	25,36	22,68	940
		600-1300	91,66	46,66	25,92	274
		>1300	151,47	77,10	33,17	70
	Castilla y León	0-600	65,00	33,08	25,80	72
		600-1300	93,66	47,67	24,96	109
		>1300	123,90	63,06	26,14	49
	Cataluña	0-600	40,42	20,57	17,26	398
		600-1300	75,39	38,37	21,40	371
		>1300	105,25	53,57	19,74	162
	La Rioja	0-600	28,68	14,60	12,32	25
		600-1300	94,42	48,06	37,53	31
		>1300	123,42	62,82	32,11	18
	Madrid	0-600	30,33	15,44	10,69	7
		600-1300	106,39	54,15	33,16	6
	Murcia	0-600	24,35	12,39	9,40	60
		600-1300	55,63	28,32	13,59	12
		>1300	125,49	63,87	22,76	4
	Navarra	0-600	83,65	42,58	33,99	19
		600-1300	122,92	62,56	35,74	45
		>1300	112,17	57,09	29,24	39
	País Vasco	0-600	138,55	70,52	50,21	36
		600-1300	155,13	78,96	38,25	25
		>1300	151,10	76,91	49,45	6
<i>Pinus pinaster</i>			45,15	23,07	19,21	457
	Andalucía	0-500				
		500-1000	86,63	44,27	22,54	140
		>1000	107,70	55,03	25,74	60
	Aragón	0-500	58,33	29,81	22,54	79
		500-1000	97,15	49,64	24,55	66
		>1000	127,04	64,92	19,31	25
	Asturias	0-500	59,33	30,32	31,75	47

Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
		500-1000	77,52	39,61	43,39	23
		>1000	137,73	70,38	45,09	4
	C.		28,32	14,47	15,70	66
	Valenciana	0-500				
		500-1000	73,63	37,62	21,81	36
		>1000	115,84	59,19	33,43	17
	Castilla La Mancha	0-500	57,21	29,24	21,74	596
		500-1000	93,46	47,76	24,30	341
		>1000	123,68	63,20	24,13	121
	Castilla y León	0-500	72,68	37,14	25,46	694
		500-1000	124,97	63,86	34,00	258
		>1000	140,68	71,89	39,18	147
	Cataluña	0-500	41,79	21,35	17,85	27
		500-1000	85,40	43,64	20,53	28
		>1000	89,71	45,84	25,42	29
	Extremadu ra	0-500	44,74	22,86	20,78	269
		500-1000	88,25	45,10	26,50	112
		>1000	119,58	61,11	27,25	91
	Galicia	0-500	63,06	32,22	25,40	776
		500-1000	123,09	62,90	31,90	282
		>1000	139,52	71,29	33,41	96
	La Rioja	500-1000	83,57	42,70	10,06	2
		>1000	78,18	39,95	10,75	3
	Madrid	0-500	75,56	38,61	28,71	76
		500-1000	144,47	73,82	43,44	23
		>1000	200,67	102,54	45,13	8
	Murcia	0-500	29,38	15,01	9,84	38
		500-1000	54,54	27,87	9,74	18
		>1000	68,91	35,21	9,92	4
	País Vasco	0-500	108,99	55,70	34,14	23
		500-1000	81,81	41,80	31,24	11
		>1000	91,87	46,94	2,71	2
<i>Pinus pinea</i>	Andalucía	0-300	57,70	29,31	21,36	540
		300-600	95,18	48,35	26,93	187
		>600	113,79	57,81	32,94	102
	Aragón	0-300	18,49	9,39	0,80	2
		300-600	119,09	60,50	32,95	3
		>600	84,24	42,79	39,41	2

Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas	
	C. Valenciana	0-300	20,51	10,42	9,97	9	
		300-600	42,77	21,73	14,19	3	
		Castilla La Mancha	0-300	56,22	28,56	23,87	106
	Castilla y León	300-600	89,39	45,41	27,32	51	
		>600	111,60	56,69	33,12	38	
		Castilla y León	0-300	83,27	42,30	24,89	411
	Cataluña	300-600	110,72	56,25	34,72	93	
		>600	118,28	60,09	28,95	43	
		Castilla y León	0-300	51,00	25,91	20,41	100
	Extremadu ra	300-600	104,31	52,99	32,18	86	
		>600	132,97	67,55	38,56	98	
		Extremadu ra	0-300	45,64	23,19	16,42	72
	Madrid	300-600	94,98	48,25	30,06	37	
		>600	144,37	73,34	33,23	35	
		Madrid	0-300	80,80	41,05	27,43	106
	<i>Pinus radiata</i>	Andalucía	300-600	101,83	51,73	23,53	24
			>600	92,98	47,23	28,10	6
		Andalucía	0-500	48,85	24,28	27,52	6
500-1000			204,86	101,82	98,99	2	
Asturias		0-500	77,86	38,69	44,66	34	
		500-1000	143,78	71,46	59,38	13	
		>1000	213,51	106,11	72,99	7	
Cantabria		0-500	142,56	70,85	57,56	43	
		500-1000	206,86	102,81	45,73	30	
		>1000	138,38	68,77	37,77	10	
Castilla y León		0-500	102,38	50,89	46,06	15	
		500-1000	53,78	26,73	17,95	3	
		>1000	172,88	85,92	29,56	6	
Cataluña		0-500	150,15	74,62	68,49	2	
		500-1000	127,39	63,31	33,69	6	
Galicia		0-500	98,11	48,76	45,93	71	
		500-1000	193,12	95,98	49,06	44	
		>1000	187,25	93,06	38,47	29	
Navarra	0-500	144,08	71,61	57,74	14		
	500-1000	163,67	81,34	56,71	8		
País Vasco	0-500	210,65	104,69	57,89	452		
	500-1000	195,92	97,37	62,14	192		

Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
		>1000	210,44	104,59	64,38	55
<i>Pinus sylvestris</i>	Andalucía	0-700	45,00	22,91	15,87	71
		700-1400	94,71	48,21	24,70	62
		>1400	121,61	61,90	15,95	19
	Aragón	0-700	74,99	38,17	31,14	739
		700-1400	128,33	65,32	38,11	336
		>1400	152,98	77,87	36,25	116
	Asturias	0-700	60,97	31,03	33,10	13
		700-1400	166,57	84,79	51,93	4
		>1400	223,38	113,70	18,45	3
	C. Valenciana	0-700	56,76	28,89	23,57	27
		700-1400	88,32	44,96	22,20	7
		>1400	173,65	88,39	13,39	2
	Cantabria	0-700	46,59	23,72	17,95	12
		700-1400	93,55	47,62	37,93	26
		>1400	145,60	74,11	48,29	8
	Castilla La Mancha	0-700	73,94	37,64	28,35	308
		700-1400	140,17	71,35	35,15	70
		>1400	148,44	75,56	27,21	22
	Castilla y León	0-700	102,03	51,93	42,76	497
		700-1400	137,34	69,91	39,13	294
		>1400	154,62	78,70	35,75	139
	Cataluña	0-700	76,71	39,04	28,18	722
		700-1400	116,89	59,50	29,95	518
		>1400	145,29	73,95	25,55	149
Extremadu ra	0-700	114,91	58,49	48,42	3	
	700-1400	120,40	61,29	34,35	2	
Galicia	0-700	69,67	35,46	28,44	42	
	700-1400	126,05	64,16	32,97	55	
	>1400	163,38	83,16	31,34	32	
La Rioja	0-700	100,14	50,97	38,86	74	
	700-1400	182,94	93,12	42,57	67	
	>1400	198,68	101,13	34,05	26	
Madrid	0-700	121,79	61,99	40,05	125	
	700-1400	163,14	83,04	34,57	60	
	>1400	199,73	101,66	38,76	27	
Navarra	0-700	93,32	47,50	37,40	285	

Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas	
<i>Pinus uncinata</i>		700-1400	159,24	81,05	43,50	148	
		>1400	180,85	92,05	35,89	35	
	País Vasco	0-700	99,31	50,55	32,88	101	
		700-1400	141,32	71,93	39,51	50	
		>1400	130,09	66,21	34,08	8	
	Andalucía	0-800	27,56	14,03	9,89	3	
		>1600	76,19	38,78	24,39	2	
	Aragón	0-800	132,32	67,35	45,09	46	
		800-1600	253,27	128,91	51,24	27	
		>1600	272,71	138,81	84,05	8	
	Castilla y León	0-800	33,30	16,95	18,62	4	
		800-1600	103,28	52,57	11,61	3	
	Cataluña	0-800	152,12	77,43	48,31	286	
		800-1600	223,38	113,70	47,69	137	
>1600		283,02	144,05	51,53	38		
La Rioja	0-800	27,48	13,99	2,56	3		
Madrid	0-800	26,62	13,55	13,55	4		
Navarra	0-800	136,13	69,29	29,35	9		
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Cataluña	0-750	172,87	86,43	36,90	8	
		750-1500	214,71	107,36	39,27	5	
	La Rioja	750-1500	232,35	116,17	53,88	9	
	País Vasco	0-750	119,83	59,92	51,75	17	
		750-1500	120,39	60,20	47,11	9	
Frondosas perennes	<i>Acacia dealbata</i>	Galicia	300-600	27,63	13,81	3,05	2
		Andalucía	0-100	23,58	11,79	12,56	14
	100-200		33,72	16,86	13,24	4	
	>200		27,61	13,81	5,22	4	
	C. Valenciana	0-100	32,24	16,12	12,07	50	
		100-200	41,38	20,69	13,46	20	
		>200	68,71	34,36	23,63	16	
	Islas Baleares	0-100	32,82	16,41	14,31	12	
		>200	79,26	39,63	21,80	3	
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Andalucía	0-400	84,46	40,12	49,62	96
			400-800	120,94	57,45	45,24	28
			>800	230,85	109,66	63,30	20

Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas	
C.	Valenciana	0-400	27,39	13,01	14,41	2	
	Castilla La Mancha	0-400	183,12	86,98	119,95	2	
		400-800	98,41	46,74	6,54	3	
		>800	190,64	90,55	39,71	4	
	Castilla y León	0-400	63,38	30,10	18,84	3	
		400-800	97,44	46,28	11,08	3	
	Cataluña	0-400	49,28	23,41	12,36	2	
		400-800	46,08	21,89	4,49	3	
		>800	97,20	46,17	10,42	2	
	Extremadu ra	0-400	39,90	18,95	14,51	149	
		400-800	69,67	33,09	16,43	108	
		>800	112,30	53,34	27,40	26	
	Galicia	0-400	45,47	21,60	6,26	2	
	<i>Eucalyptus globulus</i>	Andalucía	0-700	32,86	15,61	13,74	109
			700-1400	101,22	48,08	23,00	19
Asturias		0-700	58,46	27,77	28,62	70	
		700-1400	172,43	81,90	43,04	52	
		>1400	247,51	117,57	34,44	36	
Cantabria		0-700	67,12	31,88	33,89	75	
		700-1400	163,31	77,57	33,06	50	
		>1400	237,49	112,81	40,16	72	
Extremadu ra		0-700	50,06	23,78	18,01	9	
		700-1400	117,69	55,90	21,99	2	
Galicia		0-700	93,76	44,54	36,90	350	
		700-1400	206,46	98,07	48,89	162	
		>1400	266,50	126,59	55,74	57	
País Vasco		0-700	106,79	50,72	41,65	17	
		700-1400	254,20	120,74	52,29	19	
	>1400	305,21	144,97	50,12	6		
<i>Eucalyptus gomphocephal us</i>	Andalucía	0-900	51,01	24,23	15,50	2	
	Galicia	0-900	326,15	154,92	59,65	3	
<i>Eucalyptus nitens</i>	País Vasco	0-900	132,53	62,95	37,90	3	
<i>Olea europaea</i>	Andalucía	0-300	26,63	12,60	12,31	192	
		300-600	42,17	19,95	9,49	41	

Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
		>600	63,54	30,05	10,40	25
	Aragón	0-300	12,67	5,99	4,92	3
	C.					
	Valenciana	0-300	14,01	6,62	4,70	20
		300-600	41,21	19,49	7,25	8
		>600	50,30	23,79	13,01	4
	Castilla La Mancha					
		0-300	7,93	3,75	2,41	4
		300-600	27,42	12,97	6,16	2
	Cataluña					
		0-300	17,01	8,05	4,42	17
		300-600	33,67	15,92	4,17	3
		>600	66,87	31,63	7,51	2
	Extremadu ra					
		0-300	22,55	10,66	7,69	10
	Islas					
	Baleares					
		0-300	38,28	18,11	30,49	61
		300-600	43,69	20,67	18,83	18
		>600	54,22	25,65	10,91	18
<i>Phillyrea latifolia</i>						
	Andalucía					
		0-600	17,84	8,92	8,16	8
		600-1200	56,36	28,18	13,70	2
	Islas					
	Baleares					
		0-600	21,78	10,89	3,23	3
<i>Quercus ilex</i>						
	Andalucía					
		0-400	53,47	25,40	20,25	2447
		400-800	53,34	25,34	18,24	199
		>800	83,64	39,73	18,74	117
	Aragón					
		0-400	20,45	9,72	12,99	189
		400-800	41,83	19,87	14,68	98
		>800	77,44	36,78	22,20	123
	Asturias					
		0-400	18,81	8,94	7,68	9
		>800	97,68	46,40	17,03	5
	C.					
	Valenciana					
		0-400	23,13	10,99	11,30	139
		400-800	48,81	23,19	19,07	81
		>800	85,18	40,46	22,73	124
	Cantabria					
		0-400	49,19	23,37	24,93	39
		400-800	77,21	36,67	23,57	19
		>800	145,57	69,15	46,67	34
	Castilla La Mancha					
		0-400	34,72	16,49	15,53	1278
		400-800	41,49	19,71	14,34	263
		>800	75,58	35,90	22,57	210

Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
<i>Quercus petraea</i>	Castilla y León	0-400	62,48	29,68	27,90	1265
		400-800	57,81	27,46	20,95	179
		>800	86,50	41,09	21,30	176
	Cataluña	0-400	27,22	12,93	14,11	238
		400-800	61,26	29,10	19,24	290
		>800	116,08	55,14	26,13	687
	Extremadu ra	0-400	65,07	30,91	24,18	1832
		400-800	62,39	29,63	27,02	38
		>800	88,86	42,21	23,83	9
	Galicia	0-400	20,92	9,94	7,20	5
		400-800	36,18	17,19	8,90	4
	Islas Baleares	0-400	64,08	30,44	25,88	48
		400-800	102,27	48,58	24,89	49
		>800	139,00	66,03	25,07	49
	La Rioja	0-400	52,81	25,08	42,37	40
		400-800	94,30	44,79	39,16	31
		>800	119,22	56,63	29,80	44
	Madrid	0-400	33,35	15,84	12,47	500
		400-800	48,98	23,27	13,88	89
		>800	79,66	37,84	16,08	42
	Murcia	0-400	19,55	9,29	8,97	9
		400-800	55,41	26,32	12,39	7
		>800	74,95	35,60	12,09	12
	Navarra	0-400	40,27	19,13	22,06	71
400-800		70,11	33,30	23,32	46	
>800		124,12	58,96	32,39	113	
País Vasco	0-400	54,97	26,11	28,86	39	
	400-800	88,97	42,26	30,65	36	
	>800	150,97	71,71	39,25	78	
Aragón	0-600	157,95	78,98	50,30	2	
	Asturias	0-600	120,18	60,09	77,62	69
		600-1200	229,08	114,54	65,14	6
	Cantabria	0-600	176,13	88,07	71,69	36
		600-1200	176,36	88,18	51,92	11
		>1200	193,18	96,59	40,55	9
	Castilla y León	0-600	196,41	98,20	77,90	62
		600-1200	299,88	149,94	93,14	33

Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas	
<i>Quercus suber</i>	Cataluña	>1200	231,14	115,57	70,28	21	
		0-600	78,14	39,07	32,24	102	
		600-1200	113,33	56,67	19,92	51	
	La Rioja	>1200	134,80	67,40	24,92	32	
		0-600	61,88	30,94	10,69	2	
		Navarra	0-600	161,76	80,88	54,67	63
	600-1200		166,88	83,44	26,95	18	
	>1200		170,76	85,38	25,34	7	
	País Vasco	0-600	174,14	87,07	55,05	8	
	Andalucía	0-250	59,81	28,23	21,39	690	
		250-500	85,62	40,41	22,68	137	
		>500	102,10	48,19	23,64	53	
	C. Valenciana	0-250	42,42	20,02	21,27	20	
		250-500	55,35	26,12	15,34	13	
		>500	80,57	38,03	28,01	16	
	Cantabria	0-250	11,88	5,61	5,15	4	
	Castilla La Mancha	0-250	36,18	17,08	19,31	66	
		250-500	36,17	17,07	9,22	7	
		>500	51,19	24,16	10,61	4	
	Castilla y León	0-250	30,69	14,49	14,29	22	
		250-500	61,60	29,08	20,65	3	
Cataluña	0-250	27,85	13,15	11,28	77		
	250-500	59,49	28,08	15,57	114		
	>500	71,27	33,64	16,17	187		
Extremadu ra	0-250	50,47	23,82	16,91	320		
	250-500	75,18	35,49	27,28	12		
	>500	63,80	30,11	12,78	5		
Galicia	0-250	32,81	15,49	16,15	19		
	250-500	44,45	20,98	10,82	5		
	>500	96,04	45,33	16,79	3		
Madrid	0-250	26,96	12,73	6,99	3		
Fronosas caducifolia	<i>Alnus glutinosa</i>	Andalucía	0-600	106,96	53,48	32,01	7
		Asturias	0-600	37,23	18,61	18,99	13
	600-1200		97,40	48,70	28,75	3	
	Cantabria	0-600	30,88	15,44	9,17	7	
		600-1200	196,71	98,36	6,69	3	

Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas	
	Castilla La Mancha	0-600	121,65	60,83	14,47	5	
		600-1200	214,56	107,28	29,04	2	
	Castilla y León	0-600	62,70	31,35	29,97	14	
		600-1200	141,70	70,85	13,33	6	
		>1200	199,80	99,90	21,48	7	
	Cataluña	0-600	52,68	26,34	21,12	5	
		600-1200	79,27	39,64	13,05	3	
		>1200	172,66	86,33	1,62	2	
	Extremadura	0-600	55,88	27,94	32,92	2	
	Galicia	0-600	65,74	32,87	31,97	13	
		600-1200	136,96	68,48	24,60	4	
		>1200	206,37	103,18	40,24	3	
	Madrid	0-600	26,71	13,35	2,74	2	
	Navarra	0-600	51,24	25,62	11,27	3	
		600-1200	107,40	53,70	0,89	2	
	País Vasco	0-600	83,00	41,50	19,95	7	
		600-1200	143,85	71,93	36,44	3	
		>1200	136,51	68,25	36,72	5	
<i>Betula alba</i>	Aragón	0-600	31,68	15,37	8,35	3	
		600-1200	112,25	54,44	30,73	2	
	Asturias	0-600	40,57	19,68	22,55	42	
		600-1200	107,48	52,13	18,29	12	
		>1200	118,71	57,57	28,74	7	
	Cantabria	0-600	20,39	9,89	9,19	12	
		600-1200	70,46	34,17	12,08	3	
	Castilla y León	0-600	54,10	26,24	36,64	12	
		600-1200	55,14	26,74	5,48	2	
	Galicia	0-600	51,19	24,83	20,50	29	
		600-1200	102,99	49,95	18,36	14	
		>1200	121,44	58,90	20,82	17	
	País Vasco	0-600	28,78	13,96	12,67	6	
	<i>Betula pendula</i>	Cataluña	0-800	48,00	23,28	13,29	12
			800-1600	94,87	46,01	13,26	6
<i>Betula spp.</i>	Cantabria	0-700	23,93	11,61	14,34	2	
	Cataluña	0-700	47,10	22,84	18,50	4	
		700-1400	82,46	39,99	44,80	3	
	Galicia	0-700	42,69	20,71	24,37	2	

Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
<i>Castanea sativa</i>	País Vasco	0-700	16,42	7,96	6,26	2
			232,41	112,49	64,21	63
	Andalucía	0-500	125,33	60,66	50,94	4
		500-1000				
	Asturias	0-500	145,82	70,58	100,47	157
		500-1000	219,26	106,12	79,93	65
		>1000	262,14	126,87	70,92	67
	Cantabria	0-500	126,20	61,08	52,34	22
		500-1000	226,39	109,57	46,36	9
	Castilla La Mancha	0-500	244,90	118,53	25,61	2
	Castilla y León	0-500	168,13	81,38	73,80	93
		500-1000	162,50	78,65	47,45	7
		>1000	227,35	110,04	70,95	10
	Cataluña	0-500	38,26	18,52	15,19	7
		500-1000	88,82	42,99	26,34	15
		>1000	189,71	91,82	36,22	37
	Extremadura	0-500	104,39	50,53	31,22	20
		500-1000	199,93	96,76	72,32	6
		>1000	161,74	78,28	34,94	7
	Galicia	0-500	340,92	165,01	148,06	140
500-1000		288,05	139,42	83,51	20	
>1000		300,36	145,38	84,27	14	
Navarra	0-500	225,82	109,30	93,33	26	
	500-1000	249,88	120,94	39,91	7	
	>1000	319,96	154,86	50,10	4	
País Vasco	0-500	182,60	88,38	69,19	11	
	500-1000	271,41	131,36	73,01	10	
	>1000	200,22	96,91	70,98	8	
<i>Corylus avellana</i>			18,13	9,07	4,74	9
	Asturias	0-900	65,03	32,51	13,50	5
		900-1800				
	Cantabria	0-900	27,61	13,80	9,61	12
		900-1800	92,94	46,47	13,25	4
	Cataluña	0-900	22,18	11,09	4,15	2
		900-1800	65,91	32,95	2,52	3
		>1800	128,89	64,44	9,90	3
	País Vasco	900-1800	83,39	41,69	9,57	2
<i>Fagus sylvatica</i>			204,91	99,59	75,49	20
	Aragón	0-550				

Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
		550-1100	261,09	126,89	70,41	11
		>1100	367,79	178,74	74,49	9
	Asturias	0-550	247,34	120,21	94,50	190
		550-1100	381,20	185,26	88,96	48
		>1100	339,58	165,04	57,51	15
	Cantabria	0-550	312,98	152,11	88,03	145
		550-1100	345,90	168,11	81,87	53
		>1100	388,89	189,00	77,21	17
	Castilla y León	0-550	226,44	110,05	72,71	122
		550-1100	352,72	171,42	71,54	70
		>1100	397,36	193,12	68,95	76
	Cataluña	0-550	250,23	121,61	95,04	79
		550-1100	280,16	136,16	74,86	70
		>1100	291,66	141,75	53,77	49
	La Rioja	0-550	268,34	130,41	77,37	96
		550-1100	338,83	164,67	76,93	57
		>1100	344,33	167,34	56,98	49
	Navarra	0-550	329,13	159,96	84,22	669
		550-1100	362,36	176,11	75,72	234
		>1100	352,22	171,18	76,18	89
	País Vasco	0-550	334,33	162,48	102,70	298
		550-1100	382,27	185,78	77,05	79
		>1100	351,59	170,87	58,78	39
<i>Fraxinus angustifolia</i>	Andalucía	0-200	43,01	20,56	17,26	25
		200-400	67,37	32,20	32,66	4
		>400	150,26	71,83	43,88	5
	Aragón	0-200	7,69	3,68	2,06	3
		200-400	30,43	14,55	12,49	3
	Asturias	0-200	19,60	9,37	4,94	5
	Castilla La Mancha	0-200	126,81	60,62	54,57	24
		200-400	52,56	25,12	14,24	5
		>400	108,79	52,00	28,18	3
	Castilla y León	0-200	106,28	50,80	67,49	24
		200-400	209,41	100,10	117,11	11
		>400	205,98	98,46	58,81	4
	Cataluña	200-400	26,83	12,83	2,10	2
		>400	135,98	65,00	21,77	4
	La Rioja	0-200	43,75	20,91	28,51	3

Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas	
<i>Fraxinus excelsior</i>	Madrid	200-400	33,33	15,93	8,26	2	
		0-200	98,96	47,30	51,89	54	
		200-400	173,02	82,71	108,35	12	
		>400	173,68	83,02	30,32	8	
	País Vasco	>400	116,17	55,53	42,51	2	
	<i>Fraxinus excelsior</i>	Aragón	0-200	36,17	17,29	15,74	5
		Asturias	0-200	21,06	10,07	6,45	36
			200-400	35,38	16,91	15,80	6
			>400	78,56	37,55	8,75	2
		Cantabria	0-200	65,06	31,10	33,73	9
		Castilla y León	0-200	21,09	10,08	8,73	3
			Cataluña	0-200	28,94	13,83	12,37
		200-400		54,61	26,10	15,42	10
		>400		86,49	41,34	14,87	8
		La Rioja	>400	82,50	39,43	6,48	2
		Navarra	0-200	37,08	17,72	18,70	6
			>400	94,57	45,20	18,07	4
		País Vasco	0-200	33,72	16,12	13,01	7
			200-400	90,08	43,06	5,20	2
			>400	82,92	39,63	0,74	2
<i>Populus alba</i>		Andalucía	0-400	62,03	31,02	27,00	18
			400-800	129,71	64,86	36,62	8
			>800	158,35	79,17	18,59	2
		Aragón	0-400	77,90	38,95	26,51	11
			400-800	190,88	95,44	55,59	3
	C. Valenciana	0-400	61,16	30,58	1,93	2	
	Castilla La Mancha	0-400	24,83	12,41	6,11	6	
		400-800	190,62	95,31	89,32	2	
		>800	175,65	87,83	31,65	4	
	Castilla y León	0-400	77,31	38,66	53,74	4	
		400-800	136,10	68,05	22,90	5	
	Cataluña	0-400	52,90	26,45	15,20	4	
		Madrid	0-400	84,44	42,22	13,29	2
	400-800		140,81	70,41	26,91	3	
	<i>Populus nigra</i>	Andalucía	0-400	68,12	34,06	26,00	11
			400-800	135,37	67,68	48,01	2
		Aragón	0-400	133,84	66,92	89,18	62

Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
		400-800	100,94	50,47	42,69	20
		>800	156,57	78,29	31,06	5
	C. Valenciana	0-400	45,81	22,90	18,71	9
		400-800	83,92	41,96	46,83	2
	Castilla La Mancha	0-400	84,53	42,27	37,50	27
		400-800	129,81	64,91	45,67	14
		>800	243,07	121,54	56,49	10
	Castilla y León	0-400	74,26	37,13	33,03	55
		400-800	148,57	74,29	34,46	23
		>800	209,87	104,94	46,60	14
	Cataluña	0-400	50,84	25,42	19,31	15
		400-800	85,14	42,57	18,44	4
		>800	155,05	77,53	38,96	2
	Galicia	0-400	10,85	5,42	1,05	2
	La Rioja	0-400	91,17	45,58	42,62	15
		400-800	107,13	53,56	40,21	6
	Madrid	0-400	46,21	23,11	1,74	3
		400-800	113,47	56,73	23,13	2
<i>Populus tremula</i>	Aragón	0-700	74,44	37,22	35,08	3
	Castilla La Mancha	0-700	52,95	26,48	29,10	2
	Cataluña	0-700	76,58	38,29	38,56	3
		700-1400	189,73	94,87	71,39	2
		>1400	142,85	71,42	19,35	3
<i>Populus x canadensis</i>	Andalucía	0-400	91,69	45,84	36,75	5
		400-800	108,09	54,04	30,87	23
		>800	169,00	84,50	32,52	4
	Aragón	0-400	133,11	66,56	45,14	93
		400-800	183,23	91,62	52,64	34
	Asturias	0-400	18,67	9,33	3,55	2
	C. Valenciana	0-400	54,77	27,39	22,88	6
		400-800	69,73	34,87	9,36	2
		>800	173,28	86,64	38,59	2
	Castilla La Mancha	0-400	85,01	42,50	37,07	28
		400-800	114,62	57,31	61,45	9
		>800	133,73	66,87	64,28	5

Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
	Castilla y León	0-400	78,39	39,20	33,26	172
		400-800	153,21	76,61	48,77	54
		>800	172,22	86,11	81,98	19
	Cataluña	0-400	44,03	22,01	16,94	20
		400-800	255,57	127,78	33,70	5
	La Rioja	0-400	40,64	20,32	31,05	3
Madrid	0-400	134,22	67,11	11,76	2	
	400-800	104,09	52,05	27,64	2	
<i>Quercus canariensis</i>	Andalucía	0-200	82,96	40,32	26,90	57
		200-400	106,86	51,93	25,52	12
		>400	128,92	62,66	23,05	13
<i>Quercus faginea</i>	Andalucía	0-500	60,77	29,17	29,79	80
		500-1000	121,37	58,26	50,17	6
	Aragón	0-500	21,92	10,52	14,33	109
		500-1000	39,22	18,83	14,61	44
		>1000	68,58	32,92	18,87	44
	C. Valenciana	0-500	20,56	9,87	7,61	14
		500-1000	50,43	24,21	5,63	5
		>1000	63,17	30,32	12,21	9
	Cantabria	0-500	26,96	12,94	16,89	3
	Castilla La Mancha	0-500	16,66	8,00	8,96	192
		500-1000	31,19	14,97	11,65	83
		>1000	50,55	24,27	10,45	49
	Castilla y León	0-500	23,09	11,08	13,78	250
		500-1000	44,28	21,26	19,90	75
		>1000	73,70	35,37	18,19	40
	Cataluña	0-500	20,08	9,64	13,89	64
		500-1000	39,21	18,82	8,62	26
		>1000	61,32	29,43	11,51	19
	Extremadura	0-500	14,29	6,86	3,47	10
		500-1000	12,41	5,96	1,80	3
	La Rioja	0-500	54,27	26,05	31,78	34
500-1000		57,61	27,65	26,18	7	
>1000		64,62	31,02	12,98	13	
Madrid	0-500	17,27	8,29	6,76	8	
Navarra	0-500	73,46	35,26	44,78	112	

Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas	
<i>Quercus pubescens</i> ( <i>Q. Humilis</i> )		500-1000	78,59	37,72	27,78	36	
		>1000	108,00	51,84	37,37	32	
	País Vasco	0-500	51,65	24,79	24,04	96	
		500-1000	77,28	37,09	20,69	48	
		>1000	107,44	51,57	25,71	43	
	Aragón	0-600	81,54	40,77	36,83	38	
		600-1200	177,30	88,65	38,71	17	
		>1200	144,55	72,28	37,84	4	
		Cataluña	0-600	57,16	28,58	30,91	177
			600-1200	97,64	48,82	27,78	107
>1200			131,19	65,59	31,57	50	
Navarra		0-600	141,52	70,76	47,23	21	
		600-1200	220,84	110,42	55,95	11	
		>1200	177,03	88,51	36,58	6	
<i>Quercus pyrenaica</i>	Andalucía	0-600	60,15	28,57	24,94	11	
		600-1200	111,51	52,97	40,91	6	
	Aragón	0-600	14,37	6,83	7,76	7	
		600-1200	28,86	13,71	6,87	3	
	Asturias	0-600	55,28	26,26	41,53	48	
		600-1200	119,04	56,54	27,29	8	
		>1200	146,41	69,54	34,51	4	
	Cantabria	0-600	89,80	42,66	54,97	128	
		600-1200	122,00	57,95	40,48	39	
		>1200	107,59	51,11	23,00	24	
	Castilla La Mancha	0-600	41,15	19,55	25,32	75	
		600-1200	78,60	37,33	22,62	29	
		>1200	111,67	53,04	26,41	20	
	Castilla y León	0-600	54,40	25,84	35,45	900	
		600-1200	86,11	40,90	31,82	261	
		>1200	119,01	56,53	28,41	211	
	Extremadu ra	0-600	55,93	26,57	26,56	178	
		600-1200	82,96	39,41	26,96	41	
		>1200	110,55	52,51	23,22	37	
	Galicia	0-600	91,20	43,32	51,57	114	
600-1200		96,06	45,63	26,23	36		
>1200		140,11	66,55	25,03	16		

Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas	
	La Rioja	0-600	84,67	40,22	43,01	90	
		600-1200	115,57	54,90	48,21	60	
		>1200	122,31	58,10	24,14	70	
	Madrid	0-600	42,42	20,15	25,15	88	
		600-1200	51,45	24,44	13,37	31	
		>1200	116,69	55,43	21,22	23	
	Navarra	0-600	74,49	35,38	22,84	19	
		600-1200	100,06	47,53	39,71	7	
	País Vasco	0-600	129,69	61,60	43,48	41	
		600-1200	183,10	86,97	36,77	26	
		>1200	178,00	84,55	24,99	26	
	<i>Quercus robur</i>	Asturias		73,74	35,69	40,99	99
			0-350				
			350-700	155,35	75,19	28,13	17
		Cantabria	>700	192,15	93,00	47,46	15
0-350			157,85	76,40	71,09	152	
350-700			235,80	114,13	62,33	36	
Castilla y León		>700	203,24	98,37	49,49	30	
			84,27	40,79	25,00	9	
		0-350					
Cataluña		350-700	204,20	98,83	83,65	3	
		>700	307,09	148,63	130,49	5	
		0-350	33,02	15,98	8,37	3	
Galicia		350-700	66,50	32,19	16,02	2	
		>700	105,52	51,07	13,83	6	
		0-350	139,28	67,41	62,50	359	
Navarra	350-700	205,61	99,52	56,05	130		
	>700	186,62	90,32	42,71	89		
	0-350	249,12	120,58	78,73	71		
País Vasco	350-700	212,94	103,06	66,66	13		
	>700	176,69	85,52	26,79	7		
	0-350	169,87	82,22	72,95	65		
<i>Quercus rubra</i>	Navarra	350-700	200,29	96,94	38,87	31	
		>700	183,57	88,85	47,28	22	
			186,42	93,21	51,29	7	
	País Vasco	0-400	139,18	69,59	4,03	2	
		400-800	178,69	89,35	38,72	2	
		>800	222,34	111,17	68,32	10	
		0-400	175,97	87,98	49,65	4	
		400-800	206,90	103,45	15,50	3	
		>800					

