

# MAPA DEL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO EN ESPAÑA

Estimación a partir de los datos del  
Inventario Nacional de Erosión de Suelos



Dirección General de Biodiversidad,  
Bosques y Desertificación.



Aviso legal: Los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

#### **Edita**

©: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO)  
Madrid 2022. [www.miteco.es](http://www.miteco.es) Plaza de San Juan de la Cruz 10 28003 Madrid. ESPAÑA

NIPO: 665-22-045-4

Depósito Legal: M-27344-2022

ISBN: 978-84-18508-84-4

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado: <https://cpage.mpr.gob.es>

#### **Autores**

LEOPOLDO ROJO SERRANO  
Dirección General de Biodiversidad, Bosques y Desertificación.  
Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

ARACELI MARTÍNEZ RUIZ, RAQUEL BRAVO LLORENTE, JUAN JOSÉ SANABRIA DONOSO y SARA MARTÍN PÉREZ.  
Tecnologías y Servicios Agrarios, S.A., S.M.E., M.P. (TRAGSATEC, Grupo TRAGSA)

#### **Foto de cubierta**

“Suelo bajo pinar de Pino pinaster, atlántica. Litoral de Lires, Cee, A Coruña. 2017”



<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
1.1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	5
1.2. DEFINICIONES Y CONCEPTOS	6
<b>2. DATOS DE PARTIDA</b>	<b>9</b>
2.1. INFORMACIÓN DE PARTIDA	9
2.1.1. Información procedente de las parcelas del INES	9
2.1.2. Base cartográfica de apoyo	11
2.2. REVISIÓN TRABAJOS ESTIMACIÓN INFORMACIÓN SOBRE COS Y LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN SU DISTRIBUCIÓN	12
2.2.1. Análisis de estudios disponibles sobre la cuantificación del carbono orgánico del suelo en España y sobre los factores que influyen en su distribución espacial	12
2.2.2. Análisis de estudios sobre factores que influyen en la distribución vertical del carbono orgánico del suelo	14
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>17</b>
3.1. DISEÑO DEL MUESTREO	17
3.2. LOCALIZACIÓN DE PARCELAS DE CAMPO	22
3.3. TRABAJOS DE CAMPO	23
3.4. ANÁLISIS EN LABORATORIO DE MUESTRAS DE SUELO	28
3.5. ESTIMACIÓN DEL COS A 30 CM MEDIANTE ANÁLISIS ESTADÍSTICO	29
3.5.1. Estadística descriptiva	30
3.5.2. Análisis espacial	31
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>32</b>
4.1. CONTENIDO DE CARBONO: COMPARATIVA VALORES DE COS10 OBTENIDOS EN LAS PARCELAS INES Y EN LAS PARCELAS COS1030	32
4.1.1. Análisis estadístico descriptivo de los valores de COS10	32
4.1.2. Comparación de resultados de las mediciones de COS a 10 cm con los valores obtenidos en las parcelas del INES	40
4.2. CONTENIDO DE CARBONO: COMPARATIVA DE VALORES DE COS30 EN LAS PARCELAS COS Y OTROS ESTUDIOS NACIONALES DE COS	43

4.2.1. Contenido de carbono en los primeros 30 cm del suelo: estadísticos a partir de los valores obtenidos en los puntos de muestreo .....	43
4.2.2. Comparación de resultados con otros estudios COS .....	56
4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS VARIABLES DE DISTRIBUCIÓN VERTICAL DEL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO .....	59
4.3.1. Análisis estadístico descriptivo de la relación obtenida en las parcelas COS entre el contenido de carbono a 10-30 cm y el contenido de 0-10 cm .....	59
4.3.2. Análisis del grado de dependencia entre la variable de distribución vertical y las variables explicativas .....	87
4.4. ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS VARIABLES DE DISTRIBUCIÓN VERTICAL DEL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO .....	89
4.4.1. Interpolación de los valores de la relación de contenido de carbono entre los horizontes (distribución vertical) .....	89
4.4.2. Interpolación de los valores de COS a 10 cm con los valores obtenidos en las parcelas del INES .....	90
4.4.3. Generación del mapa de carbono a 30 cm .....	92
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	<b>94</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>97</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>99</b>

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Antecedentes y objetivos

El suelo representa la mayor reserva de carbono orgánico de la biosfera, suponiendo el 80 % del carbono almacenado en los ecosistemas terrestres (Lal et al. 2008, citado en González et al. 2020). La acumulación de carbono en el suelo gracias a determinadas prácticas de gestión sostenible de la tierra es la opción más viable para la lucha contra la degradación de las tierras y para el secuestro de carbono.

El carbono orgánico del suelo (COS) como indicador supone un elemento contributivo esencial para la medición del progreso hacia la implementación de las tres convenciones de Río, así como para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) sobre Neutralidad en la Degradación de la Tierra (NDT) y cambio climático<sup>1</sup>.

En consecuencia, la información sobre COS se utiliza para atender las obligaciones de informar en diversos organismos internacionales, entre otros:

- Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD): las “tendencias en la reserva de carbono en la superficie y en el suelo”, que incluye como indicador indirecto la “reserva de carbono orgánico del suelo<sup>2</sup>” es uno de los indicadores que la CNULD ha aprobado para medir los resultados de las actuaciones para la lucha con la degradación de las tierras y para alcanzar la meta de la NDT.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (UNFCCC por sus siglas en inglés): el COS forma parte del Inventario General de Gases de Efecto Invernadero en el marco del sector “Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y selvicultura” (LULUCF por sus siglas en inglés).

Además, la información sobre COS es requerida por las comunidades autónomas, entre otras porque ha sido utilizada en el marco de seguimiento y evaluación propuesto por la Comisión Europea para el periodo 2014 – 2020 de los programas de desarrollo rural cofinanciados por el Fondo Europeo Agrario de Desarrollo Rural (FEADER). Así, entre los denominados Indicadores Comunes de Contexto (ICC) se incluye el Indicador *ICC 41- Soil organic matter in arable land: Estimates of Soil Organic Carbon (SOC) stocks in topsoil in arable land*.

Es pues fundamental disponer de mediciones del carbono orgánico almacenado en el suelo con el mayor detalle posible que sirvan de base para evaluar las tendencias en los stocks de carbono y la eficacia de las medidas adoptadas.

En 2002 el entonces Ministerio de Medio Ambiente, a través de la Dirección General para la Conservación de la Naturaleza, inició el **Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES)** con el objetivo de mejorar y actualizar el estudio de la erosión en España y determinar la evolución en el tiempo de los procesos de erosión mediante su inventariación de forma continua. Utiliza el modelo RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*). Para la determinación de algunos de los factores del modelo RUSLE (factores K, C y P) se realiza un muestreo sistemático en campo con un punto de muestreo cada 2.500 ha (malla de 5 km x 5 km), que incluye la recogida de muestras de suelo para su análisis en laboratorio.

<sup>1</sup> Informe Político-Científico 02 – Septiembre de 2016. Una tierra equilibrada. Marco científico conceptual para la Neutralidad en la Degradación de las Tierras. Science-Policy Interface. CNULD.

<sup>2</sup> Decision 22/COP.11 Asesoramiento sobre la mejor forma de medir los progresos en la consecución de los objetivos estratégicos 1, 2 y 3 de la Estrategia.

La Subdirección General de Política Forestal y Lucha contra la Desertificación (SGPFLD) del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) ha realizado un análisis de las posibilidades de utilización de los datos del INES para la medición del (COS), concluyendo que:

- Todos los datos necesarios para calcular el COS (contenido en carbono, densidad aparente, y porcentaje de elementos gruesos) se obtienen para cada una de las parcelas del INES, ya que son datos que o bien se toman en campo o bien son resultado del análisis de laboratorio de la muestra de suelo recogida.
- Los trabajos de campo del INES aportan una alta densidad de puntos de muestreo y obtenidos con una sistemática idéntica (el número total de parcelas para toda España es del orden de 22.500), algo muy poco habitual en los estudios edafológicos dado el elevado coste de los trabajos de recogida y análisis de muestras, por lo que resulta de gran interés aprovechar la gran cantidad de datos de las muestras ya recogidas y analizadas para este inventario.

Ahora bien, de acuerdo con los estándares utilizados por la comunidad internacional, principalmente las directrices del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (en adelante, Guía IPCC 2006) la profundidad requerida para la estimación del COS es de 30 cm, pero de acuerdo con la metodología RUSLE la muestra de suelo del INES que se analiza en laboratorio se corresponde únicamente con los 10 cm superiores.

Para soslayar este inconveniente se consideró necesario realizar un ejercicio de extrapolación de la cantidad de carbono medido a 10 cm (COS10) al carbono contenido en los primeros 30 cm del suelo (COS30), apoyado en el levantamiento de un conjunto de parcelas en las que se recogieran dos muestras de suelo, una de 0 a 10 cm de profundidad y otra del horizonte inmediatamente inferior, de 10 a 30 cm.

Este ejercicio de extrapolación debía permitir estimar las reservas de carbono orgánico en el suelo en España con un nivel de detalle muy superior al de las evaluaciones de COS elaboradas para España con anterioridad, contribuyendo a ofrecer una mejor respuesta a las diversas demandas de información sobre el COS a nivel nacional e internacional.

Durante la ejecución de los trabajos se han tenido en cuenta los estudios ya disponibles a distintos niveles y escalas, tanto del contenido de COS como de su distribución en profundidad, así como otras iniciativas en ejecución relacionados con el objeto de este trabajo, entre ellas la de la Alianza Mundial por el Suelo (AMS) y el Grupo Técnico Intergubernamental de Suelos (GTIS) (GSP / ITPS<sup>3</sup> por sus siglas en inglés) para realizar una evaluación global del COS basada en conjuntos de datos espaciales de los suelos de los países.

Esta publicación presenta los principales resultados del trabajo realizado por la SGPFLD para la “Estimación del carbono orgánico del suelo a la profundidad de 30 cm (COS30) en España a partir de los datos obtenidos en el Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES)”.

## 1.2. Definiciones y conceptos

### ***Cálculo del carbono orgánico del suelo***

Para el cálculo del COS partimos de la siguiente fórmula:

$$\text{COS} = \text{C} * \text{DA} * \text{Profundidad} * (1 - \text{EG})$$

<sup>3</sup> Global Soil Partnership (GSP) / Intergovernmental Technical Panel on Soils (ITPS).

donde:

COS: carbono orgánico del suelo en un horizonte ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ). Siendo  $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2} = 100 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , para obtener el COS en  $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$  es necesario dividir por 100 el valor obtenido con la fórmula anterior.

C: concentración de carbono en la tierra fina (tanto por 1).

DA: densidad aparente ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ).

Profundidad: grosor del horizonte (cm).

EG: elementos gruesos, % del volumen del horizonte ocupado por piedras y gravas (tanto por 1).

Para el cálculo del carbono orgánico (C) se utiliza el dato de materia orgánica (MO) dividiéndolo por 1,72 (coeficiente de Waksman) considerando que la materia orgánica del suelo tiene un 58 % de carbono orgánico<sup>4</sup>.

