

EVALUACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN CASTILLA-LA MANCHA



Castilla-La Mancha

DOCUMENTO METODOLÓGICO PARA LA
IDENTIFICACIÓN DEL SERVICIO DE
REGULACIÓN DEL CLIMA

Diciembre de 2023

EVALUACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN CASTILLA-LA MANCHA

SERVICIO DE REGULACIÓN DEL CLIMA



Castilla-La Mancha

Dirección General de Medio Natural y Biodiversidad
Consejería de Desarrollo Sostenible
Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	ANTECEDENTES	1
2.	METODOLOGÍAS DE CÁLCULO.....	1
3.	CARTOGRAFÍA BASE EMPLEADA Y FUENTES DOCUMENTALES.....	2
4.	PROCEDIMIENTO PARA LA ESTIMA DEL CARBONO TOTAL.....	3
5.	BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA.....	15

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE REGULACIÓN DEL CLIMA

Documento descriptivo del proceso de identificación y
caracterización del servicio en el contexto de la
elaboración de la Estrategia Regional de
Infraestructura Verde, Conectividad y Restauración
Ecológica

1. ANTECEDENTES

El almacenamiento de CO₂ como aproximación a la capacidad de los ecosistemas para regular el clima

El CO₂ es uno de los principales gases de efecto invernadero cuya acumulación en la atmósfera incide en el cambio climático. Por este motivo, la capacidad de los ecosistemas para acumular esta molécula es uno de los indicadores más utilizados en la valoración de este servicio a distintas escalas.

En el desempeño de esta función, la vegetación y el suelo actúan como sumideros de carbono mediante la fijación de CO₂ a través de distintos procesos, por lo que adoptan un papel importante en la mitigación del cambio climático. De este modo, la determinación de la cantidad de carbono almacenada en los distintos ecosistemas permite valorar cuáles de ellos contribuyen de forma más significativa al secuestro de carbono.

Para la evaluación del servicio se ha utilizado como proxy la capacidad de almacenamiento de carbono de la vegetación y el suelo. En concreto, se ha determinado el contenido de carbono total presente en la superficie de Castilla-La Mancha.

2. METODOLOGÍAS DE CÁLCULO

2.1. Metodologías disponibles

Actualmente se dispone de distintas aproximaciones metodológicas para la estimación de la biomasa (Shi et al. 2017). Destacan aquellas que usan ecuaciones alométricas, la densidad media de la biomasa, los factores de expansión de la biomasa o métodos

geoestadísticos, entre otros. Cada método de estimación presenta sus ventajas y desventajas y ninguno de ellos es mejor o peor que otro para la estimación de la biomasa a escala de individuo o a gran escala. Aun así, los métodos anteriormente mencionados no permiten determinar con exactitud la cantidad de carbono almacenada, por lo que se encuentran en desarrollo metodologías que combinan métodos geoestadísticos e información LiDAR para la mejora de la precisión en la estimación de la biomasa.

2.2. Metodología empleada para la estimación en Castilla-La Mancha

Para la valoración del servicio ecosistémico de regulación del clima se ha utilizado como base la metodología principal propuesta en la *“Guía para la Identificación de la Infraestructura verde en España”*.

Adicionalmente, considerando la coincidencia en cuanto a objetivos y fuente de datos utilizada, se ha empleado como fuente metodológica y documental el trabajo desarrollado por la Comunidad Valenciana en el cartografiado territorial del stock de carbono para la determinación de su contenido en los pies menores, el matorral en superficies forestales, así como para la actualización de los valores de contenido de carbono para el año 2022.

El cálculo se ha realizado en base a la siguiente fórmula propuesta en la metodología de referencia:

$$CT = CBv + CBm + COS$$

Donde:

CT = Contenido de carbono total (t C/ha)

CBv = Contenido de carbono en la biomasa viva (t C/ha)

CBm = Contenido de carbono en la biomasa muerta (t C/ha)

COS = Contenido de carbono orgánico en el suelo (t C/ha)

3. CARTOGRAFÍA BASE EMPLEADA Y FUENTES DOCUMENTALES

- ✓ Como teselado base del territorio se ha empleado el Mapa Forestal de España 1:50.000 (MFE50) por su adecuación para llevar a cabo la estimación del contenido en carbono de la vegetación (cartografía base sobre la cual se planteó el muestreo del Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3).
- ✓ La información necesaria para el cálculo del contenido de carbono en la biomasa viva se ha obtenido de la información del Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3).
- ✓ Los datos para el cálculo del contenido de carbono en la biomasa muerta se han extraído de la Red Europea de Daños en los Bosques, Nivel I.