Especies	CCAA	Rango Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio Contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
<i>Robinia pseudacacia</i>	Cantabria	0-550	73,19	36,60	41,16	2
	Cataluña	0-550	41,77	20,88	20,62	6
	País Vasco	0-550	69,20	34,60	13,93	6
550-1100		128,42	64,21	26,48	5	
<i>Salix alba</i>	Andalucía	0-200	27,62	13,81	21,11	4
	Aragón	0-200	30,74	15,37	13,60	3
		200-400	59,57	29,79	31,86	2
		>400	92,45	46,22	38,69	3
	Castilla y León	0-200	56,82	28,41	30,30	13
		200-400	87,23	43,61	27,10	3
	La Rioja	0-200	21,23	10,61	6,05	2
	Madrid	0-200	15,62	7,81	1,59	3
<i>Salix atrocinerea</i>	Asturias	0-400	14,47	7,23	4,11	6
	Cantabria	0-400	14,02	7,01	4,97	10
		400-800	54,63	27,32	25,43	3
	Castilla La Mancha	400-800	25,04	12,52	5,81	2
	Castilla y León	0-400	4,54	2,27	0,83	3
		>800	125,09	62,55	46,21	2
	Galicia	400-800	49,69	24,85	7,96	2
	Madrid	0-400	9,23	4,62	4,21	3
	<i>Salix caprea</i>	Asturias	0-350	9,81	4,90	6,51
Castilla y León		0-350	3,04	1,52	0,43	3
		Navarra	0-350	5,91	2,96	1,48
Castilla y León		0-500	48,43	24,22	23,94	2
<i>Salix fragilis</i> <i>Salix spp.</i>	Andalucía	0-200	13,66	6,83	6,58	6
	Aragón	0-200	42,53	21,26	13,43	4
		>400	51,74	25,87	17,76	2
	Castilla y León	0-200	62,68	31,34	47,26	8
		200-400	53,17	26,59	2,41	2
	Cataluña	0-200	25,23	12,61	12,90	2

**Anexo 12. Valores promedio de referencia de biomasa viva total (t<sub>ms</sub>/ha) y contenido total de carbono por hectárea (t C / ha) por especie forestal y comunidad autónoma.** CCAA: Comunidad Autónoma, Promedio de Densidad (pies/ ha): promedio del número de árboles por hectárea, Promedio de Biomasa total (t<sub>ms</sub>/ha): promedio de biomasa viva total (aérea y subterránea en toneladas de materia seca por hectárea) calculado por especie forestal y comunidad autónoma a partir de los datos IFN3. Promedio en Contenido en Carbono (t C/ ha): promedio del contenido de carbono almacenado (toneladas de carbono por hectárea) por especie y comunidad autónoma. Desv. estándar: desviación estándar, N<sup>o</sup> parcelas: número de parcelas.

Tipo de vegetación	Especies	CCAA	Promedio de Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (t <sub>ms</sub> /ha)	Promedio contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	N <sup>o</sup> parcelas
Coníferas	<i>Abies alba</i>	Aragón	920,19	202,75	102,59	40,72	18
		Cataluña	714,07	271,93	137,60	77,80	83
		Navarra	707,82	243,31	123,12	64,03	16
	<i>Abies pinsapo</i>	Andalucía	309,84	104,86	52,43	35,65	35
	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	País Vasco	828,51	183,16	91,58	44,87	32
		Castilla La Mancha	95,49	16,52	8,26	5,68	2
	<i>Juniperus communis</i>	Castilla y León	180,38	40,14	20,07	17,07	3
		Cataluña	137,93	22,97	11,49	9,94	3
		Madrid	381,97	51,54	25,77	19,09	4
		Andalucía	233,03	25,01	12,50	6,67	5
	<i>Juniperus oxycedrus</i>	Aragón	248,05	27,01	13,51	11,82	15
		C. Valenciana	229,89	30,39	15,20	16,72	10
		Castilla La Mancha	287,48	46,50	23,25	20,70	35
		Castilla y León	319,57	51,65	25,83	25,17	39
		Cataluña	381,97	49,84	24,92	11,40	3
		Extremadura	491,61	93,00	46,50	19,55	2
		Madrid	235,28	41,68	20,84	20,50	40
		Navarra	257,48	33,18	16,59	16,80	5
		<i>Juniperus phoenicea</i>	Andalucía	404,37	26,53	13,27	14,71
	Aragón		315,28	12,37	6,18	6,81	7
	Castilla La Mancha		206,90	8,29	4,15	0,50	2
	Cataluña		381,97	15,81	7,91	6,15	3
	Islas Baleares		204,23	13,04	6,52	5,34	14
Madrid	61,89		11,28	5,64	2,65	2	
<i>Juniperus thurifera</i>	Aragón		283,94	25,04	11,90	10,42	144

Tipo de vegetación	Especies	CCAA	Promedio de Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (tms/ha)	Promedio contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
		C. Valenciana	325,29	26,26	12,47	8,86	19
		Castilla La Mancha	212,68	23,59	11,20	9,02	300
		Castilla y León	323,13	25,55	12,13	8,93	144
		Murcia	87,76	12,98	6,17	3,52	3
	<i>Larix decidua</i>	Navarra	683,31	134,33	67,17	10,94	5
		País Vasco	315,15	133,46	66,73	46,14	3
	<i>Larix spp.</i>	Navarra	649,54	143,80	71,90	35,06	13
		País Vasco	440,76	161,62	80,81	22,70	43
	<i>Pinus halepensis</i>	Andalucía	358,27	39,61	19,77	14,82	1172
		Aragón	466,21	37,48	18,70	14,90	997
		C. Valenciana	328,46	32,46	16,20	13,47	2298
		Castilla La Mancha	313,81	31,40	15,67	12,14	1090
		Castilla y León	542,47	32,86	16,40	13,04	66
		Cataluña	502,98	43,67	21,79	16,06	1725
		Islas Baleares	301,39	43,22	21,57	14,86	671
		La Rioja	979,02	54,14	27,02	19,25	35
		Madrid	412,54	30,76	15,35	12,47	49
		Murcia	315,40	27,18	13,56	10,53	967
		Navarra	610,27	41,23	20,57	14,55	83
		País Vasco	706,03	48,64	24,27	20,93	3
	<i>Pinus nigra</i>	Andalucía	524,58	85,24	43,39	32,00	523
		Aragón	685,90	64,31	32,74	25,35	618
		C. Valenciana	544,21	57,41	29,22	22,83	262
		Cantabria	402,49	50,39	25,65	39,87	5
		Castilla La Mancha	466,59	64,30	32,73	27,70	1284
		Castilla y León	906,01	91,13	46,38	27,55	230
		Cataluña	786,45	65,64	33,41	22,98	931
		La Rioja	919,69	79,27	40,35	35,29	74
		Madrid	638,66	69,49	35,37	30,13	14
		Murcia	424,93	34,61	17,62	16,48	76
		Navarra	1238,87	111,60	56,81	33,55	103
		País Vasco	644,03	145,86	74,24	45,50	67
	<i>Pinus pinaster</i>	Andalucía	419,84	59,70	30,51	23,61	657
		Aragón	593,24	83,50	42,67	26,24	170
		Asturias	429,47	69,22	35,37	37,09	74
		C. Valenciana	503,97	54,53	27,86	26,44	119
		Cantabria	721,29	119,69	61,16	76,31	2
		Castilla La Mancha	522,60	76,50	39,09	25,84	1058
		Castilla y León	522,58	94,05	48,06	33,08	1099

Tipo de vegetación	Especies	CCAA	Promedio de Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (tms/ha)	Promedio contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
		Cataluña	782,70	72,87	37,24	24,02	84
		Extremadura	603,33	69,49	35,51	28,16	472
		Galicia	432,93	84,09	42,97	31,86	1154
		La Rioja	927,81	69,54	35,54	15,84	6
		Madrid	456,37	99,73	50,96	39,15	107
		Murcia	435,28	39,57	20,22	11,98	60
		País Vasco	478,88	99,74	50,96	32,46	36
	<i>Pinus pinea</i>	Andalucía	302,23	73,06	37,11	26,71	829
		Aragón	407,78	80,39	40,84	33,84	7
		C. Valenciana	195,93	26,07	13,25	11,62	12
		Castilla La Mancha	372,56	75,69	38,45	29,01	195
		Castilla y León	250,64	90,69	46,07	27,87	547
		Cataluña	481,60	95,43	48,48	35,75	284
		Extremadura	493,72	82,32	41,82	32,44	144
		Madrid	196,91	85,05	43,21	26,95	136
	<i>Pinus radiata</i>	Andalucía	326,04	87,85	43,66	56,83	8
		Asturias	479,25	111,31	55,32	56,79	54
		Cantabria	533,03	165,30	82,15	53,27	83
		Castilla y León	636,14	113,93	56,62	43,26	24
		Cataluña	660,98	139,60	69,38	37,61	9
		Galicia	655,50	145,09	72,11	50,81	144
		Navarra	477,66	149,91	74,51	55,00	23
		País Vasco	475,78	206,58	102,67	59,61	699
	<i>Pinus sylvestris</i>	Andalucía	803,25	74,85	38,10	24,80	152
		Aragón	678,39	97,63	49,70	36,96	1191
		Asturias	656,72	106,45	54,18	47,72	20
		C. Valenciana	538,33	69,39	35,32	26,72	36
		Cantabria	997,91	90,35	45,99	38,93	46
		Castilla La Mancha	519,71	89,63	45,62	32,95	400
		Castilla y León	798,17	121,05	61,62	42,00	930
		Cataluña	774,70	99,05	50,42	31,20	1389
		Extremadura	791,76	117,11	59,61	38,34	5
		Galicia	1075,87	116,96	59,53	35,98	129
		La Rioja	879,62	148,70	75,69	45,34	167
		Madrid	723,85	143,42	73,00	40,83	212
		Navarra	676,84	120,71	61,44	43,02	468
		País Vasco	617,62	114,07	58,06	36,33	159
	<i>Pinus uncinata</i>	Andalucía	1134,60	47,01	23,93	19,53	5
		Aragón	834,21	186,50	94,93	60,29	81
		Castilla y León	979,69	89,68	45,64	44,05	8

Tipo de vegetación	Especies	CCAA	Promedio de Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (tms/ha)	Promedio contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
		Cataluña	777,34	184,09	93,70	53,16	461
		La Rioja	1044,06	86,84	44,20	42,22	5
		Madrid	486,66	38,87	19,79	18,23	5
		Navarra	425,80	135,27	68,85	27,71	10
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Asturias	802,85	111,87	55,93	0,36	2
		Cataluña	784,70	185,32	92,66	36,85	14
		La Rioja	959,09	217,11	108,55	56,23	10
		Navarra	937,76	87,79	43,89	31,53	3
		País Vasco	609,13	121,91	60,95	48,53	27
<b>Frondosas perennes</b>	<i>Acacia dealbata</i>	Galicia	426,57	27,40	13,70	7,54	4
	<i>Ceratonia siliqua</i>	Andalucía	91,89	26,16	13,08	11,43	22
		C. Valenciana	119,29	41,15	20,58	16,45	86
		Islas Baleares	99,61	46,99	23,49	19,88	16
	<i>Cupressus sempervirens</i>	Castilla y León	818,17	43,08	21,54	12,99	3
		Madrid	802,85	49,60	24,80	2,61	2
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Andalucía	380,41	111,89	53,15	55,85	144
		C. Valenciana	74,06	27,39	13,01	14,41	2
		Castilla La Mancha	948,36	158,22	75,16	53,45	9
		Castilla y León	368,08	80,41	38,19	16,42	6
		Cataluña	605,29	61,60	29,26	13,57	7
		Extremadura	426,21	57,91	27,51	19,79	283
		Galicia	791,06	107,30	50,97	51,06	3
	<i>Eucalyptus globulus</i>	Andalucía	358,29	43,01	20,43	19,23	128
		Asturias	915,52	139,04	66,05	50,71	158
		Cantabria	1083,08	153,80	73,06	50,25	197
		Cataluña	551,31	171,33	81,38	60,58	2
		Extremadura	376,18	62,36	29,62	21,83	11
		Galicia	639,60	143,15	68,00	52,55	569
		País Vasco	924,01	201,82	95,86	60,57	42
	<i>Eucalyptus gomphocephalus</i>	Andalucía	265,26	51,01	24,23	15,50	2
		Galicia	869,34	272,71	129,54	54,73	5
	<i>Eucalyptus nitens</i>	País Vasco	1084,52	219,70	104,36	67,00	5
	<i>Olea europaea</i>	Andalucía	252,05	32,68	15,46	12,91	258
		Aragón	294,40	44,01	20,81	26,14	5
		C. Valenciana	281,32	25,34	11,99	9,63	32