## Categorías de usos de la tierra UNFCCC

Para la categorización de usos del suelo se han utilizado las “categorías generales de usos de la tierra UNFCCC”, asignando a cada punto de muestreo las categorías generales principales de FL (Forest), GL (Grassland), CL (Cropland) y OL (Other Land<sup>5</sup>) de acuerdo con la descripción de las definiciones adoptadas en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI 1990-2019), coherentes con las definiciones de la Guía IPCC 2006 para los Inventarios.

**Tabla 1.** Definiciones adoptadas sobre las categorías generales de usos de la tierra (Extracto de la Tabla 6.1.3. GEI 1990-2019).

Categoría uso UNFCCC	Definiciones
Tierras forestales (FL)	<p>Tierra con vegetación leñosa y coherente con los umbrales utilizados para definir las tierras forestales en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, también comprende sistemas con vegetación actualmente inferior al umbral de la categoría de tierras forestales, pero que se espera que lo rebasen.</p> <p>La definición operativa de <b>bosque</b> para la Convención y para el Protocolo de Kioto, queda determinada por las siguientes especificaciones:</p> <p>Bosque, comprende las tierras pobladas con especies forestales arbóreas como manifestación vegetal dominante y que se ajusten a los siguientes parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <i>Fracción de cabida cubierta arbórea (FCC) <math>\geq 20</math> %.</i></li> <li>· <i>Superficie mínima 1 hectárea.</i></li> <li>· <i>Altura mínima de los árboles maduros 3 metros.</i></li> </ul> <p>También deben ser considerados bosques, los sistemas de vegetación actualmente inferiores a dichos umbrales pero que se espera que lo rebasen.</p> <p>Adicionalmente se ha considerado para el cómputo de las superficies de bosque un umbral de anchura mínima de 25 metros para los elementos lineales</p>
Pastizales (GL)	<p>Tierras de pastoreo y los pastizales dominados por vegetación herbácea o arbustiva, así como con vegetación leñosa con <b>FCC arbórea mayor o igual a 10%</b>, que no se consideran tierras de cultivo y que están por debajo de los valores umbrales utilizados en la categoría de tierras forestales</p>
Cultivos o tierras agrícolas (CL)	<p>Tierras de cultivo, 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 de tierras forestales</p>
Otras tierras (OL):	<p>Suelo desnudo, roca, hielo y todas aquellas zonas que no estén incluidas en ninguna de las otras cinco categorías anteriores</p>

<sup>4</sup> Métodos Oficiales de Análisis; tomo III (1994). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

<sup>5</sup> No se han considerado en este trabajo las categorías de Humedales (WL) y Asentamientos o artificial (SL).

Para profundizar en el análisis de los valores obtenidos por usos del suelo se han utilizado también los denominados subusos o subcategorías UNFCCC, que desglosan las categorías generales en las siguientes clases:

**Tabla 2.** Usos y subusos contemplados en UNFCCC

Uso UNFCCC		SubUso UNFCCC	
FL	Tierras forestales	FLb	Frondosas
		FLc	Coníferas
			Mixto
GL	Pastizales	GLw	Pastizales con vegetación leñosa FCC >= 10
		GLs	Pastizales de vegetación arbustiva
		GLg	Pastizales de vegetación herbácea
CL	Tierras de cultivo	CLp	Cultivos leñosos
		CLa	Cultivos herbáceos
OL	Otras tierras		

### Vegetación del INES agrupada

Considerando que parámetros como la densidad del arbolado, la estructura de la vegetación y el aporte extra de agua podrían a priori tener influencia tanto en el contenido como en la distribución del carbono en los primeros horizontes del suelo, se ha realizado para este análisis una clasificación ad hoc de las clases de vegetación utilizadas en el INES, cuya diferencia con las subcategorías de UNFCCC estriba en que discrimina las formaciones arboladas según la fracción de cabida cubierta (Fcc) y los cultivos según sean de regadío o de secano. Además se han reunido en una misma clase denominada “praderas, pastizales y herbazales” todas las formaciones vegetales herbáceas independientemente de si son terrenos forestales o agrícolas<sup>6</sup>.

**Tabla 3.** Agrupación de las clases de vegetación utilizadas en el INES.

Uso UNFCCC	Vegetación INES agrupada
FL	Forestal arbolado FFcc > 66 %
FL	Forestal arbolado 33 % < Fcc < 66 %
FL	Forestal arbolado Fcc < 33 %
GLw	Matorral con arbolado disperso
GLs	Matorral
GLg/CLa	Praderas, pastizales y herbazales
CLa	Cultivos herbáceos de regadío
CLa	Cultivos herbáceos de secano
CLp	Cultivos leñosos de regadío
CLp	Cultivos leñosos de secano
OL	Desiertos y semidesiertos de vegetación

<sup>6</sup> En esta categoría de praderas, pastizales y herbazales se agrupan las muestras recogidas en pastizales y herbazales de terrenos calificados en el MFE como forestal (se corresponden con el subuso GLg de la tipología de subusos UNFCCC) y las muestras de la clase “praderas y pastizales” del INES pero cuyo uso principal es agrícola según el MFE (subuso CLa de UNFCCC).



## 2. DATOS DE PARTIDA

### 2.1. Información de partida

#### 2.1.1. Información procedente de las parcelas del INES

A partir de las bases de datos provinciales del INES se ha elaborado una base de datos nacional de parcelas INES (BD-COS10-INES) que contiene, además de los datos necesarios para el cálculo directo del COS a 10 cm en cada parcela del INES, todos aquellos campos (de caracterización en gabinete de la parcela de muestreo, de observación de campo y de análisis de laboratorio) que se han considerado necesarios como apoyo para la estimación del COS a 30 cm. Se han añadido además campos de reclasificación y homogeneización (tipo de vegetación y usos UNFCCC, región climática, altitud, pendiente...), campos procedentes de cruces con capas temáticas (como es el caso de la precipitación y temperatura) y los campos necesarios para el cálculo del COS10.

Descartando las parcelas sobre uso del suelo artificial o láminas de agua (34 en total) el número definitivo de parcelas INES utilizadas para el estudio ha sido de 22.545, de las cuales tienen calicata (y por lo tanto datos de COS10) un total de 22.321. El resto de parcelas (224, un 1 %) se corresponden con parcelas rocosas, en las que se supone un valor 0 de contenido de carbono.

Esta integración de las 50 bases de datos provinciales del INES ha sido la herramienta principal de trabajo para los análisis estadísticos y espaciales previos a la campaña de campo y para el proceso de datos posterior.

La tabla adjunta recoge la relación y descripción de los campos de información incluidos en la base de datos de parcelas del INES.

**Tabla 4.** Campos de información incluidos en la base de datos de parcelas del INES.

Nombre	Descripción	Ud
Provincia	Código INE de la provincia.	
Código parcela	Código de identificación de la parcela. Los dos primeros dígitos se corresponden con el código de la provincia.	
Huso horario	Huso horario de la ubicación del punto de muestreo.	
Coordenada X	Coordenada X del punto de muestreo en su huso original. El sistema de coordenadas es Datum ED50.	
Coordenada Y	Coordenada Y del punto de muestreo en su huso original.	
Coordenada X huso 30	Coordenada X del punto de muestreo en el huso 30.	
Coordenada Y huso 30	Coordenada Y del punto de muestreo en el huso 30.	
Municipio	Código INE del término municipal.	
Nº Hoja 50.000	Nº de Hoja del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000	
Calicata	Existencia de calicata.	S/N
Carbono orgánico (C)	Contenido de carbono orgánico en la tierra fina (< 2mm), obtenido a partir del dato de porcentaje en peso referido al total de tierra fina de materia orgánica (MO), dividiéndolo por 1,72 (coeficiente de Waksman) considerando que la MO del suelo tiene un 58 % de carbono orgánico.	%
Densidad aparente (DA)	Densidad seca aparente de la muestra de suelo completa. Se han homogeneizado las unidades de la DA a g/cm <sup>3</sup> (en unas provincias la DA se expresaba en k/m <sup>3</sup> y en otras en g/cm <sup>3</sup> ).	g/cm <sup>3</sup>

Nombre	Descripción	Ud
Elementos gruesos (EG)	Contenido total de elementos gruesos > 2 mm, calculado a partir de los elementos gruesos analizados por el laboratorio (porcentaje en peso de tierra gruesa o elementos gruesos > 2 mm referido al total de la muestra) y de la pedregosidad no muestreada (peso de las piedras de gran tamaño medido durante la realización de la calicata que no se envían a analizar al laboratorio).	%
Carbono orgánico del suelo a 10 cm (COS10)	Carbono orgánico del suelo en los primeros 10 cm obtenido a partir de datos (C, DA y EG) obtenidos de las muestras de suelo recogidas en cada parcela del INES.	g/cm <sup>2</sup>
Uso UNFCCC	Categorías generales de usos de la tierra utilizadas en la UNFCCC. Se asigna a partir de la información sobre el "Tipo de parcela INES" y la "Fcc Arbórea", de acuerdo con la descripción de las definiciones adoptadas en el Informe GEI.	
Uso UNFCCC. Subcategorías	Subcategorías de usos de la tierra. (Clasificación provisional hasta acuerdo definitivo sector LULUCF – España).	
Fcc arbórea	Fracción de cabida cubierta arbórea.	%
Fcc total	Fracción de cabida cubierta total (arbórea, matorral y herbazal).	%
Vegetación	Tipos de vegetación ad hoc para el INES. Se han homogeneizado las claves para todas las provincias <sup>7</sup> .	
Región Climática	Se añade un campo para la "Región climática" según la Correspondencia de código Allué y Orden con Región Climática utilizada en el Informe GEI. Se vincula al campo CodFitoclima ya existente.	
Subregión fitoclimática	Clasificación climática de Allué.	
Precipitación media anual	Valor de la Precipitación media anual del periodo 1981-2010.	mm
Temperatura media anual	Valor de la Temperatura media anual del periodo 1981-2010.	°C
Cota (m)	Valor numérico de la altitud en la parcela.	m
Banda altitudinal	Banda altitudinal según clave homogénea para todas las provincias.	
Pendiente	Valor numérico de la pendiente en la parcela.	%
Rango de pendiente	Rangos de pendiente según clave homogénea (6 clases) para todas las provincias.	
Rango de pendiente	Rangos de pendiente según clave homogénea (3 clases) para todas las provincias.	
Exposición		
Litología	Litofacies erosiva según clasificación ad hoc del INES.	S/N
Regadío	Existencia o no de regadío.	
Arcilla (%)	Contenido en arcilla (< 0,002 mm). Porcentaje en peso referido al total de tierra fina, con precisión de 1 %.	%

<sup>7</sup> La clave para codificar la vegetación utilizada en el INES no es la misma en todas las provincias, puesto que en ocasiones se agrupan niveles inferiores en función de las necesidades de la estratificación realizada en cada una de ellas. En consecuencia, y siendo obviamente necesaria una clasificación sistemática y homogénea de la vegetación para este estudio, una vez decidida la agrupación de usos del suelo/vegetación a utilizar en el proceso de datos posterior a la campaña de campo, se ha realizado una reclasificación de la leyenda de vegetación del INES en un número reducido de clases ("vegetación agrupada INES"), estableciendo la correspondiente pasarela para recodificar este campo.