- ✓ Los datos del contenido de carbono orgánico en el suelo se han obtenido del trabajo de Rodríguez Martín et al. 2016.

4. PROCEDIMIENTO PARA LA ESTIMA DEL CARBONO TOTAL

4.1. Determinación del contenido en carbono de la biomasa viva

Se ha calculado el contenido de carbono en la biomasa viva para las superficies forestales arboladas, y en concreto, para los pies mayores, los pies menores y del estrato de matorral bajo la cubierta forestal arbolada.

De acuerdo con las recomendaciones de la *Guía Metodológica para la Identificación de los Elementos de Infraestructura Verde de España*, se asignó un valor a CBv de 15 t C/ha a todos aquellos sistemas definidos como matorral en el MFE50.

Para el resto de sistemas no arbolados (mayoritariamente sistemas dominados por herbáceas) se ha asignado un valor a CBv de 0 t C/ha ya que la cantidad de carbono que almacenan se considera negligible en comparación con los sistemas arbolados.

A continuación, se describe el procedimiento seguido para el cálculo del contenido de carbono en pies mayores, pies menores y en el estrato de matorral en superficies forestales

a. Pies mayores

El cálculo del contenido de carbono en la biomasa viva para los pies mayores (DBH \geq 7,5 cm) se ha llevado a cabo mediante la siguiente fórmula:

$$CBv = \Sigma [VCC \times FC \times FEB \times D \times (1 + R)]$$

Dónde:

VCC = Volumen maderable con corteza según la especie (m³/ha)

FC = Fracción de carbono de la materia seca para cada especie (t C/t m.s.)

FEB = Factor de expansión de la biomasa para convertir el incremento neto anual (incluida la corteza) en incremento de biomasa arbórea sobre suelo

D = Densidad de la madera para cada especie (t m.s./m³)

R = Relación raíz-vástago

Los datos de VCC se han extraído del IFN3 dado que en el momento de la elaboración de este trabajo no se dispone de los datos del Cuarto Inventario Forestal Nacional para Castilla-La Mancha.

Los valores de FC, FEB, D y R para cada especie se obtuvieron a partir de los datos incluidos en el Informe de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de España 1990-2012 (2014), que a su vez derivan de los cálculos realizados por el CREAM (Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales).

Para las especies que no figuraban en el anterior documento se han elegido valores de especies similares o de especies pertenecientes al mismo género.

Detalle metodológico

La metodología seguida para la valoración del contenido de carbono en la biomasa viva ha tomado como referencia el documento *“Cartografía territorial del stock de carbono” en la Comunidad Valenciana* de la Consejería de Política Territorial, Obras Públicas y Movilidad.

A partir de los datos contenidos en la tabla *“Parcelas_exs”* del IFN3 se calculó el promedio de VCC por clase diamétrica, especie y estrato.

Se procedió al sumatorio del promedio de VCC de todas las clases diamétricas por especie y estrato, obteniéndose como resultado final un único valor de VCC por cada relación estrato-especie.

Con el valor de VCC de cada relación estrato-especie, y con los datos de FC, FEB, D y R de cada especie, se ha calculado el CBv para cada relación estrato-especie. El valor obtenido corresponde a la biomasa acumulada para el año en el que se desarrolló el IFN, este valor debe ser actualizado al año en que se realiza el presente análisis (2022). Para esto, se ha estimado un promedio del incremento anual de volumen con corteza (IAVC) para cada relación estrato-especie. Este valor se ha multiplicado por el número de años transcurridos y se ha utilizado en la fórmula del cálculo de CBv para obtener el incremento de biomasa entre el año que se realizó el IFN y el presente. Finalmente, el valor CBv del IAVC se han sumado al valor CBv calculado en primera instancia para obtener así la biomasa actual para cada relación estrato-especie.

Una vez calculado el valor de CBv se han transferido los datos a la tabla *“Poligon”*. Antes de asociar los datos de CBv se modificaron los códigos de especie de la tabla *“Poligon”*. Estos cambios se realizaron siguiendo la guía de cambios descritos en la tabla *“CambioEspecie”* del IFN3 y se aplicó a los tres campos que definen las especies dominantes de cada polígono del MFE50 (columnas *Esp1*, *Esp2* y *Esp3*). Aquellas especies que no aparecían en la tabla *“Parcelas_exs”* y para las que tampoco se disponía de un cambio de código asociado en la tabla *“CambioEspecie”* se descartaron del análisis debido a la falta de datos para su CBv.