Tipo de vegetación	Especies	CCAA	Promedio de Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (tms/ha)	Promedio contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
		Castilla La Mancha	235,20	14,43	6,82	5,81	6
		Cataluña	249,72	23,82	11,27	8,38	22
		Extremadura	129,06	22,53	10,66	7,30	11
		Islas Baleares	297,56	42,25	19,98	25,95	97
	<i>Phillyrea latifolia</i>	Andalucía	474,25	29,29	14,65	12,78	11
		Cataluña	445,63	22,34	11,17	5,50	2
		Islas Baleares	413,80	21,78	10,89	3,23	3
	<i>Quercus ilex</i>	Andalucía	175,81	54,74	26,00	20,25	2763
		Aragón	630,76	42,66	20,26	20,23	410
		Asturias	468,96	46,98	22,32	21,74	14
		C. Valenciana	721,28	51,54	24,48	22,09	344
		Cantabria	819,94	90,60	43,03	39,85	92
		Castilla La Mancha	335,56	40,64	19,30	17,50	1751
		Castilla y León	303,95	64,57	30,67	26,81	1620
		Cataluña	1068,66	85,59	40,65	28,53	1215
		Extremadura	80,30	65,13	30,94	24,23	1879
		Galicia	599,60	39,69	18,85	19,67	10
		Islas Baleares	696,49	102,04	48,47	29,02	146
		La Rioja	790,78	89,40	42,47	39,21	115
		Madrid	267,46	38,64	18,35	14,17	631
		Murcia	764,45	52,26	24,82	15,82	28
		Navarra	870,37	87,43	41,53	32,98	230
		País Vasco	994,50	111,91	53,16	39,97	153
	<i>Quercus petraea</i>	Aragón	518,54	124,12	62,06	46,08	3
		Asturias	200,77	128,89	64,45	77,74	75
		Cantabria	585,90	178,92	89,46	63,32	56
		Castilla y León	657,36	232,13	116,07	83,63	116
		Cataluña	681,28	97,64	48,82	30,21	185
		La Rioja	583,43	137,68	68,84	53,17	4
		Navarra	516,05	163,52	81,76	48,15	88
		País Vasco	442,95	173,67	86,83	53,34	10
	<i>Quercus suber</i>	Andalucía	178,22	66,37	31,33	22,55	880
		C. Valenciana	426,47	58,31	27,52	23,32	49
		Cantabria	313,81	31,86	15,04	21,55	5
		Castilla La Mancha	122,99	36,96	17,44	18,24	77
		Castilla y León	86,47	34,40	16,24	15,42	25
		Cataluña	611,01	58,87	27,79	16,97	378
		Extremadura	94,33	51,55	24,33	17,41	337
		Galicia	218,50	41,99	19,82	17,59	27

Tipo de vegetación	Especies	CCAA	Promedio de Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (tms/ha)	Promedio contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas	
		Madrid	77,38	26,96	12,73	6,99	3	
<b>Frondosas caducifolias</b>	<i>Alnus glutinosa</i>	Andalucía	336,26	106,96	53,48	32,01	7	
		Asturias	351,26	58,13	29,07	30,09	17	
		Cantabria	390,98	80,63	40,32	40,87	10	
		Castilla La Mancha	429,85	148,20	74,10	28,18	7	
		Castilla y León	772,43	115,80	57,90	38,51	27	
		Cataluña	710,21	84,65	42,33	28,48	10	
		Extremadura	579,37	113,42	56,71	55,00	3	
		Galicia	548,97	101,08	50,54	40,38	20	
		Madrid	187,45	26,71	13,35	2,74	2	
		Navarra	459,05	73,70	36,85	17,33	5	
		País Vasco	951,95	113,01	56,50	30,96	15	
		<i>Betula alba</i>	Aragón	488,78	63,91	31,00	27,00	5
			Asturias	473,61	62,70	30,41	27,43	61
	Cantabria		366,37	38,66	18,75	20,79	16	
	Castilla y León		293,25	54,25	26,31	33,74	14	
	Galicia		830,49	83,18	40,34	25,11	60	
	País Vasco		250,97	28,78	13,96	12,67	6	
	<i>Betula pendula</i>	Cataluña	735,19	65,94	31,98	17,19	19	
	<i>Betula spp.</i>	Cantabria	123,79	23,93	11,61	14,34	2	
		Cataluña	819,40	71,77	34,81	31,02	8	
		Galicia	680,99	79,23	38,43	35,20	3	
		País Vasco	890,61	45,40	22,02	24,75	3	
	<i>Castanea sativa</i>	Andalucía	177,84	226,02	109,39	64,37	67	
		Asturias	616,22	189,31	91,62	92,83	289	
		Cantabria	360,85	155,28	75,16	54,70	31	
		Castilla La Mancha	404,37	227,92	110,31	23,03	3	
		Castilla y León	278,23	173,16	83,81	72,16	110	
		Cataluña	1347,47	146,09	70,71	42,63	59	
		Extremadura	567,15	133,93	64,82	44,54	33	
		Galicia	345,79	331,58	160,49	137,84	174	
		Navarra	406,26	240,55	116,43	82,03	37	
		País Vasco	734,68	218,09	105,55	71,12	29	
		<i>Corylus avellana</i>	Asturias	630,92	34,88	17,44	14,35	14
	Cantabria		674,73	48,75	24,37	19,87	17	
	Cataluña		1514,38	78,59	39,30	23,41	8	
	Navarra		1333,22	79,49	39,74	31,96	3	
	País Vasco		1070,98	67,31	33,66	15,48	3	

Tipo de vegetación	Especies	CCAA	Promedio de Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (tms/ha)	Promedio contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
	<i>Fagus sylvatica</i>	Aragón	757,37	257,01	124,91	78,64	40
		Asturias	367,11	278,21	135,21	95,17	253
		Cantabria	477,07	327,10	158,97	86,10	215
		Castilla y León	809,35	307,89	149,64	80,21	268
		Cataluña	800,53	271,06	131,74	79,48	198
		La Rioja	739,56	306,66	149,04	74,63	202
		Navarra	491,99	339,04	164,77	81,81	992
		País Vasco	484,47	345,05	167,69	95,20	416
	<i>Fraxinus angustifolia</i>	Andalucía	171,02	61,65	29,47	29,66	34
		Aragón	400,89	46,04	22,01	35,32	7
		Asturias	32,85	19,60	9,37	4,94	5
		Cantabria	193,32	56,65	27,08	34,85	2
		Castilla La Mancha	200,56	113,52	54,26	49,56	32
		Castilla y León	184,27	145,59	69,59	84,97	39
		Cataluña	689,89	86,66	41,43	33,32	7
		La Rioja	272,71	63,87	30,53	33,96	6
		Madrid	164,93	119,05	56,90	63,76	74
		País Vasco	756,21	82,61	39,49	40,94	3
	<i>Fraxinus excelsior</i>	Aragón	145,79	38,49	18,40	14,34	6
		Asturias	137,10	25,63	12,25	10,08	44
		Cantabria	157,75	68,51	32,75	32,23	10
		Castilla y León	62,86	21,09	10,08	8,73	3
		Cataluña	285,27	50,03	23,92	17,48	34
		La Rioja	498,54	121,22	57,94	32,38	3
		Navarra	358,61	60,07	28,71	22,46	10
		País Vasco	225,70	52,91	25,29	16,35	11
	<i>Populus alba</i>	Andalucía	323,94	88,25	44,12	33,95	28
		Aragón	300,27	98,74	49,37	39,03	15
		C. Valenciana	159,72	61,16	30,58	1,93	2
		Castilla La Mancha	478,02	102,74	51,37	51,75	12
		Castilla y León	392,87	109,40	54,70	37,55	10
		Cataluña	506,89	109,00	54,50	59,56	6
		Madrid	361,52	118,26	59,13	25,39	5
	<i>Populus nigra</i>	Andalucía	299,27	78,60	39,30	29,06	14
		Aragón	266,15	127,58	63,79	78,41	87
		C. Valenciana	139,44	52,74	26,37	23,64	11
		Castilla La Mancha	439,25	128,05	64,02	52,59	51
		Castilla y León	406,50	113,47	56,74	43,73	92

Tipo de vegetación	Especies	CCAA	Promedio de Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (tms/ha)	Promedio contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
		Cataluña	333,78	67,30	33,65	25,44	21
		Galicia	25,54	10,85	5,42	1,05	2
		La Rioja	307,59	95,73	47,86	41,10	21
		Madrid	354,67	73,11	36,56	21,78	5
		País Vasco	426,32	170,50	85,25	86,54	2
	<i>Populus tremula</i>	Aragón	103,51	74,44	37,22	35,08	3
		Castilla La Mancha	311,24	52,95	26,48	29,10	2
		Cataluña	1129,15	129,72	64,86	42,87	8
	<i>Populus x canadensis</i>	Andalucía	566,47	113,14	56,57	32,81	32
		Aragón	325,91	145,65	72,82	48,42	128
		Asturias	125,56	18,67	9,33	3,55	2
		C. Valenciana	400,90	81,47	40,73	32,57	10
		Castilla La Mancha	405,99	97,15	48,58	46,13	42
		Castilla y León	466,36	102,16	51,08	46,12	245
		Cataluña	220,36	88,12	44,06	47,02	26
		La Rioja	238,73	50,48	25,24	27,19	4
		Madrid	394,82	115,53	57,77	17,28	5
		Navarra	765,08	114,38	57,19	46,06	2
		País Vasco	447,40	52,00	26,00	26,18	2
	<i>Quercus canariensis</i>	Andalucía	196,36	93,74	45,56	27,20	82
	<i>Quercus faginea</i>	Andalucía	120,11	65,00	31,20	32,07	86
		Aragón	617,01	36,20	17,38	17,86	197
		C. Valenciana	860,40	39,59	19,00	12,95	28
		Cantabria	200,00	23,20	11,13	14,26	4
		Castilla La Mancha	522,58	25,51	12,24	11,52	324
		Castilla y León	460,49	32,99	15,84	17,59	365
		Cataluña	521,93	31,83	15,28	14,45	109
		Extremadura	219,81	13,85	6,65	3,12	13
		La Rioja	581,36	57,19	27,45	27,37	54
		Madrid	412,75	21,43	10,29	8,72	9
		Navarra	553,10	80,63	38,70	40,92	180
		País Vasco	702,01	71,06	34,11	25,89	187
	<i>Quercus pubescens (Q. Humilis)</i>	Aragón	497,86	113,41	56,70	42,84	59
		Cataluña	663,12	81,21	40,61	33,01	334
		Navarra	657,03	170,08	85,04	50,42	38