Además se ha generado para este estudio una **capa nacional con las coordenadas georreferenciadas de las parcelas INES<sup>8</sup>**, como se ha dicho un total de 22.545 en una malla de aproximadamente 5 x 5 km, asociando a cada punto la información alfanumérica de la base de datos.

Esta información generada a partir del INES sirve de base para los **análisis previos de los valores de COS10** (estadística descriptiva y análisis espacial) a los que se hará referencia más adelante realizados como apoyo al diseño del muestreo para la estimación de las relaciones entre COS10 y COS30.

### 2.1.2. Base cartográfica de apoyo

Tras la identificación, análisis y evaluación de idoneidad de las **capas temáticas cartográficas de ámbito nacional** disponibles para la realización de este trabajo, se han utilizado las siguientes:

- **Tipo de clima:** Se ha utilizado la Clasificación climática de Allué según se describe en el “Mapa de Subregiones Fitoclimáticas de España Peninsular y Balear” (Allué, 1990). Además se ha utilizado la siguiente agrupación de subtipos fitoclimáticos en grandes regiones climáticas utilizada en el Inventario GEI 1990-2019<sup>9</sup>.

**Tabla 5.** Correspondencia de código Allué y Orden con Región Climática.

Código	Región climática / Fitoclima Allué
1	ÁRIDO
1	III(IV): Sahariano subhúmedo
2	MEDITERRÁNEO
2	IV(III): Mediterráneo subsahariano
3	IV1: Mediterráneo genuino seco
4	IV2: Mediterráneo genuino subtropical
5	IV3: Mediterráneo genuino
6	IV4: Mediterráneo genuino húmedo
7	IV(VI)1: Mediterráneo subnemocoral seco
8	IV(VI)2: Mediterráneo subnemocoral
3	CONTINENTAL
9	VI(IV)1: Nemoromediterráneo genuino
10	VI(IV)2: Nemoromediterráneo genuino húmedo
11	VI(IV)3: Nemoromediterráneo subnemocoral
12	VI(IV)4: Nemoromediterráneo submediterráneo
13	VI(VII): Nemoral subestepario
4	ATLÁNTICO
14	VI(V): Nemoral genuino fresco-tibio
15	VI: Nemoral genuino fresco
5	MONTANO
16	VIII(VI): Oroborealoide subnemocoral
17	X(VIII): Oroborealoide genuino

<sup>8</sup> Cuando comenzó este estudio todavía no habían finalizado los trabajos de integración del INES a nivel nacional.

<sup>9</sup> Extraída de Tabla A3.22.-Correspondencia de código Allué y Orden con Región Climática (apartado A3.2.7.- Estimación de los valores de C en suelos (SOC) por uso y provincia del Informe GEI). Región Climática:

- **Precipitación y Temperatura media anual.** Estas dos variables se incluyen en buena parte de las metodologías para elaborar mapas de COS, por lo que se han considerado, además del tipo de clima, para los análisis previos a la interpolación. Se han utilizado como fuente los mapas de precipitación media anual y de temperatura media anual del periodo 1981-2010 disponibles en el Sistema de Información Geográfica de Datos Agrarios (SIGA) del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) y proporcionados por la Subdirección General de Medios de Producción y Oficina Española de Variedades Vegetales.
- **Posición fisiográfica:** Para asignar los valores de altitud, pendiente y orientación a los puntos de muestreo de las parcelas COS1030 se ha utilizado un modelo digital del terreno (MDT) con una resolución de 5 metros, adecuado para trabajar a escala estatal.
- **Usos del suelo / vegetación:** Para caracterizar las parcelas de muestreo se han utilizado las versiones más actualizadas del Mapa Forestal de España (MFE) para los usos forestales (arbolado y desarbolado), integradas en el producto conocido como Foto Fija del MFE, y del Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC) para los usos agrícolas. Se han agrupado los usos con base en la clasificación de usos UNFCCC y de subcategorías de usos UNFCCC (un nivel más detallado de categorización de usos del suelo, que se establece en coordinación con los responsables del Informe GEI). Estas dos capas de usos del suelo han sido proporcionadas por la SGPFLD (Área de Inventarios) y por la Subdirección General de Cultivos Herbáceos e Industriales del Fondo Español de Garantía Agraria (FEGA) respectivamente.
- **Litología:** Mapa Geológico 1:1.000.000.

Toda esta información cartográfica se integra en un Sistema de Información Geográfica (SIG), a partir del cual se han realizado los cruces cartográficos necesarios como apoyo a los análisis estadísticos previos, al diseño de muestreo y a la caracterización de las parcelas de muestreo COS1030 previa a la generación de estadillos de campo.

## 2.2. Revisión trabajos estimación información sobre COS y los factores que influyen en su distribución

### 2.2.1. *Análisis de estudios disponibles sobre la cuantificación del carbono orgánico del suelo en España y sobre los factores que influyen en su distribución espacial*

El análisis se ha centrado fundamentalmente en aquellos trabajos que han generado un mapa de carbono, ya sea a nivel nacional o regional, estudiando, por un lado, las características de la base de datos de perfiles con la que se ha elaborado la medición del carbono, el tipo de muestreo y los métodos de análisis de suelo realizados para las tres variables que forman parte del cálculo del carbono y, por otro lado, las metodologías utilizadas para la generación de los mapas de carbono.

La incorporación de información georreferenciada procedente de los perfiles de las bases de datos analizadas como apoyo al proceso de interpolación para la obtención del carbono a 30 cm se descartó por varias razones, entre ellas que las metodologías eran demasiado diferentes entre sí y con la metodología utilizada en el INES para el cálculo de COS10, y que algunas estimaciones se basan en bases de datos de perfiles de suelo de distintos orígenes (distintos proyectos), incluyendo distintas profundidades.

No obstante, todos los estudios disponibles han sido de gran utilidad, como se verá más adelante, como contraste de resultados del proceso de datos tras los trabajos de campo.

Hay que advertir que la recopilación de los valores de COS estimados en estos trabajos es algo dificultosa, ya que los datos se refieren a diferentes agrupaciones de usos de suelo y/o distintas profundidades. La tabla adjunta

recoge valores de la media (o la mediana) de contenido de carbono encontrados en la literatura a profundidades entorno a los 30 cm, indicando el ámbito geográfico y el uso del suelo al que corresponden dichos valores.

**Tabla 6.** Ejemplos de valores de contenido de COS para España. Fuente: Elaboración propia a partir de la bibliografía consultada.

	Promedio de COS30 (t/ha)							Mediana COS30 (t/ha)
	Rodríguez Martín et al. (2016)	Doblas-Miranda et al. (2013)	GASOC-LUCAS	Calvo de Anta et al (2014)		NEIKER	Muñoz-Rojas (2012)	Informe GEI
<b>Uso UNFCCC</b>	Nacional	Nacional	Nacional	Galicia	AST-CANT-PV	País Vasco	Andalucía	Nacional
	30 cm	20-40 cm	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm	25 cm	30 cm
<b>FL</b>	65-98					71-76	39,9	51,39
<b>GL</b>	57-68					68-82	33,1	48,73
<b>FL + GL</b>		37-56			75-115			
<b>CL</b>	38-45				45-65	35-46	28,5-26,1	31,48
<b>TOTAL NACIONAL</b>	56,57		47,12	90-230			30,1	

Varios de estos estudios han analizado los factores que influyen en la distribución del carbono orgánico del suelo en España (distribución espacial u horizontal). Algunas conclusiones de estos estudios:

- El contenido de carbono orgánico presenta alta variabilidad y está muy influido por el uso del terreno. De las variables estudiadas, el clima y el uso son los dos factores de control más importantes del contenido de carbono orgánico del suelo, siendo mucho menor la influencia de otras variables como la altitud, la pendiente y el contenido en limo (Hontoria et al, 2004).
- La variabilidad del COS respondió a una compleja combinación de factores, siendo la precipitación en general el predictor más importante del COS, de manera positiva, aunque esta relación se debilitó a medida que la profundidad aumentaba. Este incremento del COS con la lluvia, y por tanto con la disponibilidad de agua en el suelo, se justifica por una posible mayor intensidad de los procesos biológicos y mayor aporte de biomasa, tanto en superficie como por debajo de ella en el suelo. Mientras que en la superficie el aporte principal de COS se debe a la biomasa aérea, en el subsuelo el reservorio de COS también es importantes a través de las raíces. Se ha observado una alta correlación del COS en los horizontes superficiales con la media anual del índice de vegetación EVI, un indicador de la productividad primaria anual también vinculado con la biomasa aérea (resultados en Andalucía en Armas et al, 2017).

Esta información se ha utilizada para seleccionar las variables explicativas utilizadas en el análisis de la información de partida (valores de COS10 del INES) como apoyo al diseño del muestreo.

### 2.2.2. Análisis de estudios sobre factores que influyen en la distribución vertical del carbono orgánico del suelo

Se ha realizado una revisión bibliográfica de los estudios sobre la distribución vertical del COS, con el objetivo de seleccionar las variables explicativas o covariables con mayor poder predictivo, así como para contrastar los resultados obtenidos de los datos de campo.

Es importante hacer constar que no se han encontrado estudios que se centren en la distribución vertical de COS en los primeros 30 cm, ya que la mayoría de los estudios consultados sobre la distribución de COS (que no son muy abundantes), analizan la relación de COS entre los horizontes superficiales (hasta 20 o 30 cm), y los horizontes subsuperficiales o subsuelo, es decir, entre el contenido de los primeros 20-30 cm y el contenido hasta 1 m, o entre el primer y el segundo metro, incluso el tercero, como es el caso, excepcional en la literatura, del estudio realizado por Jobbágy y Jackson (2000).

Las conclusiones de estos estudios apuntan a que la influencia de dichas variables explicativas es distinta conforme se profundiza en los horizontes del suelo. Así, por ejemplo, en Hiederer, R. (2009) y Jobbágy y Jackson (2000) concluyen que el clima es un factor dominante en la capa superficial del suelo, mientras que factores relacionados con las características del suelo, como el contenido de arcilla, tienen más influencia en la distribución en profundidad del COS en las capas más profundas.

Se recogen a continuación algunas de las conclusiones obtenidas en estos estudios sobre la distribución de carbono en el perfil edáfico, que, como se ha dicho, se refieren fundamentalmente a la relación de contenido entre la capa superficial del suelo (topsoil layer) y los horizontes más profundos (subsoil layer).

**Jobbágy & Jackson (2000)**, estudiaron a nivel global la relación del COS a 20 cm con el contenido total en el primer metro de suelo en bosques, matorrales y pastizales<sup>10</sup>, comprobando que el uso del suelo, y sobre todo la estructura de la vegetación y la distribución de las raíces, afectan significativamente a la distribución vertical del COS, de forma que la disminución del contenido de carbono orgánico con la profundidad es bastante menor en los matorrales que los terrenos forestales arbolados.