Tras realizar el cambio de código de las especies, y descartar aquellas especies para las que no se disponía de datos para el parámetro CBv, se incorporaron tres campos nuevos (*CBv1*, *CBv2* y *CBv3*) en la tabla *“Poligon”*. Estos campos recogen los valores CBv de las relaciones estrato-especie que ocurren en ese polígono para todas las especies presentes en el mismo (campos *Esp1*, *Esp2* y *Esp3*). Se incorporaron tres campos adicionales (*CBv_O1*, *CBv_O2* y *CBv_O3*) para ponderar la aportación de CBv de cada especie en función de su ocupación (campos *O1*, *O2* y *O3*) dentro del polígono. Finalmente se generó un último campo (*CBv_ma_22*) donde se ha realizado el sumatorio de los valores de CBv ponderados por ocupación. Se ha trasladado la información del identificador de polígono (id) y el CBv total asociado a cada polígono a una nueva tabla que se combinó con el MFE50, obteniendo de esta manera un valor de CBv para la mayoría de superficies arboladas. Cabe destacar que en la base de datos del IFN3 hay menos registros que en el MFE50, hecho que provoca que haya una serie de polígonos del MFE50 definidos como sistemas arbolados que no tienen valor de CBv.

Aún así, la diferencia entre el número de polígonos del MFE50 y el número de registros del IFN3 no es destacable.

A continuación, se describen las especies consideradas en el análisis, las especies descartadas y la asignación de los valores de FC, FEB, D y R por provincia.

Provincia de Albacete

Especie	Código IFN	FC	FEBxD	R
<i>Pinus pinea</i>	023	0,508	0,73	0,183
<i>Pinus halepensis</i>	024	0,499	0,74	0,309
<i>Pinus nigra</i>	025	0,509	0,64	0,244
<i>Pinus pinaster</i>	026	0,511	0,55	0,284
<i>Juniperus thurifera</i>	038	0,475	0,62	0,314
<i>Quercus faginea</i>	044	0,48	1,11	0,462
<i>Quercus ilex</i>	045	0,475	1,28	0,529
<i>Populus alba</i>	051	0,5	0,53	0,536
Otras frondosas	099	0,5	0,84	0,536
<i>Populus spp.</i>	958	0,5	0,53	0,536

- ✓ *Quercus ilex*. Se han utilizado valores de la subespecie *ilex*.
- ✓ *Populus alba*. Se han utilizado el valor FEBxD de *Populus nigra*.
- ✓ *Populus spp.* Se han utilizado los valores FC y R de *Populus alba* y el valor FEBxD de *Populus nigra*.

Para el resto de especies que no tienen valores definidos de los parámetros FC, FEBxD y R se utilizaron los valores de las categorías *Otras coníferas* y *Otras frondosas*.

Provincia de Ciudad Real

Especie	Código IFN	FC	FEBxD	R
<i>Pinus pinea</i>	023	0,508	0,73	0,183
<i>Pinus pinaster</i>	026	0,511	0,55	0,284
<i>Quercus pyrenaica</i>	043	0,475	0,84	0,3
<i>Quercus faginea</i>	044	0,48	1,11	0,462
<i>Quercus ilex</i>	045	0,475	1,28	0,529

Especie	Código IFN	FC	FEBxD	R
<i>Quercus suber</i>	046	0,472	0,84	0,29
<i>Mezcla de árboles de ribera</i>	050	0,5	0,84	0,536
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	062	0,475	0,81	0,495
<i>Arbutus unedo</i>	068	0,5	0,84	0,536
<i>Otras frondosas</i>	099	0,5	0,84	0,536
<i>Juniperus oxycedrus</i>	237	0,5	0,62	3,587
<i>Populus x canadiensis</i>	258	0,5	0,53	0,536

- ✓ *Quercus ilex*. Se han utilizado los valores de la subespecie *ilex*.
- ✓ *Eucalyptus calmadulensis*. Se han utilizado los valores FC y R de *Eucalyptus* spp y el valor FEBxD de *Eucalyptus globulus*.
- ✓ *Arbutus unedo*. Se han utilizado los valores FC y R de *Myrtus communis*.
- ✓ *Populus x canadiensis*. Se han utilizado los valores FC y R de *Populus alba* y el valor FEBxD de *Populus nigra*.

Para el resto de especies que no tienen valores definidos de los parámetros FC, FEBxD y R se han utilizado los valores de las categorías “*Otras coníferas*” y “*Otras frondosas*”.