Tipo de vegetación	Especies	CCAA	Promedio de Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (tms/ha)	Promedio contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas		
<i>Quercus pyrenaica</i>		Andalucía	462,90	79,26	37,65	31,59	18		
		Aragón	434,66	19,83	9,42	7,65	11		
		Asturias	374,90	69,85	33,18	41,54	60		
		Cantabria	536,06	98,61	46,84	49,51	191		
		Castilla La Mancha	588,09	61,28	29,11	27,83	124		
		Castilla y León	564,68	70,37	33,43	35,64	1372		
		Cataluña	1009,54	75,91	36,06	10,84	3		
		Extremadura	512,79	68,16	32,37	27,75	256		
		Galicia	517,69	96,97	46,06	45,50	166		
		La Rioja	897,38	105,07	49,91	40,35	220		
		Madrid	705,28	56,42	26,80	25,71	142		
		Navarra	466,76	81,37	38,65	28,01	26		
		País Vasco	907,62	158,13	75,11	38,80	93		
		<i>Quercus robur</i>		Asturias	247,02	97,89	47,38	45,30	131
				Cantabria	316,99	176,97	85,65	68,46	218
Castilla y León	505,11			170,97	82,75	88,54	17		
Cataluña	665,94			78,66	38,07	19,75	11		
Galicia	375,17			161,49	78,16	60,01	578		
Navarra	248,13			238,38	115,38	74,66	91		
País Vasco	442,17			180,41	87,32	61,15	118		
Navarra	552,82			176,43	88,21	42,63	11		
País Vasco	361,33			208,70	104,35	56,69	17		
<i>Robinia pseudacacia</i>		Cantabria	429,65	66,15	33,08	29,74	3		
		Cataluña	478,74	62,79	31,39	29,83	8		
		Navarra	838,78	80,65	40,33	40,15	2		
		País Vasco	575,20	107,85	53,93	31,21	12		
<i>Salix alba</i>		Andalucía	227,25	38,75	19,38	19,64	6		
		Aragón	493,01	61,09	30,54	28,81	8		
		Castilla y León	139,72	71,80	35,90	34,38	17		
		La Rioja	7,64	21,23	10,61	6,05	2		
		Madrid	76,63	15,62	7,81	1,59	3		
<i>Salix atrocinerea</i>		Andalucía	403,19	26,43	13,22	8,13	2		
		Aragón	448,18	15,34	7,67	8,28	2		
		Asturias	207,88	16,29	8,15	4,46	7		
		Cantabria	256,67	23,98	11,99	13,82	14		
		Castilla La Mancha	456,76	17,30	8,65	7,86	3		
		Castilla y León	743,83	45,68	22,84	37,07	6		
		Galicia	471,95	42,31	21,16	8,52	3		
		Madrid	182,07	9,23	4,62	4,21	3		

Tipo de vegetación	Especies	CCAA	Promedio de Densidad (pies/ha)	Promedio Biomasa total (tms/ha)	Promedio contenido en Carbono (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
		País Vasco	431,49	45,20	22,60	19,95	2
	<i>Salix caprea</i>	Asturias	130,86	9,81	4,90	6,51	3
		Castilla y León	334,23	12,04	6,02	9,01	4
		Galicia	268,80	22,44	11,22	11,82	2
		Navarra	206,90	5,91	2,96	1,48	2
	<i>Salix fragilis</i>	Andalucía	1192,67	69,01	34,50	44,23	2
		Castilla y León	61,68	48,43	24,22	23,94	2
	<i>Salix spp.</i>	Andalucía	159,49	23,84	11,92	11,14	8
		Aragón	349,53	45,60	22,80	13,30	6
		Cantabria	204,14	28,51	14,26	16,98	2
		Castilla y León	104,26	60,78	30,39	41,73	10
		Cataluña	113,18	25,23	12,61	12,90	2
		País Vasco	680,41	91,20	45,60	54,77	2

**Anexo 13. Valores de referencia de biomasa viva aérea (t<sub>ms</sub>/ha) y contenido total de carbono por hectárea (t C / ha) para formaciones generales de arbustados, matorrales y espartizales.** Extraído de Montero et al. (2020). CF: Factor de conversión de biomasa a carbono.

Formaciones vegetales	Biomasa aérea (t <sub>ms</sub> /ha)	CF	Contenido de C (t C/ha)
Arbustados	13,74	0,499	6,85626
Matorrales	15,46	0,499	7,71454
Espartizales	7,57	0,499	3,77743

**Anexo 14. Valores de referencia de biomasa viva aérea (t<sub>ms</sub>/ha) y contenido total de carbono por hectárea (t C / ha) para agrupaciones de matorrales específicas.** Extraído de Montero et al. (2020). CF: Factor de conversión de biomasa a carbono.

Agrupación	Biomasa aérea (t <sub>ms</sub> /ha)	CF	Contenido de C (t C/ha)
Setos, bardas, orlas	2,74	0,499	1,37
Bujedos ( <i>Buxus sempervirens</i> , <i>Buxus balearica</i> )	13,72	0,499	6,84
Cornicabrales ( <i>Pistacia terebinthus</i> )	21,54	0,499	10,75
Arbustados de <i>Quercus ilex</i>	4,00	0,499	1,99
Sabinares, enebrales y sabinoenebrales no rastreros	17,19	0,499	8,58
Coscojares ± puros ( <i>Quercus coccifera</i> )	16,18	0,499	8,07
Lentiscareles/charnecales ( <i>Pistacia lentiscus</i> )	21,54	0,499	10,75
Manchas y afines	16,46	0,499	8,21
A Garrigas (matorrales pluriespecíficos calcícolas ± termófilos)	18,64	0,499	9,30
Brezales, matorrales de <i>Ericaceae</i> y agrupaciones afines	18,71	0,499	9,34
Matorrales de leguminosas retamoideas	22,93	0,499	11,44
Matorrales de leguminosas aulagoideas y afines	18,65	0,499	9,30
Jarales y matorrales de <i>Cistáceas</i>	15,65	0,499	7,81
Matorrales de labiadas y "tomillares" s.l. (incluyendo estepas leñosas, pastizales leñosos y afines)	7,76	0,499	3,87
Otros matorrales y cubiertas mixtas no intrazonales (no asignables a grupos anteriores)	9,54	0,499	4,76
Espartizales y albardinales	7,57	0,499	3,78

**Anexo 15. Valores de referencia de contenido de carbono en biomasa viva por hectárea (t C / ha) para distintos tipos de cultivo (cítricos, frutos secos, frutos, olivo, viñedos) en la región de Cataluña.** Datos para dos años de muestreo 2013 y 2019 con indicación de la densidad de la masa y su edad (Funes et al., 2022).

Área de estudio	Tipo de Cultivo	Edad	Densidad (pies/ha)	Contenido en carbono (t C/ ha)		Autor	
				Año			
Cataluña					2013	2019	
		Cítricos	14	800	25,95	27,25	Funes et al., 2022
		Frutos secos	13	200	27,4	29,09	
		Frutos	26	3300	13,86	17,8	
		Olivo	50	150	17,09	23,01	
		Viñedos	35	3500	6,4	7,7	

**Anexo 16. Valores de referencia de contenido de carbono en biomasa viva por hectárea (t C / ha) para distintos tipos de cultivo (olivo, viñedos y frutales) en España.** Datos de referencia a nivel nacional para distintas densidades de árboles para el 2010 (Infante-Amate et al., 2023).

Área de estudio	Tipo de cultivo	Densidad (pies/ha)	2010		Autor
			Contenido en carbono (t C/ha)		
España	Olivares	160	24		InfanteAmate et al. 2023
	Viñedos	2800	10		
	Frutales	344	19		

**Anexo 17. Valores de referencia de contenido de carbono en biomasa viva aérea, subterránea y total por hectárea (t C / ha) para distintas variedades de olivo en el Sur de España (Bellido, 2017).** Se indican datos de densidad de pies y sistema de cultivo.  $\bar{x}$ = valor promedio de contenido de carbono calculado a partir de los valores de todas las variedades de olivo medidas.

Área de estudio	N	Variedad	Densidad (pies/ha)	Sistema de cultivo	Contenido en carbono (t C/ ha)		
					Parte aérea	Parte subterránea	Total
Sur de España	1	Picual	204	Riego	7,1	1,7	8,9
	2	Hojiblanca	204	Riego	4,5	1,1	5,6
	3	Picudo	83	Secano	11,3	3,8	15,1
	4	Picual	83	Secano	8,3	2,8	11
	5	Arbequina	1333	Riego	2,5	0,6	3,1
	6	Arbequina	1975	Riego	4,8	1,1	6
	7	Arbequina	1975	Riego	7,4	1,7	9,2
	8	Arbequina	1975	Riego	7,1	1,7	8,8
	9	Arbequina	286	Riego	1	0,2	1,3
	10	Picual	208	Secano	0,7	0,2	0,9
	11	Arbequina	286	Secano	1,2	0,3	1,5
	12	Arbequina	1852	Riego	6,2	1,5	7,7
	13	Picual	208	Riego	1,2	0,3	1,5
	14	Picual	190	Riego	3,2	0,8	4
	15	Picual	247	Riego	4	1	5
	16	Picual	208	Riego	11,7	2,8	14,5
	17	Picual	208	Riego	2,1	0,5	2,5
	18	Arbequina	500	Riego	3,2	0,8	4
	19	Picual	100	Riego	12,2	4,1	16,3
	20	Arbequina	238	Secano	6	1,4	7,4
	21	Arbequina	238	Riego	1,6	0,4	1,9
	22	Arbequina	238	Secano	1,3	0,3	1,6
	23	Picual	179	Secano	6,8	1,6	8,5
	24	Arbequina	238	Riego	3,7	0,9	4,6
							$\bar{x} = 6,28$

**Anexo 18. Valores de referencia de biomasa viva aérea (g<sub>ms</sub> /ha) y de contenido de carbono por metro cuadrado (g C/ m<sup>2</sup>) para determinadas especies vegetales de humedales.** Se indican datos de biomasa y contenido en carbono totales y en diferentes partes de la planta (hojas, tallos, rizomas, raíces) (Curado et al., 2013; Gisper et al., 2021; Carrasco-Barea et al., 2023).

Área de estudio	Clima	Especies	Parte vegetal	Biomasa aérea total (g <sub>ms</sub> /m <sup>2</sup> )	Contenido en Carbono (g C/m <sup>2</sup> )	Autores
Marismas de Odiel	Mediterráneo	<i>Spartina maritima</i>	Hojas	356	145	Curado et al., 2013
			Tallos	935	388	
			Rizomas	424	173	
			Raíces	192	69	
			Total	1907	775	
Marisma La Pletera (Girona)	Mediterráneo costero	<i>Sarcocornia fruticosa</i>	Biomasa aérea		1573,52	Gisper et al., 2021
			Biomasa subterránea		89,73	
			Hojarasca		233,24	
		<i>Salicornia patula</i>	Biomasa aérea		65,98	
			Biomasa subterránea		19,91	
			Hojarasca		7,53	
Marisma La Pletera (Girona)	Mediterráneo costero	<i>Sarcocornia fruticosa</i>	Vegetación verde	404,2	120,1	Carrasco-Barea et al., 2023
			Vegetación leñosa	1512,4	663,9	
			Vegetación muerta en pie	1423,8	652,2	
		<i>Elytrigia atherica</i>	Vegetación verde	174,2	77,2	
			vegetación muerta en pie	598,3	260	
		<i>Salicornia patula</i>	Vegetación verde	186,5	49,2	
			Vegetación muerta en pie	87,1	33,2	

**Anexo 19. Valores de referencia por defecto para la biomasa aérea boscosa para diferentes regiones climáticas.** Datos de referencia extraídos del IPCC (2006).

Región climática	Biomasa aérea boscosa (t C/ha)
Región templada (todos los regímenes de humedad)	63
Tropical, seca	9
tropical, húmeda	21
Tropical, muy húmeda	50

**Anexo: 20. Valores de referencia por defecto para de la biomasa promedio en pie en praderas (toneladas de materia seca por hectárea).** Datos de referencia extraídos del IPCC (2006).