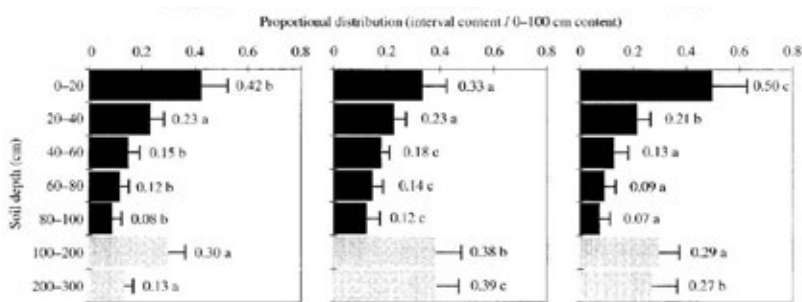


FIG. 2. Profiles of soil organic carbon distributions associated with dominant plant functional types (mean  $\pm$  SD). Grasslands are sites dominated by grasses and other herbaceous plants; shrublands include brush, shrub steppe, and scrub vegetation; forests are dominated by trees, including woodlands. Black bars indicate the proportional distribution of total organic carbon in the first soil meter in 20-cm intervals. These values were obtained by averaging the actual proportional values of individual soils. Bars in the first meter sum to one. Gray bars indicate the proportion of additional carbon in the 100–200 cm and 200–300 cm layers; the number at their right shows their contribution relative to the first meter. Values below the first meter were obtained from a smaller number of soils. Letters indicate significant differences among vegetation types at each depth interval (*t* test,  $P < 0.05$ ).

Figura 1. Distribución vertical del COS en función del tipo de vegetación. Fuente: Jobbágy & Jackson (2000).

Como se puede observar en la figura adjunta, que representa la distribución de COS en el primer metro de suelo por intervalos de 20 cm, el porcentaje de decrecimiento de los primeros 20 cm respecto al total de los primeros 40

<sup>10</sup> En este estudio no se analizaron los suelos agrícolas por los posibles efectos del laboreo sobre la distribución vertical del COS.

(similar a la variable objeto de este estudio, que es el porcentaje de COS en los primeros 10 cm en relación con los primeros 30 cm) se mantiene el patrón de bosques (FL) > pastizales (GLg) > matorrales (GLs), pero lógicamente el decrecimiento es mucho menor entre los dos primeros horizontes que entre el primer horizonte y el primer metro.

**Tabla 7.** Distribución proporcional de COS según Jobbágy & Jackson (2000).

	0-20 cm	20-40 cm	0-40 cm	% 0-20 respecto a 0-40	% 0-20 respecto a 0-100
Bosques (FL)	0,5	0,21	0,71	70%	50%
Pastizales (GLg)	0,33	0,23	0,56	59%	33%
Matorrales (GLs)	0,42	0,23	0,65	65%	42%

Respecto a la influencia del clima, la distribución relativa del COS con la profundidad se correlacionó levemente con el clima, con el COS distribuido más profundamente a medida que disminuían las precipitaciones y aumentaba la temperatura. Para un mismo tipo de clima, se repite el patrón de este porcentaje según el tipo de vegetación: FL > GLg > GLs.

Sin embargo, estos autores hacen constar que la asociación con la precipitación puede explicarse en gran medida por los cambios en los tipos de vegetación a lo largo de los gradientes de precipitación, lo que sugiere que puede ser el tipo de vegetación más que el efecto directo de la precipitación lo que determina los cambios en la distribución vertical relativa del COS a lo largo de los gradientes de lluvia.

En conclusión, según estos autores, y a nivel mundial, la distribución relativa del COS con la profundidad tuvo una asociación ligeramente mayor con la vegetación que con el clima, al contrario que en el caso de la variable cantidad absoluta de COS, para la que el tipo de vegetación fue más importante que el efecto directo de la precipitación en este análisis.

**Hiederer, R. (2009)** llegó a similares conclusiones en relación con la influencia de la vegetación a partir de tres bases de datos independientes de perfiles de suelos en el ámbito europeo (comparando en este caso el horizonte de 0 a 30 cm con el de 30 a 100 cm), observando una tendencia en los suelos bajo los bosques hacia un decrecimiento más rápido del COS según la profundidad, efecto que el autor vincula principalmente a la existencia de un horizonte orgánico superficial. Obtiene que el contenido de COS en el subsuelo es del orden del 25-30 % del COS del horizonte superior en los bosques, similares a los suelos bajo pastizales, del 33 % para las formaciones arbustiva y del 70 % en las tierras de cultivo.

La tabla adjunta recoge la transformación de estos datos a la misma variable obtenida en Jobbágy & Jackson (2000) a nivel global, es decir al porcentaje de COS en el horizonte superior (en este caso los primeros 30 cm) respecto al primer metro.

**Tabla 8.** Distribución proporcional de COS según Hiederer (2009) y Jobbágy & Jackson (2000).

	Distribución proporcional de COS según Hiederer (2009)			J & J (2000)	
	0-30 cm	30-100 cm	0-100 cm	% 0-30 respecto a 0-100	% 0-20 respecto a 0-100
Bosques (FL) y Pastizales (GLg)	100	27	127	79 %	50 %-33 %
Matorrales (GLs)	100	33	133	75 %	42 %
Cultivos (CL)	100	77	170	59 %	s.d.

Para el presente estudio y teniendo en cuenta que el análisis se circunscribe a lo que los trabajos consultados califican de “capa superficial del suelo”, las variables sobre las que se analiza su asociación con la distribución vertical de COS en los primeros 30 cm son las variables relacionadas con la vegetación y el clima, además de las variables topográficas de altitud, pendiente y exposición, que aun cuando en los estudios previos se concluyó que apenas explicaban el contenido de COS, pudiera ser que estuvieran en alguna medida relacionadas con la distribución vertical en la capa superficial del suelo.

No se han encontrado en el ámbito nacional estudios de estas características, si bien en Muñoz-Rojas et al (2012) se recogen datos de COS en los horizontes de 0-25 y 25-50 cm para Andalucía, lo que permite una comparativa, también de carácter cualitativo, por la diferencia en los espesores de los horizontes analizados. En este trabajo se obtuvo una menor variación en profundidad en CL que en FL y GL.

**Tabla 9.** Distribución proporcional de COS según Muñoz-Rojas (2012).

Uso UNFCCC	COS 0-25 cm	COS 25-50 cm	COS 25-50 / COS0-25
FL	39,9	11,9	30 %
GL	33,1	11,2	34 %
CLa	28,5	19,8	69 %
CLp	26,1	17,3	66 %



### 3. METODOLOGÍA

La realización de este trabajo se apoya en el levantamiento de un conjunto de parcelas en las que se realiza una calicata para recoger dos muestras de suelo, una hasta 10 cm de profundidad y otra entre 10 y 30 cm (en adelante parcelas COS1030). No se ha planteado seleccionar los puntos de muestreo en la misma ubicación geográfica de las parcelas del INES, dado que se trata de un inventario con un carácter periódico pero sin repetición de parcelas, por lo que no se deja en el terreno el rejón metálico que permitiría ubicar exactamente el mismo punto en el que se tomaron las muestras.

#### 3.1. Diseño del muestreo

Para el diseño del muestreo del conjunto de parcelas COS1030 se han tenido en cuenta aspectos como el tipo de muestreo utilizado en el INES y los factores que, de acuerdo con la literatura, pueden influir en la distribución de COS en profundidad y en su distribución espacial, esto último contrastado a través del análisis estadístico previo de los valores de COS10 en las parcelas del INES y de sus parámetros de cálculo (% C, DA y EG), cuyos resultados, como se verá más adelante, son consistentes con la bibliografía consultada. Asimismo, se tiene en cuenta que el objetivo de esta muestra es realizar una interpolación espacial.

El tamaño de muestra (800 parcelas) se ha definido con base en una evaluación de coste-beneficio de los errores muestrales admisibles según distintas hipótesis de estratificación.

En cuanto al tipo de muestreo, considerando que el COS no tiene un comportamiento rítmico, es decir que sus valores no muestran una marcada periodicidad espacial, y teniendo en cuenta además que el INES utilizó este tipo de muestreo, se ha considerado realizar también la selección de parcelas COS1030 de forma sistemática.

Por otro lado, teniendo en cuenta que el muestreo se hace sobre todo el territorio nacional podemos considerar que estamos en el caso de que las características de la superficie a inventariar evidentemente no son uniformes, y de que tenemos información de variables de apoyo que sabemos (por los estudios disponibles y por los resultados del análisis estadístico realizado del COS10 del INES) que influyen sobre la variable a interpolar (clima y vegetación fundamentalmente), por lo que tiene interés plantear un muestreo estratificado.

Para la afijación de la muestra se analizó tanto una afijación proporcional en base a una serie de estratos predefinidos como una afijación óptima, que tiene en cuenta la variabilidad y proporciones de estos estratos y permite optimizar la distribución de errores reforzando los estratos más heterogéneos a costa de los más homogéneos.

A raíz de los análisis estadísticos realizados sobre los valores de COS10 del INES se determinó que las variables más adecuadas para realizar una estratificación de la muestra serían los subclimas de Allué y las categorías principales de usos del suelo (usos UNFCCC). Obviamente si se consideran todas las posibles combinaciones de subclima-uso se obtiene un número demasiado elevado de estratos. Por ello, a raíz de los valores descriptivos de cada estrato (medias, medianas, desviaciones, etc.) y el conocimiento experto se diseñaron una serie de reclasificaciones y agrupaciones hasta conseguir un número aceptable de estratos, con un número adecuado de parcelas y errores muestrales válidos.

Los gráficos adjuntos ilustran los criterios en los que se basan las reclasificaciones y agrupaciones de estratos. Se puede observar la similitud de medias, medianas y desviaciones de muchas de las combinaciones de usos y clima, sobre todo en el caso de los usos forestal arbolado (FL) y forestal desarbolado (GL) en todos los tipos de clima. Asimismo, en el diagrama de caja y bigotes del contenido de COS en función de las subregiones climáticas, se aprecia la acusada variabilidad de COS entre las subregiones de clima Continental, algunos de ellos más próximos a algunos fitoclimas mediterráneos y otros a los más fríos.