Provincia de Cuenca

Especie	Código IFN	FC	FEBxD	R
<i>Pinus sylvestris</i>	021	0,509	0,62	0,272
<i>Pinus pinea</i>	023	0,508	0,73	0,183
<i>Pinus halepensis</i>	024	0,499	0,74	0,309
<i>Pinus nigra</i>	025	0,509	0,64	0,244
<i>Pinus pinaster</i>	026	0,511	0,55	0,284
<i>Quercus faginea</i>	044	0,48	1,11	0,462
<i>Quercus ilex</i>	045	0,475	1,28	0,529
<i>Mezcla de árboles de ribera</i>	050	0,5	0,84	0,536
<i>Populus nigra</i>	058	0,5	0,53	0,536
<i>Otras frondosas</i>	099	0,5	0,84	0,536
<i>Populus x canadiensis</i>	258	0,5	0,53	0,536

Especie	Código IFN	FC	FEBxD	R
<i>Juniperus spp.</i>	937	3,587	0,62	0,5

- ✓ *Quercus ilex*. Se han utilizado los valores de la subespecie *ilex*.
- ✓ *Populus nigra* y *Populus x canadiensis*. Se han utilizado los valores FC y R de *Populus alba*.
- ✓ *Populus x canadiensis*. Se ha utilizado el valor FEBxD de *Populus nigra*.
- ✓ *Juniperus spp.* Se han utilizado valores de *Juniperus oxycedrus*.

Para el resto de especies que no tienen valores definidos de los parámetros FC, FEBxD y R se han utilizado los valores de las categorías “Otras coníferas” y “Otras frondosas”.

Provincia de Toledo

Especie	Código IFN	FC	FEBxD	R
<i>Pinus pinea</i>	023	0,508	0,73	0,183
<i>Pinus pinaster</i>	026	0,511	0,55	0,284
<i>Quercus pyrenaica</i>	043	0,475	0,84	0,3
<i>Quercus faginea</i>	044	0,48	1,11	0,462
<i>Quercus ilex</i>	045	0,475	1,28	0,529
<i>Quercus suber</i>	046	0,472	0,84	0,29
Otros arboles ripícolas	050	0,5	0,84	0,536
<i>Tamarix spp</i>	053	0,5	0,84	0,536
<i>Fraxinus angustifolia</i>	055	0,478	0,84	0,73
<i>Arbutus unedo</i>	068	0,5	0,84	0,536
<i>Juniperus oxycedrus</i>	237	0,5	0,62	3,587
<i>Populus spp.</i>	958	0,5	0,53	0,536

- ✓ *Quercus ilex*. Se han utilizado los valores de la subespecie *ilex*.
- ✓ *Arbutus unedo*. Se han utilizado los valores FC y R de *Myrtus communis*.
- ✓ *Populus spp.* Se han utilizado los valores FC y R de *Populus alba* y el valor FEBxD de *Populus nigra*.

Para el resto de especies que no tienen valores definidos de los parámetros FC, FEBxD y R se han utilizado los valores de las categorías “Otras coníferas” y “Otras frondosas”.

Provincia de Guadalajara

Especie	Código IFN	FC	FEBxD	R
<i>Pinus sylvestris</i>	021	0,509	0,62	0,272
<i>Pinus halepensis</i>	024	0,499	0,74	0,309
<i>Pinus nigra</i>	025	0,509	0,64	0,244
<i>Pinus pinaster</i>	026	0,511	0,55	0,284
<i>Quercus pyrenaica</i>	043	0,475	0,84	0,3
<i>Quercus faginea</i>	044	0,48	1,11	0,462
<i>Quercus ilex</i>	045	0,475	1,28	0,529
<i>Mezcla de árboles de ribera</i>	050	0,5	0,84	0,536
<i>Juniperus spp.</i>	937	3,587	0,62	0,5
<i>Populus spp.</i>	958	0,5	0,53	0,536
<i>Grupo heterogéneo de frondosas</i>	990	0,5	0,84	0,536

- ✓ *Quercus ilex*. Se han utilizado los valores de la subespecie *ilex*.
- ✓ *Juniperus spp.* Se han utilizado valores de *Juniperus oxycedrus*.
- ✓ *Populus spp.* Se han utilizado los valores FC y R de *Populus alba* y el valor FEBxD de *Populus nigra*.

Para el resto de especies que no tienen valores definidos de los parámetros FC, FEBxD y R se han utilizado los valores de las categorías “Otras coníferas” y “Otras frondosas”.

b. Pies menores

Para la determinación del carbono almacenado en la biomasa de los pies menores (DBH \leq 7,5 cm) se empleó la información ubicada en la tabla “PCRegenera” del IFN3.

En este caso, la determinación del carbono almacenado no fue posible mediante el empleo de la fórmula utilizada en el caso de los pies mayores, por lo que se optó por utilizar las ecuaciones de Montero et al. 2005, y en concreto, las ecuaciones para la obtención de la biomasa aérea total del árbol (BT) y de la biomasa de la raíz (BR) en km de materia seca por individuo.