Región climática	Promedio Biomasa aérea (t <sub>ms</sub> / ha)	Nº de estudios	Error (%)
Boreal-Seca y muy húmeda	1,7	3	75
Templada fría-Seca	1,7	10	75
Templada fría-Muy húmeda	2,4	6	75
Templada cálida-Seca	1,6	8	75
Templada cálida-Muy húmeda	2,7	5	75
Tropical-Seca	2,3	3	75
Tropical-Húmeda y muy húmeda	6,2	4	75

**Anexo 21. Valores de referencia promedio de carbono orgánico del suelo para bosques, matorrales y pastizales y comunidad autónoma.** CCAA: Comunidad Autónoma, COS (t C/ha): promedio de carbono orgánico en el suelo por hectárea en cada comunidad autónoma y tipo de formación vegetal calculado a partir de los datos disponibles en la base de datos del INES. Desv. estándar: desviación estándar, N° parcelas: número de parcelas cuantificadas para obtener los valores de COS.

CCAA	Formación vegetal	Tipo de vegetación	Promedio COS (t C/ha)	Desv. estándar	N° parcelas
Andalucía	Bosque	Coníferas	39,91	25,43	10
		Fronosas	35,08	43,70	5
		Mixto	20,79	3,55	2
	Bosque adhesado	Fronosas	30,02	9,73	8
	Bosque de plantación	Fronosas	16,93	9,04	2
	Matorral	Matorral	28,15	11,97	15
	Pastizal-Matorral	Pastizal-Matorral	32,23		1
Aragón	Bosque	Coníferas	49,61	23,89	14
		Fronosas	40,79	16,81	10
		Mixto	31,53	37,21	2
	Bosque de plantación	Coníferas	35,72		1
	Herbazal	Herbazal	86,28	37,76	3
	Matorral	Matorral	45,11	20,93	15
	Pastizal-Matorral	Pastizal-Matorral	46,64	11,60	6
Asturias	Bosque	Fronosas	73,83	20,83	5
	Bosque de plantación	Coníferas	108,24		1
		Fronosas	122,49	47,79	2
	Prado	Prado	72,03		1
C. Valenciana	Bosque	Coníferas	55,94	13,70	8
		Fronosas	53,75	27,65	4
	Pastizal-Matorral	Pastizal-Matorral	54,61	41,69	2
Canarias	Bosque	Coníferas	71,09		1
		Fronosas	103,07	68,03	2
Cantabria	Bosque	Fronosas	60,90	15,54	6
	Matorral	Matorral	120,67		1
	Prado	Prado	64,25	7,38	5
Castilla La Mancha	Bosque	Coníferas	41,66	20,89	19
		Fronosas	37,48	21,93	11
		Mixto	49,42	32,11	4
	Bosque adhesado	Fronosas	28,59	13,29	3
	Bosque de plantación	Coníferas	40,88	15,45	5
		Mixto	33,50	29,54	2

CCAA	Formación vegetal	Tipo de vegetación	Promedio COS (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
Castilla y León	Bosque	Coníferas	50,79	26,84	14
		Fronosas	51,83	26,63	34
		Mixto	60,71	30,07	3
	Bosque adhesado	Fronosas	36,70	14,27	7
		Bosque de plantación	Coníferas	61,68	24,90
	Fronosas		42,87		1
	Mixto		49,36	23,08	4
	Herbazal	Herbazal	33,45	19,51	2
	Matorral	Matorral	29,88		1
Pastizal-Matorral	Pastizal-Matorral	39,58		1	
Cataluña	Bosque	Coníferas	65,68	23,92	20
		Fronosas	55,88	13,98	11
		Mixto	61,58	38,08	2
	Bosque de plantación	Coníferas	64,62	49,22	2
		Fronosas	19,93		1
	Herbazal	Herbazal	68,04	27,61	3
	Matorral	Matorral	39,06	44,84	4
	Pastizal-Matorral	Pastizal-Matorral	15,78		1
Extremadura	Bosque	Coníferas	73,95	29,46	3
		Fronosas	39,30	12,52	5
	Bosque adhesado	Fronosas	41,93	14,59	6
		Bosque de plantación	Coníferas	86,01	
	Fronosas		30,48	8,37	4
	Herbazal	Herbazal	15,29		1
	Matorral	Matorral	34,10	15,45	7
Galicia	Bosque	Coníferas	92,22	27,79	3
		Fronosas	96,06	47,83	9
		Mixto	140,36		1
	Bosque de plantación	Coníferas	129,41	49,66	4
		Fronosas	96,07	35,68	11
		Mixto	121,46	12,54	2
Illes Balears	Bosque	Coníferas	37,75		1
	Matorral	Matorral	49,39	21,87	2
La Rioja	Bosque	Fronosas	55,61	17,27	2
	Bosque de plantación	Coníferas	160,85		1
		Mixto	112,59		1
Madrid	Bosque	Fronosas	33,09	3,99	2
	Bosque adhesado	Fronosas	21,42		1
	Herbazal	Herbazal	32,62		1

CCAA	Formación vegetal	Tipo de vegetación	Promedio COS (t C/ha)	Desv. estándar	Nº parcelas
	Prado	Prado	78,40		1
Murcia	Bosque	Coníferas	59,34		1
	Herbazal	Herbazal	12,27		1
	Matorral	Matorral	38,70	18,56	2
	Pastizal-Matorral	Pastizal-Matorral	15,50		1
Navarra	Bosque	Coníferas	47,78	31,30	2
		Frondosas	58,94	30,05	4
		Mixto	55,15		1
	Bosque de plantación	Coníferas	80,18		1
	Herbazal	Herbazal	58,68	7,13	2
	Matorral	Matorral	58,97	34,31	3
	Pastizal-Matorral	Pastizal-Matorral	23,68		1
País Vasco	Bosque	Frondosas	85,44	28,74	5
	Bosque de plantación	Coníferas	66,29		1
	Matorral	Matorral	89,86	63,98	2
	Pastizal-Matorral	Pastizal-Matorral	135,11		1
	Prado	Prado	63,04	24,32	4

**Anexo 22. Valores de referencia promedio de carbono orgánico del suelo por tipo de cultivo y comunidad autónoma.** CCAA: Comunidad Autónoma, COS (t C/ha): promedio de carbono orgánico en el suelo por hectárea en cada comunidad autónoma y tipo de cultivo calculado a partir de los datos disponibles en la base de datos del INES. Desv. estándar: desviación estándar, N<sup>o</sup> parcelas: número de parcelas cuantificadas para obtener los valores de COS.

CCAA	Tipo de cultivo	Promedio COS (t C/ha)	Desv. estándar	N <sup>o</sup> parcelas
Andalucía	Frutales (frutos secos)	17,24	6,504	4
	Frutales no cítricos	15,91	-	1
	Olivar	27,07	11,662	25
Aragón	Frutales (frutos secos)	34,93	9,286	4
	Viñedos	20,65	-	1
C. Valenciana	Cítricos	25,21	9,083	3
	Frutales (frutos secos)	22,91	1,265	2
	Frutales no cítricos	32,12	12,149	2
	Olivar	27,66	6,730	4
	Viñedos	28,31	-	1
Castilla La Mancha	Frutales (frutos secos)	5,15	-	1
	Frutales no cítricos	11,85	-	1
	Olivar	22,96	15,940	5
	Viñedos	23,37	5,019	3
Castilla y León	Frutales (frutos secos)	18,25	-	1
	Viñedos	21,12	10,626	2
Cataluña	Frutales (frutos secos)	26,82	2,277	2
	Frutales no cítricos	63,68	-	1
	Olivar	23,77	9,260	4
	Viñedos	24,29	-	1
Extremadura	Olivar	9,61	-	1
	Viñedos	20,25	-	1
Galicia	Frutales no cítricos	57,68	-	1
Illes Balears	Olivar	36,66	-	1
La Rioja	Frutales (frutos secos)	31,38	-	1
	Viñedos	39,94	-	1
Madrid	Olivar	7,17	-	1
Murcia	Cítricos	26,24	-	1
	Frutales (frutos secos)	16,96	-	1
	Frutales no cítricos	26,91	-	1
Navarra	Frutales no cítricos	44,03	-	1

**Anexo 23. Descripción de las categorías de la estructura de vegetación del Mapa Forestal Español la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena.**

Estructura de vegetación	Descripción
Bosquetes	Teselas que presentan arbolado fuera del monte, es decir, rodeado de otras teselas no forestales, distribuido en bosquetes individualizables y/o suficientemente próximos como para ser agrupados dentro de una misma tesela. Su superficie no excederá de 20 ha.
Bosque de ribera	Teselas forestales arboladas que se encuentran junto a los cauces de los ríos, pobladas de especies ripícolas
Bosque adehesado	Dehesa es aquella formación arbolada (fcc > 5%), poblada habitualmente de árboles con aptitudes ganaderas de sus frutos o ramones, y en la que aunque el uso principal sea el ganadero aparece un doble uso agrícola y forestal.
Bosque	Agrupación de árboles o especies potencialmente arbóreas, en espesura con una fracción de cabida cubierta superior al 5% y uso netamente forestal. El origen del mismo es natural o de repoblación totalmente integrada
Bosque de plantación	Agrupación de árboles en espesura con una fracción de cabida cubierta superior al 5% y uso netamente forestal, cuyo origen es el de plantación. Para decidir que una plantación ha dejado de serlo, adquiriendo una naturalidad fruto del paso del tiempo y de la propia dinámica de la vegetación, deberán aparecer diluidos los marcos de plantación u otros elementos que delaten su origen artificial. Esta idea se verá reforzada si, además: 1) Los árboles tienen al menos un diámetro normal de 25 cm. 2) Hay regeneración natural de la masa, así como árboles de diferentes dimensiones y tallas. 3) Existe una invasión más que incipiente de matorral bajo las copas, o de otros árboles naturales de la zona
Herbazal	Teselas cubiertas por hierbas de origen natural. Se definen como agrupaciones o cubiertas caracterizadas por la abundancia, densidad y predominio de herbáceas
Matorral	Agrupación vegetal definida por su estructura o por su aspecto, conferidos por el hecho de que su estrato superior o el más alto con espesura están caracterizados por el predominio de matas (especies leñosas relativamente bajas y ramificadas desde su base).
Pastizal-Matorral	Superficie poblada con matorral bajo (tomillos o similares) en mezcla con herbáceas y aprovechamiento extensivo de ganado. Las zonas de erial quedarán aquí asignadas.
Vegetación arbórea	Tierras de pastoreo y los pastizales con vegetación leñosa con FCC arbórea $\geq 10\%$ , que no se consideran dentro de las

Estructura de vegetación	Descripción
	categorías Tierras forestales ni Tierras de cultivo. (Clasificación LULUCF)
Vegetación arbustiva	Tierras de pastoreo y los pastizales dominados por vegetación arbustiva, que no se consideran dentro de las categorías Tierras forestales ni Tierras de cultivo.(Clasificación LULUCF)

# Índice de Tablas

Tabla 1. Definiciones de las categorías de uso de la tierra del sector LULUCF.....	15
Tabla 2. Emisiones y absorciones de CO <sub>2</sub> en el sector LULUCF (kt CO <sub>2</sub> -eq) .....	17
Tabla 3. Superficie total de las Reservas de la Biosfera Españolas.....	24
Tabla 4. Definición de los tipos de sumidero de carbono en ecosistemas terrestres que se contemplan en UNFCCC y LULUCF .....	34
Tabla 5. Ecuaciones generales para estimar la biomasa viva de las principales formaciones vegetales en España en base a diferentes datos dasométricos de la vegetación .....	41
Tabla 6. Metodología de muestreo de árboles en el Inventario Forestal Nacional (IFN).....	42
Tabla 7. Valores de COS según uso de la tierra y región climática .....	50
Tabla 8. Categorías de madera muerta y criterios de selección para la estimación de carbono .....	51
Tabla 9. Valores provinciales de biomasa de madera muerta y carbono estimado por hectárea.....	54
Tabla 10. Existencias nacionales de carbono (C) en detritus (t C/ ha) según uso de la tierra UNFCCC. ....	57
Tabla 13. Carbono total estimado en la madera muerta de Reserva de la Biosfera 'Dehesas de Sierra Morena'. ....	87
Tabla 14. Carbono total estimado en detritus en las distintas formaciones de Reserva de la Biosfera 'Dehesas de Sierra Morena' .....	87
Tabla 15. Resumen de las limitaciones del estudio y posibles soluciones futuras .....	92
Tabla 16. Rango de contenido en carbono en detritus para algunas especies forestales .....	101
Tabla 17. Valores promedio de carbono orgánico del suelo (COS) (t C / ha) por tipo y uso del suelo. ....	103
Tabla 18. Variación del carbono orgánico del suelo (COS) (t C / ha) con la profundidad en bosques.....	103