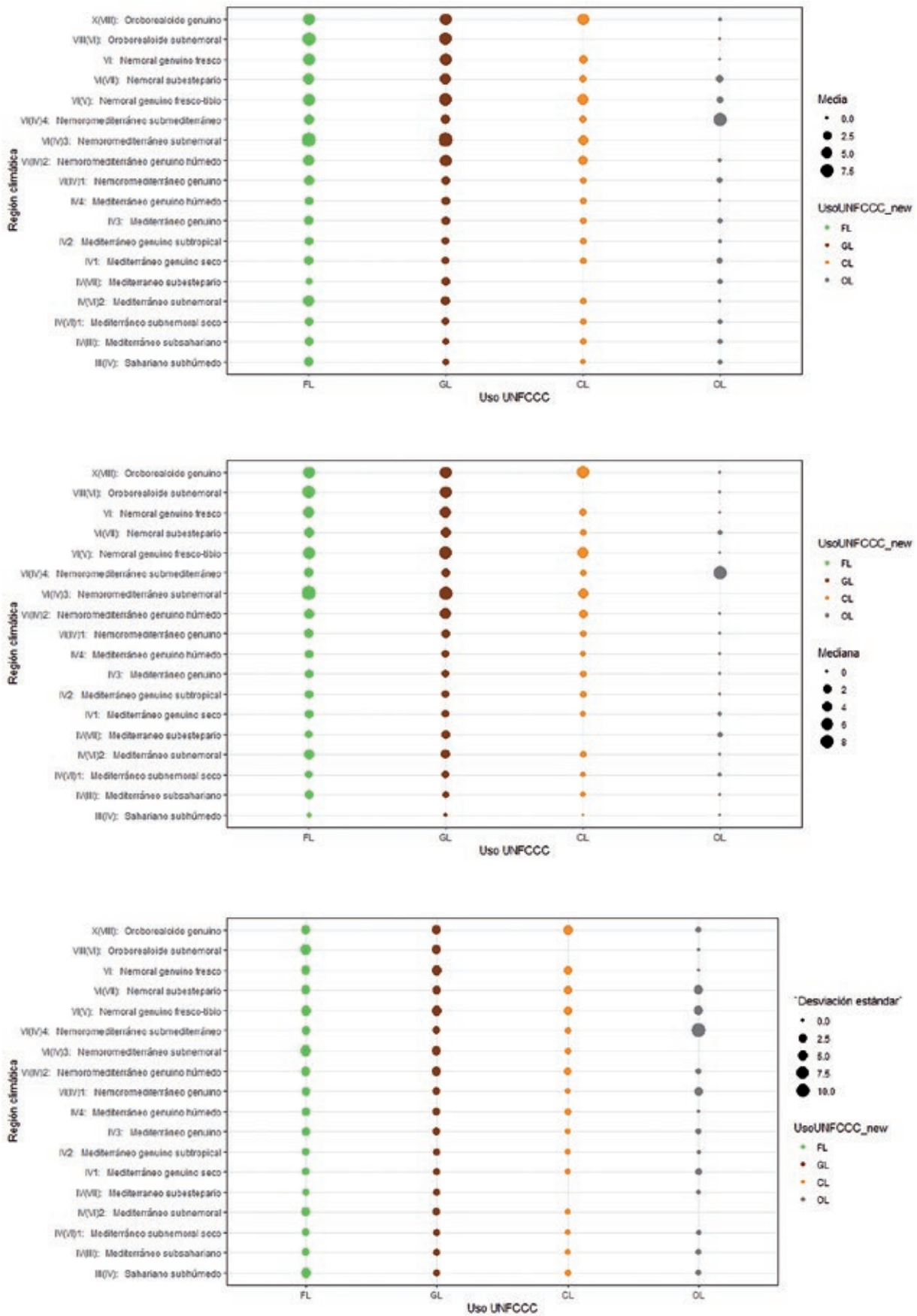


Gráfico 1. Media, mediana y desviación estándar de los valores de COS10 en las parcelas del INES según Uso UNFCCC y fitoclimas.

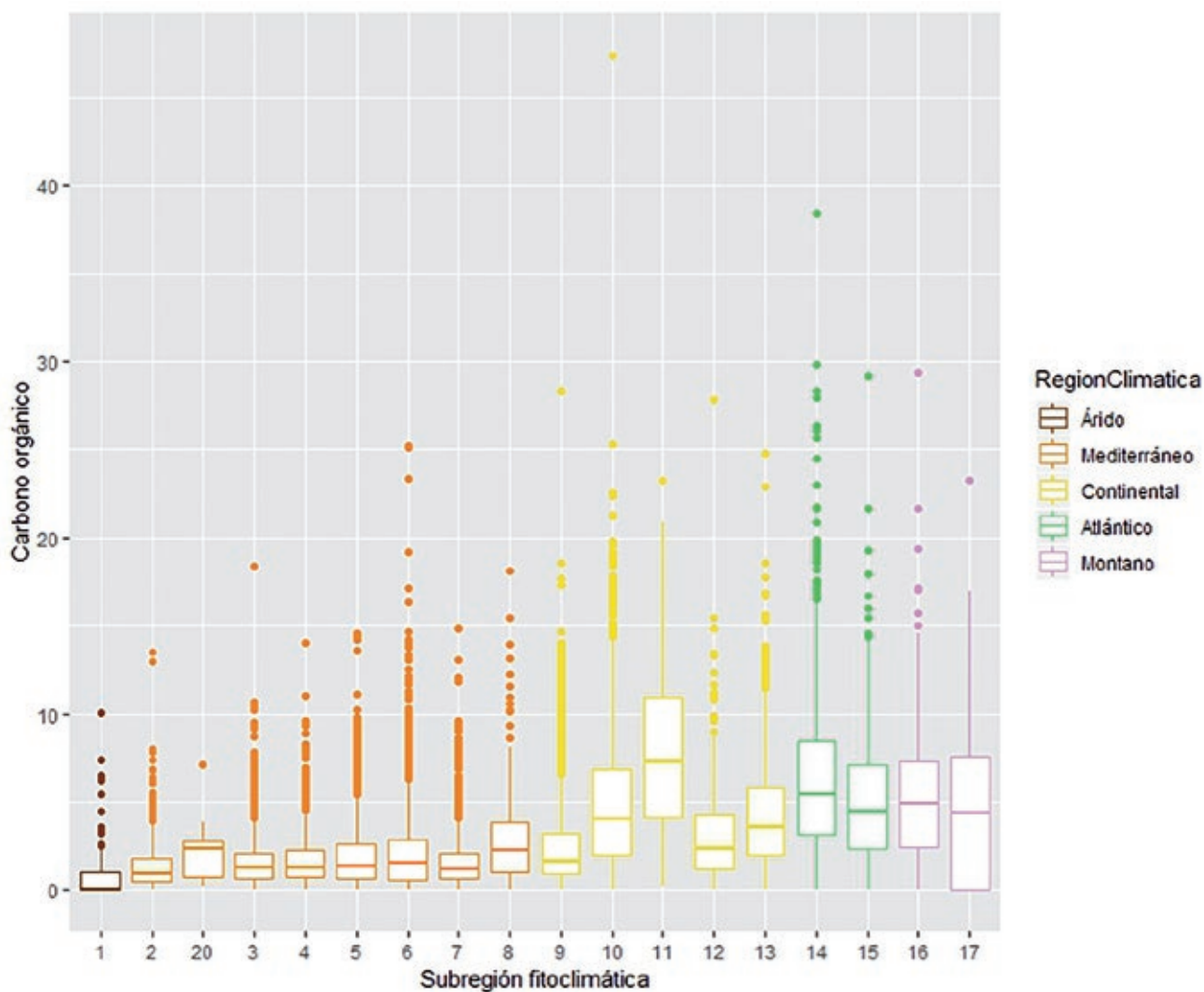


Gráfico 2. Contenido de COS10 en las parcelas del INES según subregiones climáticas.

Los errores obtenidos con ambos métodos de afijación (proporcional y óptima) son de similar orden de magnitud, pero dado que la variabilidad de los valores de COS es elevada, sobre todo en las agrupaciones de usos y climas con valores de la media más alta (zonas forestales y climas más húmedos y fríos), se ha utilizado el método de afijación óptima.

Una vez fijados los tamaños muestrales para ajustarlos al máximo error admisible, y teniendo en cuenta que la selección de la muestra se va a hacer de forma sistemática (es decir, estableciendo que los puntos de muestreo se dispongan siguiendo una malla regular), se determina el tamaño de la malla en cada estrato. Este cálculo se efectúa mediante la siguiente aproximación: suponiendo una superficie nacional de alrededor de 500.000 km<sup>2</sup>, y multiplicándola por el porcentaje de parcelas INES en cada estrato (como estimador del % de superficie ocupada por ese estrato), se obtiene la superficie que corresponde a cada parcela; la raíz cuadrada de dicha superficie nos da el tamaño de la malla o paso de malla. La tabla adjunta recoge la caracterización de los estratos y los estadísticos de COS10 en las parcelas del INES pertenecientes a cada estrato.

**Tabla 10.** Caracterización de los estratos y los estadísticos de COS10 en las parcelas del INES.

Estratos	Estr_ ClimaV2	Uso UNFCCC	Nº Parcelas INES	Porcentaje	Media	Mediana	Desviación estándar
1	1AM	CL	6.266	27,79 %	1,2	1,0	1,1
2	1AM	FL+GL	6.717	29,79 %	2,3	1,8	2,1
3	2MC+3C	CL	1.955	8,67 %	1,5	1,2	1,5
4	2MC	FL+GL	2.689	11,93 %	3,3	2,6	2,7
5	3C	FL+GL	2.113	9,37 %	5,0	4,1	3,8
6	4CAM	FL+GL+CL	2.470	10,96 %	6,2	5,4	4,2

Como se aprecia en la tabla de resultados de la afijación, en los seis estratos considerados se han obtenido pasos de malla cercanos a 20 km o a 30 km. Como referencia téngase en cuenta que en el caso de una afijación proporcional el paso de malla en todos los casos es de 25 km, y la superficie que correspondería a cada parcela es de 625 km<sup>2</sup>. Para trabajar con unos pasos de malla lo más uniformes posibles y facilitar los posteriores trabajos de geoestadística, se ha ajustado el paso de malla de cada estrato a 20 o 30 km, recalculando en consecuencia un nuevo tamaño de la muestra del mismo y sus correspondientes errores.

**Tabla 11.** Resultados obtenidos en función de la fijación y tipo de estratos.

Estratos	Ajuste de la muestra calculada con afijación óptima						Afijación óptima (ajustada posteriormente a pasos de malla comunes)					
	Nº Parcelas	%	Error	Error (%)	Sup/ parcela (km <sup>2</sup> )	Paso de malla (km)	Nº Parcelas	%	Error	Error (%)	Sup/ parcela (km <sup>2</sup> )	Paso de malla (km)
1	160	20,00 %	0,16	13,35 %	868,54	29,47	154	18,57 %	0,17	14 %	900	30
2	190	23,75 %	0,30	13,14 %	783,93	28,00	165	19,90 %	0,32	14 %	900	30
3	100	12,50 %	0,29	18,96 %	433,58	20,82	108	13,04 %	0,28	18 %	400	20
4	130	16,25 %	0,46	14,21 %	458,74	21,42	149	17,93 %	0,43	13 %	400	20
5	100	12,50 %	0,74	14,70 %	468,62	21,65	117	14,09 %	0,68	14 %	400	20
6	120	15,00 %	0,75	12,08 %	456,68	21,37	137	16,48 %	0,70	11 %	400	20

Con la homogeneización de los pasos de malla se obtiene un número ligeramente superior a 800 parcelas (832), que se ajustará posteriormente con la selección definitiva de parcelas en campo.