Como pies menores se han considerado aquellos pies con altura superior a 130 cm y un diámetro normal comprendido entre 2,5 y 7,5 cm, que en última instancia son los clasificados dentro de la categoría 4 del campo “CatDes” en la tabla “PCRegenera” del IFN3.

El procedimiento consistió en asociar el estrato a cada parcela para obtener la relación estrato-especie. Se seleccionó un diámetro medio de 5 cm para realizar el cálculo de la biomasa ya que el IFN3 aporta únicamente valores de altura, pero no del diámetro de los individuos. Para obtener la cantidad de materia seca total por especie en cada parcela se determinó el sumatorio de los dos parámetros calculados (BT y Br) y se multiplicó por el número de pies de la especie en la parcela. El valor resultante se transformó de kg de materia seca a tn/ha de materia seca.

Finalmente, para obtener el contenido de carbono presente en la materia seca, se multiplicó el valor de materia seca por el valor de fracción de carbono de la materia seca (FC) para cada especie, obteniendo como resultado final la cantidad de carbono por hectárea para cada especie.

A la cantidad total de CBv existente en 2007 se le ha sumado el CBv del IAVC que se obtuvo para los pies mayores con el fin de obtener la cantidad de biomasa actual.

Finalmente se determinó el promedio de los valores de biomasa por estrato y especie y se estableció la relación de la información resultante con el MFE50 en base al procedimiento realizado para los pies mayores.

c. Matorral

Para la determinación del carbono almacenado en la biomasa del matorral presente bajo las superficies arboladas se ha utilizado la información de la tabla "PCMatorral" del IFN3.

De este modo, para cada parcela se determinó la altura media ponderada por la ocupación de cada especie con el fin de obtener una altura media de la parcela. Igualmente se realizó el sumatorio de los valores de Fcc de las especies presentes en la parcela para obtener el valor total de Fcc del matorral. Ambos valores (altura media y Fcc total) se emplearon para realizar el cálculo de la cantidad de materia seca del matorral aplicando la fórmula de Montero et al. (2020) para la estimación de la biomasa del matorral para la España peninsular y balear.

A continuación, se calculó el promedio de los valores de materia seca por estrato, multiplicando posteriormente este valor por el porcentaje medio de carbono para las principales especies de arbustos y matorrales españoles (0,4999), obteniendo como resultado la cantidad de carbono almacenada en los matorrales en t C/ha.

Para el cálculo del incremento anual de biomasa se aplicó la fórmula general de crecimiento para el matorral de Montero et al. 2020, se multiplicó por el número de años transcurridos y se sumó a los valores de biomasa previamente calculados.

Finalmente se relacionaron los valores de biomasa por estrato con el MFE50.

4.2. Determinación del contenido en carbono de la biomasa muerta

Para el presente estudio se utilizaron los datos de madera muerta para el periodo 2009-2017 y los datos de detritus (*Litter*) para el periodo 2014-2017 de la Red Europea de Daños en los Bosques, Nivel I.

Para esto, se seleccionaron las parcelas muestreadas en Castilla-La Mancha y se obtuvieron los valores de madera muerta y de detritus para cada parcela. Las parcelas se agruparon según el tipo de formación arbolada (según el identificador de formación arbórea según el MFE) y se calculó un promedio de ambos parámetros. Ambos promedios resultantes se sumaron para obtener un valor final de CBm para cada tipo de formación arbolada.

Finalmente, el valor de CBm se asoció a la cartografía del MFE50 de Castilla-La Mancha.

En la siguiente tabla se muestran las formaciones arboladas de las cuales se han podido recopilar los datos, así como los valores finales de CBm asociados a las formaciones.

Espece	ID MFE50	CBm (t C/ha)
Melojares (<i>Quercus pyrenaica</i>)	15	1,65
Quejigares (<i>Quercus faginea</i>)	16	1,93
Encinares (<i>Quercus ilex</i>)	18	2,07
Sabinares albares (<i>Juniperus thurifera</i>)	20	0,64
Pinares de pino albar (<i>Pinus sylvestris</i>)	21	5,27
Pinares de pino piñonero (<i>Pinus pinea</i>)	23	3,91
Pinares de pino carrasco (<i>Pinus halepensis</i>)	24	3,91
Pinares de pino salgareño (<i>Pinus nigra</i>)	25	3,58
Encinares (<i>Quercus ilex</i>)	31	1,96
Bosques ribereños	33	2,98
Dehesas	34	1,11
Pinares de pino pinaster en región mediterránea	61	5,00
Mezcla de coníferas autóctonas en la región biogeográfica mediterránea	393	4,92
Mezclas de coníferas y frondosas autóctonas en la región biogeográfica mediterránea	403	3,65

4.3. Determinación del contenido de carbono orgánico del suelo

Para los tipos de ecosistemas englobados dentro de los grupos de cultivos (Cropland) y Herbazales (Grassland) se realizó la búsqueda y filtrado de información a través del campo "Definición" del MFE50. Seguidamente, se clasificó cada tipo estructural dentro de uno de los dos grupos anteriormente mencionados y se asignó el valor de carbono correspondiente.