# Índice de Figuras

Figura 1. Emisiones y absorciones de CO <sub>2</sub> en el sector LULUCF (kt CO <sub>2</sub> -eq). ....	16
Figura 2. Mapa de distribución de las Reservas de la Biosfera Españolas en 2024.....	23
Figura 3. Flujos de absorción y emisión de carbono y almacenamiento de carbono (sumideros) en ecosistemas vegetales. ....	31
Figura 4. Ciclo de carbono generalizado en los ecosistemas terrestres. ....	35
Figura 5. Cadena de procesos para la medición de la biomasa viva total a través de los métodos directos. ....	37
Figura 6. Medición de diámetro a la altura del pecho con forcípula de un individuo de alcornoque ( <i>Quercus suber</i> ). ....	39
Figura 7. Estimación de biomasa a partir de la nube de datos LiDAR recogida por sensores aerotrasportados. ....	46
Figura 8. Ejemplos de pies mayores muertos caídos en Tierras forestales. ....	50
Figura 9. Trampa de caída de hojarasca en la derecha y 'litterbags' depositadas sobre el suelo forestal en la izquierda. ....	56
Figura 10. Diagrama de pasos de la metodología para el cálculo de la capacidad de sumidero de carbono. ....	63
Figura 11. Localización de la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena.....	75
Figura 12. Distribución de la superficie total entre los distintos tipos de formación vegetal en RBDSM. ....	77
Figura 13. Cantidad total y porcentaje de carbono acumulado en los cuatro tipos de sumideros (biomasa viva, carbono orgánico del suelo, madera muerta y detritus). ....	79
Figura 14. Porcentaje del contenido de carbono en (a) la biomasa viva y (b) en el suelo en diferentes formaciones de vegetación. ....	80
Figura 15. Biomasa aérea de los distintos bosques en Andalucía. ....	94
Figura 16. Regresión de la biomasa forestal estimada con la metodología del IFN frente a la calculada con todos los árboles de la parcela. ....	95
Figura 17. Variación de la proporción de biomasa de raíz con respecto a la biomasa total en función de distintas clases diamétricas para distintas especies de <i>Quercus</i> . ....	97

# Índice de Anexos

Anexo 1. Formaciones vegetales presentes en algunas de las Reservas Biosfera Españolas. ....	123
Anexo 2. Coeficiente de conversión (CF) de biomasa a carbono por especie forestal.....	129
Anexo 3. Parámetros ajustados de especies forestales caducifolias para el cálculo de la biomasa acumulada en diferentes partes del árbol.....	131
Anexo 4. Parámetros ajustados de especies forestales de coníferas para el cálculo de la biomasa viva acumulada en diferentes partes del árbol .....	134
Anexo 5. Parámetros ajustados de especies forestales de bosques de frondosas perennifolias para el cálculo de la biomasa viva acumulada en diferentes partes del árbol.....	137
Anexo 6. Parámetros ajustados de especies forestales de formaciones de laurisilvas y Fayal-Brezales para el cálculo de la biomasa viva acumulada en diferentes partes del árbol.....	139
Anexo 7. Ecuaciones alométricas para el cálculo de la biomasa viva total de ciertas especies de matorral (Montero et al., 2020).....	140
Anexo 8. Ecuaciones alométricas para el cálculo de la biomasa total por agrupaciones de especies de matorral (Montero et al., 2020).....	142
Anexo 9. Factor de expansión de biomasa (BEFD) por especie forestal. ....	143
Anexo 10. Coeficiente raíz/vástago (R) por especie forestal.....	144
Anexo 11. Valores promedio de referencia de biomasa viva total ( $t_{ms}/ha$ ) y contenido total de carbono por hectárea ( $t C / ha$ ) por especie forestal, rango de densidad forestal y comunidad autónoma. ....	146
Anexo 12. Valores promedio de referencia de biomasa viva total ( $t_{ms}/ha$ ) y contenido total de carbono por hectárea ( $t C / ha$ ) por especie forestal y comunidad autónoma.....	167
Anexo 13. Valores de referencia de biomasa viva aérea ( $t_{ms}/ha$ ) y contenido total de carbono por hectárea ( $t C / ha$ ) para formaciones generales de arbustedos, matorrales y espartizales. ....	177
Anexo 14. Valores de referencia de biomasa viva aérea ( $t_{ms}/ha$ ) y contenido total de carbono por hectárea ( $t C / ha$ ) para agrupaciones de matorrales específicas. ....	177

Anexo 15. Valores de referencia de contenido de carbono en biomasa viva por hectárea (t C / ha) para distintos tipos de cultivo (cítricos, frutos secos, frutos, olivo, viñedos) en la región de Cataluña.....	178
Anexo 16. Valores de referencia de contenido de carbono en biomasa viva por hectárea (t C / ha) para distintos tipos de cultivo (olivo, viñedos y frutales) en España.....	178
Anexo 17. Valores de referencia de contenido de carbono en biomasa viva aérea, subterránea y total por hectárea (t C / ha) para distintas variedades de olivo en el Sur de España (Bellido, 2017). ....	179
Anexo 18. Valores de referencia de biomasa viva aérea (g <sub>ms</sub> /ha) y de contenido de carbono por metro cuadrado (g C/ m <sup>2</sup> ) para determinadas especies vegetales de humedales.....	180
Anexo 19. Valores de referencia por defecto para la biomasa aérea boscosa para diferentes regiones climáticas.....	181
Anexo: 20. Valores de referencia por defecto para de la biomasa promedio en pie en praderas (toneladas de materia seca por hectárea).....	181
Anexo 21. Valores de referencia promedio de carbono orgánico del suelo para bosques, matorrales y pastizales y comunidad autónoma. ....	182
Anexo 22. Valores de referencia promedio de carbono orgánico del suelo por tipo de cultivo y comunidad autónoma. ....	185
Anexo 23. Descripción de las categorías de la estructura de vegetación del Mapa Forestal Español la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena.....	186

# Lista de acrónimos

<b>Bd</b>	Peso en biomasa considerando el grado de descomposición de la madera muerta
<b>BEFD</b>	Factores de expansión de biomasa
<b>BF</b>	Biomasa del fuste
<b>BH</b>	Biomasa de hojas
<b>B</b>	Biomasa viva aérea por ha
<b>BP</b>	Volumen de la copa
<b>Br</b>	Biomasa de raíz
<b>BR<sub>2-7</sub></b>	Biomasa de las ramas de diámetro entre 2 y 7 cm
<b>BR<sub>7</sub></b>	Biomasa de las ramas de diámetro mayor de 7 cm
<b>BT</b>	Biomasa total
<b>C</b>	Carbono orgánico (C)
<b>Cd</b>	Peso en C considerando el grado de descomposición de la madera
<b>Ctf</b>	Concentración de carbono en la tierra fina (en %)
<b>CF</b>	Factor de conversión específico de biomasa a carbono
<b>CLC</b>	CORINE Land Cover (CLC)
<b>CMS</b>	Contenido de materia seca
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>COP</b>	Conferencias de las Partes
<b>COS</b>	Carbono Orgánico del Suelo
<b>COS</b>	Carbono orgánico del suelo
<b>CPA</b>	Area de proyección de la copa
<b>CRF</b>	Common Reporting Format
<b>Ct</b>	Carbono de un horizonte
<b>D</b>	Densidad básica de la madera
<b>Da</b>	Densidad aparente
<b>DAP</b>	Diámetro a la altura del pecho
<b>EC</b>	Eddy Covariance
<b>EG</b>	Tierra o elementos gruesos
<b>ESA</b>	Agencia Espacial Europea
<b>EVI</b>	Enhanced Vegetation Index
<b>FC</b>	Factor de corrección de cálculo de biomasa
<b>FCC</b>	Cabida cubierta
<b>FLEX</b>	Fluorescence Explorer
<b>fr</b>	Factor de reducción de la biomasa
<b>GD</b>	Grados de descomposición
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero

<b>GPG</b>	Guía de las buenas prácticas
<b>H</b>	Altura de los árboles
<b>Hm</b>	Altura media del matorral
<b>IAF</b>	Índice de área foliar
<b>ICOS</b>	Integrated Carbon Observation System
<b>ICP</b>	International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests
<b>IFN</b>	Inventario Forestal Nacional
<b>IGN</b>	Instituto Geográfico Nacional
<b>INES</b>	Inventario Nacional de Erosión del Suelo.
<b>INIA</b>	Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria
<b>IPCC</b>	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
<b>L</b>	Longitud del fuste caído
<b>LiDAR</b>	Light Detection and Ranging)
<b>LULUCF</b>	Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura
<b>MaB</b>	Programa Hombre y Biosfera
<b>MFE</b>	Mapa Forestal de España
<b>MITECO</b>	Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
<b>ms</b>	Biomasa total anual de masa seca
<b>NDVI</b>	Normalized Difference Vegetation Index
<b>NIR</b>	National Inventory Report
<b>OCO-2</b>	Orbiting Carbon Observatory-2
<b>PNOA</b>	Plan Nacional de Ortofotografía Aérea
<b>PRI</b>	Photochemical Reflectance Index
<b>R</b>	Coficiente raíz-vástago
<b>R<sup>2</sup></b>	Coficientes de regresión
<b>R<sup>2</sup><sub>adj</sub></b>	Coficiente de regresión ajustado
<b>RBDSM</b>	Reserva de la Biosfera 'Dehesas de Sierra Morena'
<b>RCD</b>	Diámetro en la base del tronco
<b>SAR</b>	Radar de Apertura Sintética
<b>SEE</b>	Error estándar de la estimación
<b>SIGPAC</b>	Geográfica de Parcelas Agrícolas
<b>SIOSE</b>	Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España
<b>UNESCO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
<b>UNFCCC</b>	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
<b>V</b>	Volumen maderable anual
<b>V<sub>cc</sub></b>	Volumen de madera con corteza
<b>V<sub>h</sub></b>	% del volumen del horizonte ocupado por piedras y gravas



La preocupación por reducir nuestra huella de carbono es cada vez mayor, pero aún queda un desafío clave: reconocer y cuantificar el papel fundamental de los ecosistemas naturales, y en particular de las Reservas de la Biosfera, en la absorción de emisiones de carbono. Estos territorios no solo ofrecen una riqueza ecológica invaluable, sino que también actúan como potentes sumideros de carbono.

Este libro explora cómo las Reservas de la Biosfera Española contribuyen a la captura de carbono y proporciona una herramienta esencial para gestores e investigadores que deseen calcular su capacidad de absorción en diferentes contextos. Además de aclarar conceptos clave en la estimación de sumideros de carbono, se presentan las principales metodologías para su cuantificación, con un ejemplo de caso de estudio concreto aplicado a la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena.

Para facilitar esta tarea, los anexos incluyen los parámetros necesarios para realizar los cálculos, junto con bases de datos que optimizan el proceso. Con esta publicación, esperamos aportar una nueva perspectiva sobre el valor de las reservas de la biosfera y sentar las bases para futuras investigaciones que amplíen y mejoren el conocimiento científico en esta área crucial.