**Tabla 12.** Número de parcelas en cada tipo de malla.

Tamaño malla (km)	Nº Parcelas	%
30	320	38,47 %
20	512	61,53 %
		100,00 %

En las páginas siguientes se incluye el mapa de fitoclimas de Allué y la regionalización resultante de la agrupación de estratos con paso de malla 30 km (M30), que se corresponde con los climas mediterráneos más secos, y de 20 km (M20), que se corresponde con los climas mediterráneos más húmedos, continental, atlántico y montano (nemorales y oroborealoides). Se incluye también los mapas de distribución teórica de parcelas con este diseño de muestreo.



Figura 2. Mapa de fitoclimas de Allué.

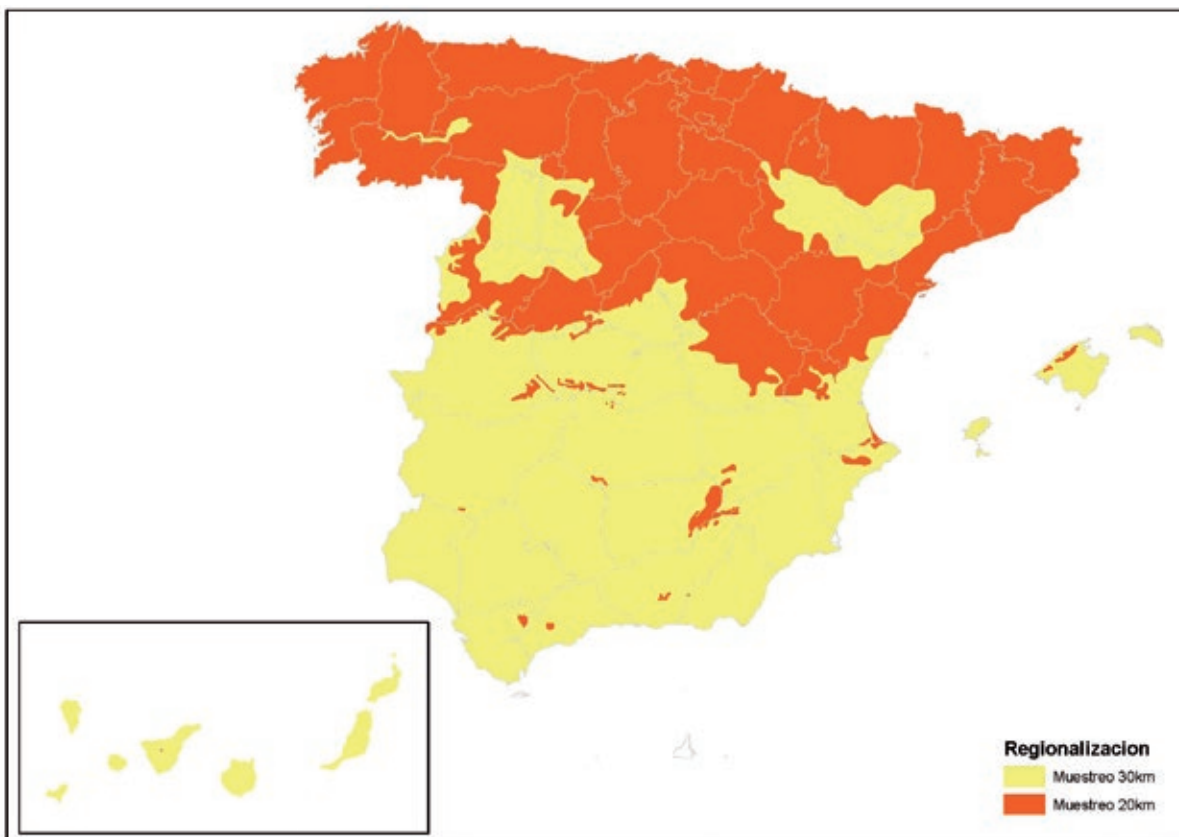


Figura 3. Regionalización resultante de la agrupación de estratos.



Figura 4. Mapa de distribución teórica de parcelas según el diseño del muestreo.

### 3.2. Localización de parcelas de campo

En la selección definitiva de los puntos de muestreo se consideró la posibilidad de apoyar la selección de puntos de muestreo en redes de parcelas permanentes ya existentes, con el objetivo de facilitar la posibilidad de realizar mediciones de carbono en el futuro en los mismos sitios, incluso de crear una “red de parcelas para la medición del carbono”, vinculada a otros proyectos (INES y/o Inventario Forestal Nacional, por ejemplo) en los que se realicen mediciones periódicas.

Una vez evaluadas las distintas opciones<sup>11</sup>, se concluyó que aun siendo solo posible para el uso del suelo “forestal arbolado<sup>12</sup>” merecía la pena apoyar la selección de puntos de muestreo en las parcelas del Inventario Forestal Nacional, cuyo paso de malla es de 1 km, para lo cual la SGPFLD ha facilitado la relación de coordenadas de las parcelas de campo del IFN, seleccionando en cada caso la más cercana a la malla establecida este estudio (M20 y M30). En colaboración con los responsables del IFN se analiza la casuística de parcelas del IFN seleccionadas con el objetivo de descartar aquellas que tienen a priori una menor probabilidad de ser medidas de nuevo en las provincias del IFN4 que faltan por inventariar y en futuros inventarios. La información de interés para el estudio de los estadillos de campo del IFN se ha incorporado a la base de datos de parcelas de campo.

<sup>11</sup> Redes existentes de ámbito nacional, seleccionadas de forma sistemática con base en una malla regular y localizables mediante marca de carácter permanente en el terreno.

<sup>12</sup> Las parcelas forestales seleccionadas que coinciden con IFN son la mayoría parcelas Tipo FL, es decir con Fcc arbórea  $\geq 20\%$ , si bien hay algunas que se corresponden con parcelas tipo GL muestreadas por el IFN, es decir, con Fcc arbórea  $\geq 10\%$  y  $< 20\%$  (Subtipo GLw).

### 3.3. Trabajos de campo

Se ha procurado que la metodología de levantamiento de las parcelas COS1030 sea lo más acorde posible con el levantamiento de las parcelas INES, con el fin de minimizar los errores en el ejercicio de extrapolación de los datos de COS10 del INES.

Para ello tanto el estadillo de campo como el manual para el levantamiento de parcelas de campo se ha diseñado utilizando como modelo el empleado en las parcelas INES, seleccionando, y añadiendo en su caso, los datos a tomar en cada parcela necesarios para el cálculo de COS y para el ejercicio de extrapolación. Sobre dicho estadillo se vuelca la información inicial disponible extraída del Sistema de Información Geográfica resultante de las tareas de diseño del muestreo y localización de parcelas (código identificativo, coordenadas, valores de las variables consideradas relacionadas con el medio físico y biótico y datos de campo del IFN de las parcelas COS sobre uso forestal).

La ejecución de la calicata para la toma de muestras ha sido especialmente cuidadosa, dadas las características de este estudio. Una vez tomados los datos de la cubierta en contacto con el suelo, y antes de abrir la calicata se retira la vegetación herbácea y los restos orgánicos depositados sobre la superficie del suelo.



*Foto 1. Delimitación de la superficie para toma de datos y recogida de muestras.*

Como el objetivo de este trabajo es el estudio de la distribución del contenido de carbono en profundidad, la muestra se ha recogido asegurando que se obtiene la misma cantidad de suelo según se profundiza. Para ello se han extraído volúmenes de forma prismática (ver esquema en la figura adjunta) con unas dimensiones preestablecidas, calculadas para aproximarse al peso de la muestra requerido (aproximadamente 1,5 kg), y **procurando que las caras laterales de estos prismas sean lo más vertical posible**. En todo momento se ha procurado evitar la mezcla de tierras de ambos horizontes.

Las figuras adjuntas ilustran el trabajo de campo realizado para la recogida de muestras.

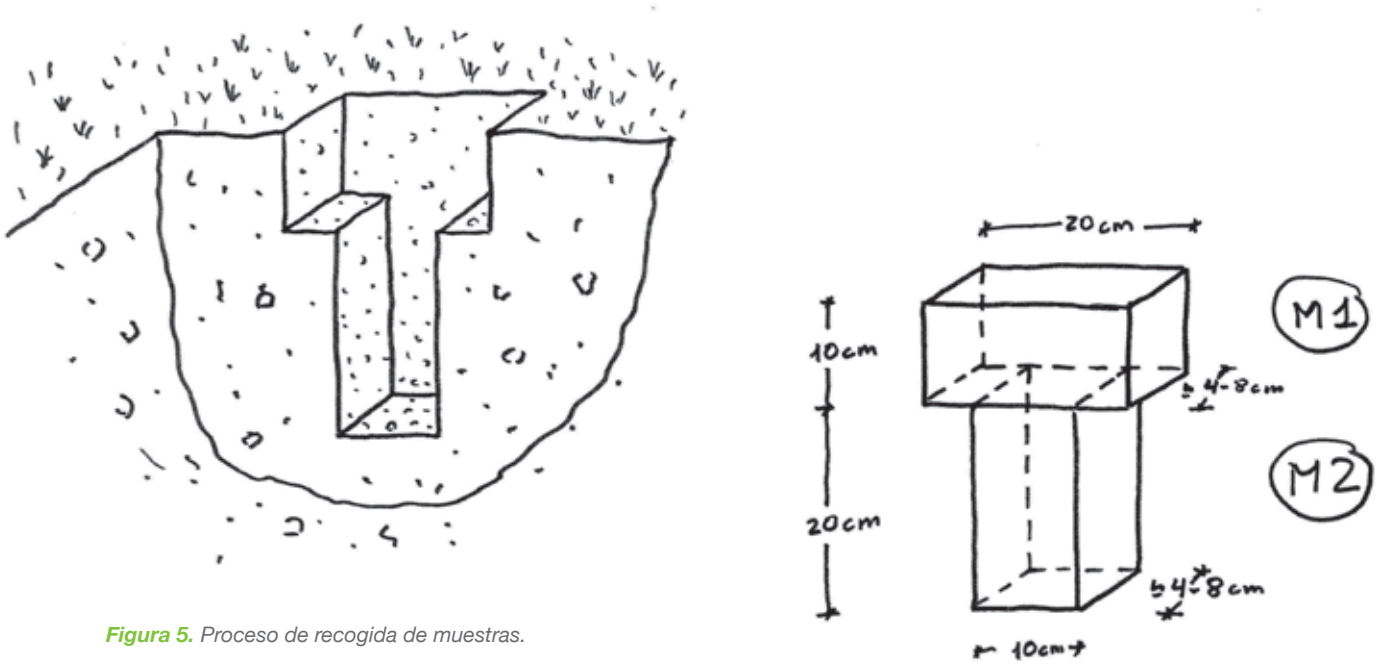


Figura 5. Proceso de recogida de muestras.



Foto 2. Retirada de restos vegetales del horizonte superficial para apertura de calicata.



Foto 3. Momento en el que el equipo se dispone a tomar las muestras (izquierda). En ocasiones la densidad y altura de vegetación dificultan la preparación del terreno para la toma de muestras.





**Foto 4.** Detalle de apertura de perfil completo (0-30 cm) para la toma de datos previo a la toma de muestras.



**Foto 5.** Detalle del prisma superior para la toma de muestra de 0-10 cm (a la izquierda). A la derecha se muestra detalle del prisma inferior para toma de muestra 10-30 cm.