Para los tipos estructurales clasificados como bosque se optó por emplear un campo de búsqueda que permitiera discernir el tipo de composición de la masa arbolada (frondosas, coníferas o mixto). Para ello se realizó la búsqueda mediante el campo “NOM_FORARB” del MFE50.

En el caso de los bosques, se optó por clasificar los tipos estructurales en base a la provincia, mientras que para cultivos y herbazales la clasificación se llevó a cabo a nivel de región.

La siguiente tabla muestra el valor asignado a cada tipo estructural y el campo de búsqueda utilizado.

Uso del suelo		COS (t C/ha)	Campo MFE	Nombre MFE50
Cultivos	Anuales	45,26	DEFINICION	Agrícola y prados artificiales, Cultivo con arbolado disperso, Mosaico desarbolado sobre cultivo.
	Leñosos	38,09	DEFINICION	
Herbazal	Pastizales	68,13	DEFINICION	Complementos del bosque, Herbazal, Monte sin vegetación superior, Prado, Prado con sebes
	Matorrales	62,3	DEFINICION	Matorral
	Arbolado	57,05	DEFINICION	Dehesa, Mosaico arbolado sobre cultivo, Mosaico arbolado sobre forestal desarbolado
			NOM_FORARB	Arbolado disperso de coníferas, Arbolado disperso de coníferas y frondosas, Arbolado disperso de frondosas

Para el tipo estructural *Pastizal-Matorral* se aplicó como valor de carbono orgánico del suelo el promedio entre el valor de pastizal y el valor de matorral (65,215). En este sentido, se optó por clasificar todas las zonas de cultivo como cultivo anual debido a que la cartografía no detallaba el tipo de cultivo establecido en cada zona, y debido también a que el tipo de cultivo más extendido en Castilla-La Mancha es el de anuales.

Para los tipos estructurales clasificados como bosques se optó por asignar los valores de COS por provincia, ya que se presentan tipos de formaciones arbóreas que no se encuentran presentes en todas las provincias. Para obtener un nivel más detallado de la composición del bosque se realizó la búsqueda mediante el campo “NOM_FORARB” del MFE50.

A continuación, se muestra el valor asignado a cada tipo de formación arbórea por provincia.

Provincia	Uso del suelo	COS (t C/ha)	Nombre MFE50
Albacete	Bosque	Frondosas	65,24 Bosques mixtos de frondosas en la región biogeográfica mediterránea, Bosques ribereños, Choperas y plataneras de producción, Encinares, Eucaliptales, Quejigares
		Coníferas	65,21 Enebrales, Mezcla de coníferas autóctonas en la región biogeográfica mediterránea, Pinares de pino carrasco, Pinares de pino pinaster, Pinares de pino piñonero, Pinares de pino salgareño, Sabinares albares, Sabinares de <i>Juniperus phoenicia</i>
		Mixto	98,57 Mezcla de coníferas y frondosas autóctonas en la región biogeográfica mediterránea, Otras especies de producción en mezcla.
Ciudad Real	Bosque	Frondosas	65,24 Acebuchales, Alcornocales, Algarrobales, Bosques mixtos de frondosas en la región biogeográfica mediterránea, Bosques ribereños, Castañares, Choperas y plataneras de producción, Encinares, Eucaliptales, Fresnedas, Frondosas alóctonas con autóctonas, Frondosas alóctonas invasoras, Madroñales, Melojares, Quejigares
		Coníferas	65,21 Coníferas alóctonas de gestión, Enebrales, Mezcla de coníferas autóctonas con alóctonas, Mezcla de coníferas autóctonas en la región biogeográfica mediterránea, Otras coníferas alóctonas de producción, Pinares de pino carrasco, Pinares de pino pinaster, Pinares de pino radiata, Sabinares albares
		Mixto	98,57 Mezcla de coníferas con frondosas autóctonas con alóctonas, Mezcla de coníferas y frondosas autóctonas en la región mediterránea, Otras especies de producción en mezcla
Cuenca	Bosque	Frondosas	65,24 Bosques mixtos de frondosas en la región biogeográfica mediterránea, Bosques ribereños, Choperas y plataneras de producción, Encinares, Madroñales, Melojares, Quejigares
		Coníferas	65,21 Coníferas alóctonas de gestión, Enebrales, Mezcla de coníferas autóctonas con alóctonas, Mezclas de coníferas autóctonas en la región biogeográfica mediterránea, Pinares de pino albar, Pinares de pino carrasco, Pinares de pino pinaster, Pinares de pino piñonero, Pinares de pino salgareño, Sabinares albares, Sabinares de <i>Juniperus phoenicia</i>
		Mixto	98,57 Mezclas de coníferas y frondosas autóctonas en la región biogeográfica mediterránea, Otras especies de producción en mezcla.

Provincia	Uso del suelo	COS (t C/ha)	Nombre MFE50
Guadalajara	Bosque	Frondosas	65,24 Abedulares, Acebuchales, Bosques mixtos de frondosas en la región biogeográfica mediterránea, Bosques ribereños, Choperas y plataneras de producción, Encinares, Fresnedas, Frondosas alóctonas con autóctonas, Frondosas alóctonas invasoras, Hayedos, Melojares, Quejigares
		Coníferas	65,21 Coníferas alóctonas de gestión, Enebrales, Mezclas de coníferas autóctonas con alóctonas, Mezclas de coníferas autóctonas en la región biogeográfica mediterránea, Pinares de pino albar, Pinares de pino carrasco, Pinares de pino negro, Pinares de pino pinaster en región mediterránea, Pinares de pino piñonero, Pinares de pino salgareño, Sabinares albares, Sabinares de <i>Juniperus phoenicia</i>
		Mixto	98,57 Mezclas de coníferas con frondosas autóctonas con alóctonas, Mezclas de coníferas y frondosas autóctonas en la región biogeográfica mediterránea
Toledo	Bosque	Frondosas	65,24 Acebuchales, Alcornocales, Bosques mixtos de frondosas en la región biogeográfica mediterránea, Bosques ribereños, Castañares, Choperas y plataneras de producción, Encinares, Eucaliptales, Fresnedas, Frondosas alóctonas con autóctonas, Madroñales, Melojares, Quejigares
		Coníferas	65,21 Coníferas alóctonas de gestión, Enebrales, Mezcla de coníferas autóctonas en la región biogeográfica mediterránea, pinares de pino carrasco, pinares de pino pinaster en la región mediterránea, pinares de pino piñonero, `pinares de pino salgareño
		Mixto	98,57 Mezcla de coníferas con frondosas autóctonas con alóctonas, mezcla de coníferas y frondosas autóctonas en la región biogeográfica mediterránea, otras especies de producción en mezcla

4.4. Estructura de la tabla de atributos de la cobertura cartográfica vectorial resultante

Partiendo de la estructura de la tabla de atributos del MFE50, se añaden los siguientes campos:

- ✓ **CBv_ma_06:** sumatorio de los valores de contenido de carbono en la biomasa viva para el año 2006, expresada en t C/ha, ponderados por el porcentaje de ocupación de los pies mayores (DBH \geq 7,5 cm) de las tres especies dominantes dentro del polígono.
- ✓ **CBv_me_06:** sumatorio de los valores de contenido de carbono en la biomasa viva para el año 2006 en t C/ha ponderados por el porcentaje de ocupación de

los pies menores ($DBH \leq 7,5$ cm) de las tres especies dominantes dentro del polígono.

- ✓ **CBv_mat_06:** valor de contenido en carbono de la biomasa viva del matorral bajo el estrato forestal para el año 2006, expresado en t C/ha.
- ✓ **CBv_ma_22:** sumatorio de los valores de contenido en carbono de la biomasa viva para el año 2022 expresado en t C/ha, y ponderados por el porcentaje de ocupación de los pies mayores ($DBH \geq 7,5$ cm) de las tres especies dominantes dentro del polígono.
- ✓ **CBv_me_22:** sumatorio de los valores de contenido en carbono de la biomasa viva para el año 2022, expresado en t C/ha, y ponderados por el porcentaje de ocupación de los pies menores ($DBH \leq 7,5$ cm) de las tres especies dominantes dentro del polígono.
- ✓ **CBv_mat_22:** contenido en carbono de la biomasa viva para el estrato forestal de matorral para el año 2022, expresada en t C/ha.
- ✓ **CBm:** valor correspondiente al contenido en carbono de la biomasa muerta expresado en t C/ha.
- ✓ **COS:** valor del contenido en carbono del suelo expresado en t C/ha.
- ✓ **CT_06:** resultado del sumatorio de los valores de los campos CBv_ma_06, CBv_me_06, CBv_mat_06, CBm y COS.
- ✓ **CT_22:** resultado del sumatorio de los valores de los campos CBv_ma_22, CBv_me_22, CBv_mat_22, CBm y COS.
- ✓ **Superficie:** área en hectáreas de los polígonos del MFE.
- ✓ **Biomasa:** cantidad de carbono total del polígono expresada en toneladas, resultado de multiplicar los campos CT_22 y Superficie.