**Foto 6.** Perfil completo, prisma superior (0-10 cm) y prisma inferior (10-30 cm) para toma de muestras en parcela prácticamente sin pedregosidad, situación poco habitual.



**Foto 7.** La abundancia de pedregosidad a lo largo del perfil dificulta la realización de los prismas de recogida de muestras.

La recogida de las muestras incluye la cuantificación del peso de las piedras de tamaño grande halladas en la calicata y que no se envían a analizar al laboratorio (pedregosidad no muestreada).



**Foto 8.** La muestras han sido recogidas en un proceso minucioso para evitar la mezcla entre los dos horizontes, recogiendo y pesando ambas muestras por separado.



**Foto 9.** Una vez tomada las muestras de suelo, se identifica la pedregosidad de las muestras, se retira de las mismas y se anotan datos de humedad, textura y estructura de las dos muestras tomadas, así como el resto de datos de los perfiles. 0-10 cm y 10-30 cm.



**Foto 10.** Las muestras se etiquetan y se envían a laboratorio para su correspondiente análisis.

Una vez terminada la recogida de muestras, se coloca un rejón metálico en el hoyo, únicamente en las parcelas de la categoría Forestal no arbolado, dado que en las Forestales arboladas se decidió no colocar un nuevo rejón para no interferir con el de las parcelas IFN, y en las Agrícolas no es aconsejable debido a la realización de laboreo. Además, se deja una marca visible sobre el terreno, anotando rumbo y distancia al hoyo, para poder localizar la parcela en eventuales visitas posteriores, si bien esta marca no tiene carácter permanente.



**Foto 11.** Colocación de rejón metálico para localización futura de la parcela. Adicionalmente al rejón metálico, se señala con pintura un lugar visible sobre el terreno y fácilmente identificable para facilitar la localización futura de la parcela, desde donde se referencia el punto de muestreo.

### 3.4. Análisis en laboratorio de muestras de suelo

En las dos muestras de suelo tomadas en cada parcela COS1030 (de 0-10 cm y de 10-30 cm) se analizan los siguientes parámetros:

- **Tierra gruesa o elementos gruesos (> 2mm):** porcentaje en peso referido al total de la muestra, con precisión de 1 %.
- **Densidad seca aparente (kg/m<sup>3</sup>) de la muestra de suelo completa;** precisión de 1 kg/m<sup>3</sup>.
- **Materia orgánica (%):** porcentaje en peso referido al total de tierra fina, con precisión de 0,1 %.

Los métodos de preparación de las muestras, la determinación de los elementos gruesos y los métodos de análisis empleados son los mismos que los realizados en el Inventario Nacional de Erosión de Suelos, basados en el volumen “Métodos Oficiales de Análisis. Tomo III” (1994), publicado por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. El análisis en laboratorio de las dos muestras tomadas en cada parcela ha sido lo más homogéneo posible, dado que se han realizado siempre en el mismo tiempo y por lo tanto en las mismas condiciones.

De cada una de las muestras se ha realizado una fotografía con microscopio digital de 50 aumentos.

**Tabla 13.** Procedimientos utilizados en los análisis de las muestras en laboratorio.

Parámetro	Procedimiento
<b>ANÁLISIS DE TIERRA GRUESA &gt; 2mm</b>	Se determina el porcentaje de elementos > 2mm respecto al peso total de muestra secada al aire, con todas sus fracciones, eliminando elementos de tamaños anómalos como piedras o grumos ocasionales que no se disgregan, realizando en caso necesario una disgregación previa con la ayuda de mortero. Se tamizan los suelos una vez secados al aire, por el tamiz de 2 mm, pesándose el total, así como la parte que es retenida por el tamiz, obteniéndose de este modo su fracción en porcentaje sobre el total, que es comúnmente denominada “gruesos”.
<b>DENSIDAD APARENTE</b>	Parámetro que relaciona el volumen de una muestra con su peso. Para ello se rellena hasta el borde el cilindro de Kopecky de volumen conocido con suelo seco y sin tamizar, evitándose elementos que no forman parte de ninguna de las fracciones del suelo, como piedras grandes o raíces. Se pesa y se anota el valor. La densidad aparente será el cociente entre el peso medido y el volumen fijo del cilindro de Kopecky. Al igual que el tamizado de gruesos, resulta una medida muy variable dentro del mismo suelo, por lo que se toma la precaución de tomar una fracción representativa y homogénea dentro del volumen de suelo proveniente de las bolsas de campo.
<b>ANALÍTICA DE MATERIA ORGÁNICA</b>	Se determina el contenido de materia orgánica (porcentual) en un suelo. Aunque la materia orgánica incluye cualquier resto orgánico, lo que se determina como tal en la presente analítica es la materia orgánica prácticamente degradada, así como la degradada por completo, excluyéndose ramas, raíces o material grueso. Por eso en el manual oficial se toma la muestra de arena fina y triturada. El procedimiento utilizado es el de oxidación del carbono orgánico en medio ácido y valoración del exceso de oxidante con sal de Mohr. Para el cálculo del carbono orgánico se ha empleado el coeficiente de Waskman, aproximación que considera que el carbono oxidable constituye un 58 % de la materia orgánica.

DATOS DE LA PARCELA		Código Parcela	1
Fecha de Recogida 21/07/2020	Fecha de Inicio de Análisis 14/09/2020	Fecha de Finalización de Análisis 18/09/2020	
RESULTADOS DE LA ANALÍTICA			
MUESTRA M1		MUESTRA M2	
			
Fracción de elementos gruesos > 2 mm (%)	29,96	Fracción de elementos gruesos > 2 mm (%)	26,60
Densidad aparente (g/ml)	0,48	Densidad aparente (g/ml)	0,83
Contenido en materia orgánica (%)	22,19	Contenido en materia orgánica (%)	6,19

Foto 12. Resultado de analítica del laboratorio de las dos muestras tomadas en campo en cada parcela.

### 3.5. Estimación del COS a 30 cm mediante análisis estadístico

Una vez obtenidas las bases de datos de suelo a utilizar y la información cartográfica necesaria de apoyo, se realiza el análisis estadístico que permita extrapolar los datos del INES de COS a 10 cm a los 30 cm, que incluye:

- Análisis exploratorio usando la estadística tradicional (estadística descriptiva) para seleccionar las variables explicativas o covariables con mayor poder predictivo del COS y de su distribución vertical. Para ello, se plantean regresiones lineales múltiples, combinado con el análisis de colinealidad entre variables explicativas.
- Análisis de la estructura espacial, es decir, un análisis de las relaciones espaciales utilizando técnicas de geoestadística (análisis espacial) para generar un mapa nacional de contenido en carbono a 30 cm.

#### **Estadística vs geoestadística**

- La **estadística** se centra en el **análisis de la variabilidad de los datos**, tratando de obtener correlaciones, dependencias y patrones para explicar fenómenos tanto físicos como naturales.
- La **geoestadística** se centra en **el análisis y la modelización de variables asociadas a información espacial** en base a una serie de métodos cuyo objetivo es el de estimar valores desconocidos a partir de otros ya conocidos.

### 3.5.1. Estadística descriptiva

A partir de los datos tomados en campo y de los análisis de laboratorio de los dos horizontes muestreados (0-10 cm y 10-30 cm), se llevará a cabo un análisis estadístico (medias, medianas, desviaciones, varianzas...) de los valores de carbono orgánico de suelo (COS) y de los parámetros edáficos que intervienen en el cálculo de COS: % de carbono (C), densidad aparente (DA) y elementos gruesos (EG).

El análisis descriptivo de estos valores se ha realizado para los siguientes conjuntos de datos:

Tabla 14. Conjunto de datos analizados.

COS10A	Valores a 10 cm obtenidos en las 22.545 parcelas INES.
COS10B	Valores entre 0 y 10 cm (Muestra 1 – M1) obtenidos en las 800 parcelas COS.
COS1030B	Valores entre 10 y 30 cm (Muestra 2 – M2) obtenidos en las 800 parcelas COS.
COS30B	Valores de COS a 30 cm obtenidos de las 800 parcelas COS a partir de M1 y M2.
COS M2 resp M1 (COS <sub>2/1</sub> )	Porcentaje de valores de M2 respecto a M1 obtenidos de las 800 parcelas COS.
COS30A	Valores de COS a 30 cm que se obtendrán en las 22.545 parcelas INES como resultado del análisis estadístico.

Como variables explicativas se consideran las siguientes:

Tabla 15. Relación de variables consideradas.

Vegetación	Clima	Topografía
Uso UNFCCC	Región climática	Altitud
Uso UNFCCC (subcategorías)	Subregión fitoclimática	Pendiente (rangos de pendiente)
Fracción de cabida cubierta arbórea (Fcc arbórea)	Precipitación media anual	Exposición
Fracción de cabida cubierta total (Fcc total)	Temperatura media anual	

Una vez analizados los resultados de los estadísticos básicos de las variables de trabajo (contenido de carbono y distribución vertical entre los horizontes) en función de una serie de variables que pueden explicar sus valores, se analiza su grado de dependencia utilizando modelos de regresión lineal para determinar si las relaciones encontradas y analizadas a partir de dichos estadísticos son estadísticamente significativas. Como indicadores del grado de dependencia se utilizan los siguientes coeficientes:

- **R<sup>2</sup>**: es el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson (solo en regresión lineal). Estima la proporción de variación que explica el modelo. Su valor oscila entre 0 (no existe correlación) y 1 (correlación exacta).
- **R<sup>2</sup> ajustado**: similar al R<sup>2</sup> pero que penaliza la complejidad del modelo.
- **RMSE**: Raíz del error cuadrático medio. Es la desviación estándar de los residuos, o error típico de estimación.

De forma complementaria al análisis de regresión, se ha realizado el análisis de la varianza (utilizando el software estadístico RStudio) para evaluar las medias entre los grupos, es decir, para rechazar la hipótesis de que las dife-

rencias encontradas entre las medias sean debidas al puro azar. Tras comprobar que la distribución de los valores de las variables distribución vertical entre los horizontes en los grupos de vegetación y de grupos de clima no cumplen el requisito previo de normalidad, necesario para realizar el test de comparación de medias ANOVA, se utiliza el método no paramétrico Kruskal-Wallis, utilizando como factor la clasificación de principales usos del suelo y de clima (UsoUNFCCC / Región climática), al objeto de tener un tamaño de muestra (de parcelas) suficiente en cada grupo.

Se realiza la comprobación previa de homocedasticidad de los datos, mediante el test de Levene, para rechazar la hipótesis nula que las varianzas son iguales, y el test de comparación post-hoc de Tukey, para ver entre qué grupos hay diferencias estadísticamente significativas y establecer los grupos homogéneos.

### 3.5.2. Análisis espacial

Para la generación de los mapas de distribución espacial del carbono a 30 cm se ha realizado un análisis geoestadístico previo que permita conocer la relación entre los datos georreferenciados, valorar la dependencia espacial, obtener el modelo de interpolación y los parámetros que lo constituyen, así como conocer los errores cometidos al modelizar.