4.5. Reclasificación de valores para su visualización categorizada

Para la representación cartográfica del servicio ecosistémico se ha seleccionado el campo *CT_22* y se ha dividido en 5 clases mediante el método de rupturas naturales *Jenks*. Las clases se han renombrado como: Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto o Muy Alto. El valor seleccionado para definir la clase correspondiente a contenido de carbono Muy Bajo se ha modificado a 45,26, cantidad de carbono correspondiente a los sistemas clasificados como cultivo. Como resultado final las clases quedarían definidas según los siguientes rangos de valores:

Clase	Valor superior
Sin constancia de SE	< 45,26
Muy bajo	≤ 79
Bajo	≤ 125
Medio	≤ 160

Clase	Valor superior
Alto	≤ 211
Muy Alto	≤ 326,44

4.6. Reclasificación de valores para la evaluación de componentes

Para la evaluación de componentes, la guía metodológica establece la conveniencia de identificar en el territorio tres grandes categorías de superficies:

- **Áreas clave** de provisión de servicios ecosistémicos: comprende los valores máximos, lo que indica capacidad máxima de provisión.
- **Áreas de provisión limitada** de servicios ecosistémicos: comprende los valores medios, lo que indica capacidad moderada de provisión.
- **Áreas de provisión baja** de servicios ecosistémicos: comprende valores bajos, lo que indica capacidad baja de provisión.

Con este fin, se realiza una reclasificación alternativa de los valores obtenidos por el método de las rupturas naturales (previa exclusión de valores = 0), para identificar las áreas indicadas, quedando de la siguiente manera:

Clase	Valor superior	Valor reclasificado
Áreas clave de provisión del servicio ecosistémico	≤ 326,44	3
Áreas de provisión limitada del servicio ecosistémico	≤ 157,46	2
Área de provisión baja de servicios de los ecosistemas	≤ 88,33	1
Sin constancia de prestación de servicio	0	0

Para la reclasificación de valores, se utiliza como ráster de alineación y de máscara el ráster original con los valores brutos generado a partir de la capa vectorial.

5. BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

- Aulló-Maestro, I., Gómez, C., Marino, E. et al. 2021. *Integration of field sampling and LiDAR data in forest inventories: comparison of area-based approach and (lognormal) universal kriging*. *Annals of Forest Science*, 78, 39.
- 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(14):1693.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 2020. *Informe de Inventario Nacional Gases de Efecto Invernadero*. Comunicación al Secretariado de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático.

<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/inventario-gases-efecto-invernadero/>

- Ministerio para la transición ecológica y reto demográfico. *Guía Metodológica para la Identificación de los Elementos de Infraestructura Verde de España (Fase 1)*. Estrategia Estatal de Infraestructura Verde y de la Conectividad y la Restauración Ecológicas.

https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/guia_metod_inf_verde_tcm30-531071.pdf

- Montero, G., López-Leiva, C., Ruiz-Peinado, R., López-Senespleda, E., Onribia 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*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Madrid
- Montero, G., Ruiz-Peinado, R., Muñoz, M., (2005). Monografías INIA: Serie Tierras forestales. Nº 13-2005. *Producción de biomasa y fijación de CO2 por los bosques españoles*. Ed. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Ministerio de Educación y Ciencia. ISBN: 84-7498-512-9. Madrid.
- Rodríguez Martín, J.A., Álvaro-Fuentes, J., Gonzalo, J., Gil, C., Ramos-Miras, J.J., Grau Corbí, J.M., Boluda, R. (2016). *Assessment of the soil organic carbon stock in Spain*. Geoderma 264, 117–125.
- Shi, L., Liu, S. 2017. Methods of Estimating Forest Biomass: A Review. En J.S. Tumuluru (Ed.), *Biomass Volume Estimation and Valorization for Energy*. 23-46. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/65733>
- Yang, M., Zhou, X., Liu, Z., Li, P., Tang, J., Xie, B., Peng, C. 2022. *A Review of General Methods for Quantifying and Estimating Urban Trees and Biomass*. Forests. 13, 616.



Castilla-La Mancha

Consejería de Desarrollo Sostenible
Dirección General de Medio Natural y Biodiversidad
c/ Río Estenilla, s/n
45.071 – Toledo

Tel.: 925.24.88.29
e-mail: dgmnb@jccm.es