Desde esta perspectiva, se requieren procedimientos que permitan la descripción o caracterización de las variables con dos fines diferentes, primero, analizar la variabilidad espacial y segundo, obtener una cartografía continua para carbono orgánico en el suelo a 30 cm. Este análisis incluye el cálculo del semivariograma experimental y su ajuste a modelos teóricos necesarios para la interpolación. Se han ensayado diferentes algoritmos y variantes para seleccionar el método de interpolación más adecuado. El gráfico adjunto representa un árbol de decisión recomendado en FAO (2018) para la selección de un modelo espacial de predicción en la generación de mapas de COS.

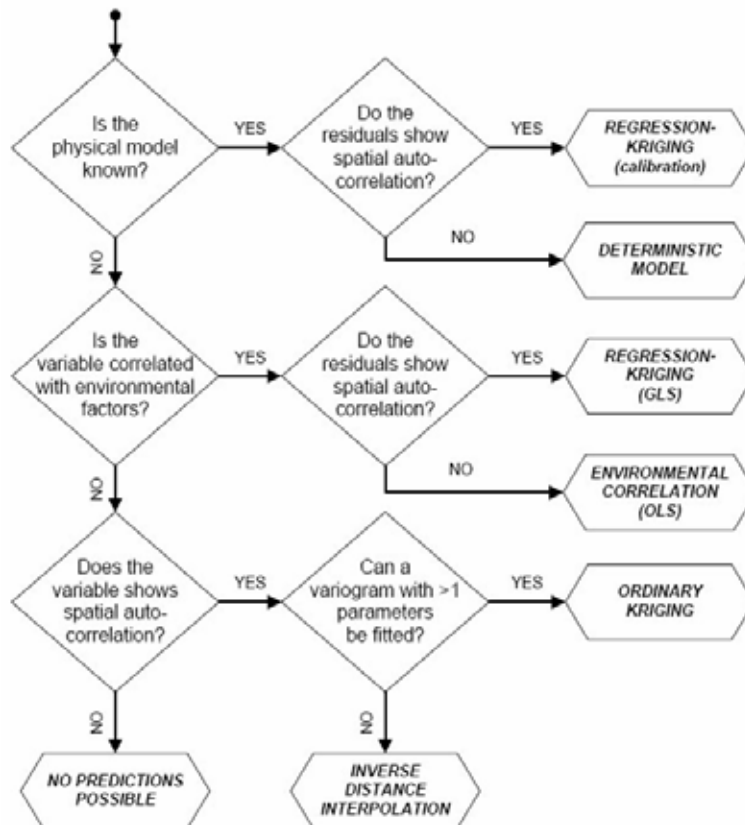


Figura 6. Árbol de decisión para la elección de un modelo espacial de predicción para generar mapas de COS. Fuente: Soil Organic Carbon Mapping Cookbook. 2nd edition (FAO, 2018).

Al igual que el análisis estadístico descriptivo, el análisis espacial se ha realizado para las dos variables de trabajo: contenido de carbono y relación de contenido de carbono entre los horizontes (distribución vertical). En ambos casos se han considerado distintas alternativas en función de los resultados del análisis exploratorio de los datos sin tener en cuenta su distribución geográfica.

En general, para el presente estudio se han tenido en cuenta las siguientes alternativas metodológicas:

- Analizar mediante regresión lineal espacial si existen correlaciones de diversas variables explicativas conocidas que permitan plantear la aplicación del método conocido como Regression Kriging, una técnica de interpolación espacial que combina una regresión lineal o múltiple de la variable dependiente en predictores y un Kriging de los residuos de la regresión<sup>13</sup> (Hengl et al, 2007).
- Métodos geoestadísticos / métodos de interpolación: Se ha ensayado Kriging Ordinario sobre la variable objetivo sin transformar y sobre la variable transformada a una función logarítmica sobre logC. En algunos casos se han comparado los resultados con métodos como el “IDW” (Inverse Distance Weighted-Distancia inversa Ponderada<sup>14</sup>).
- Interpolación a partir de la asignación de las medias por grupos de usos-clima de los valores de las variables de distribución vertical obtenidas en parcelas COS a los valores de COS10 de las parcelas INES.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Contenido de carbono: Comparativa valores de COS10 obtenidos en las parcelas INES y en las parcelas COS1030

#### 4.1.1. Análisis estadístico descriptivo de los valores de COS10

Previo al diseño del muestreo se realizó un análisis estadístico de valores de COS 10 obtenidos en las parcelas INES (COS10A) que buscaba conocer la naturaleza de las variables que determinan el COS10 (porcentaje de carbono orgánico, densidad aparente y porcentaje de elementos gruesos) y su relación con una serie de variables que podrán servir como estimadores de éstas a partir de modelos de regresión múltiple.

Tras comprobar que ninguna de las variables consideradas contribuye a explicar la distribución de la densidad aparente y el porcentaje de elementos gruesos, el análisis se ha centrado en el **porcentaje de carbono orgánico (% C)**, que es en definitiva la variable principal que se desea analizar.

La primera observación (ver tabla y gráfico adjuntos) al respecto es que esta variable se encuentra muy concentrada entre 0 y 5, con media de 2,70 y desviación estándar de 2,96.

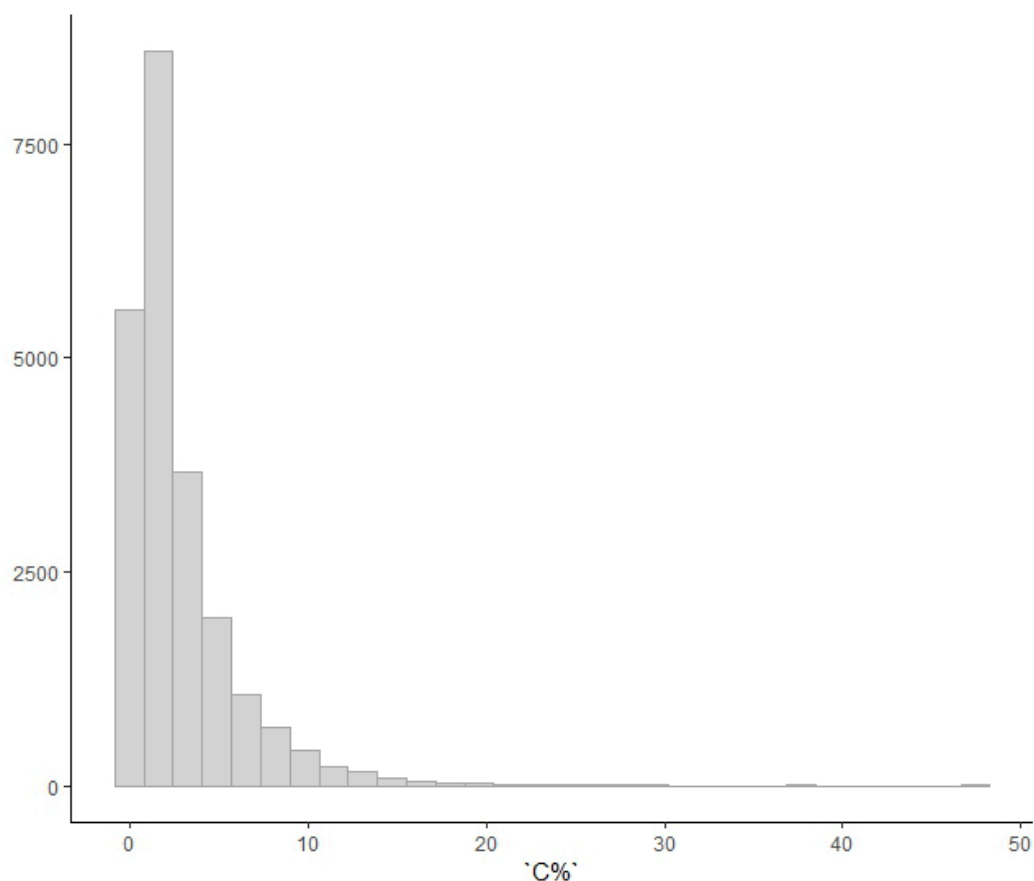
<sup>13</sup> Se entiende por residuos a las diferencias entre los valores obtenidos por la regresión espacial y los valores reales (valores medidos) en los puntos conocidos.

<sup>14</sup> El primero es un método probabilístico (interpolador geoestadístico), mientras que el segundo es un método determinístico que utiliza un algoritmo simple basado en distancias, asumiendo que las predicciones para un determinado punto geográfico son una combinación lineal de los datos y dando más peso a los valores que se encuentran espacialmente cercanos a dicho punto geográfico en concreto. Fuente: (Johnston et al., 2001) en SUMIDEROS DE CARBONO DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DEL PAÍS VASCO Capacidad de secuestro y medidas para su promoción.



**Tabla 16.** Estadísticos de porcentaje de carbono orgánico (%C) a 10 cm en las parcelas INES.

Tamaño muestral	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	1° Cuantil	3° Cuantil
22.545	2,71	1,73	2,96	0	47,44	0,83	3,55

**Figura 7.** Histograma del % C a 10 cm en las 22.545 parcelas del INES.

Se incluyen a continuación los estadísticos básicos y diagramas de caja y bigotes de los valores del % C según cada una de las variables cualitativas y los diagramas de dispersión para las variables cuantitativas.

### **Variables relacionadas con la vegetación**

**Tabla 17.** Distribución de los valores % C a 10 cm según el uso y subcategoría de uso del suelo en las parcelas INES.

Uso UNFCC	N° Parcelas	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	1° Cuantil	3° Cuantil
FL	7.336	3,86	2,93	3,47	0,00	47,44	1,51	5,22
GL	6.402	3,23	2,27	3,17	0,00	29,83	1,10	4,39
CL	8.472	1,40	1,06	1,38	0,00	15,53	0,59	1,76
OL	335	0,43	0,00	1,65	0,00	15,47	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>22.545</b>	<b>2,71</b>	<b>1,73</b>	<b>2,96</b>	<b>0,00</b>	<b>47,44</b>	<b>0,83</b>	<b>3,55</b>

Subcat. Uso UNFCC	Nº Parcelas	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	1º Cuantil	3º Cuantil
FLb	3.974	3,71	2,81	3,36	0,00	38,43	1,45	5,00
FLc	2.876	4,01	3,09	3,58	0,00	47,44	1,55	5,45
FLm	486	4,19	3,22	3,69	0,00	28,33	1,66	5,53
GLg	1.290	3,18	2,38	2,84	0,00	29,19	1,16	4,50
GLs	3.585	3,33	2,31	3,28	0,00	29,83	1,15	4,47
GLw	1.150	2,74	2,07	2,63	0,00	19,53	1,02	3,59
CLa	5.634	1,36	1,10	1,18	0,00	15,53	0,65	1,73
CLp	2.319	1,22	0,92	1,19	0,00	14,01	0,43	1,69
OL	335	0,43	0,00	1,65	0,00	15,47	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>22.545</b>	<b>2,71</b>	<b>1,73</b>	<b>2,96</b>	<b>0,00</b>	<b>47,44</b>	<b>0,83</b>	<b>3,55</b>

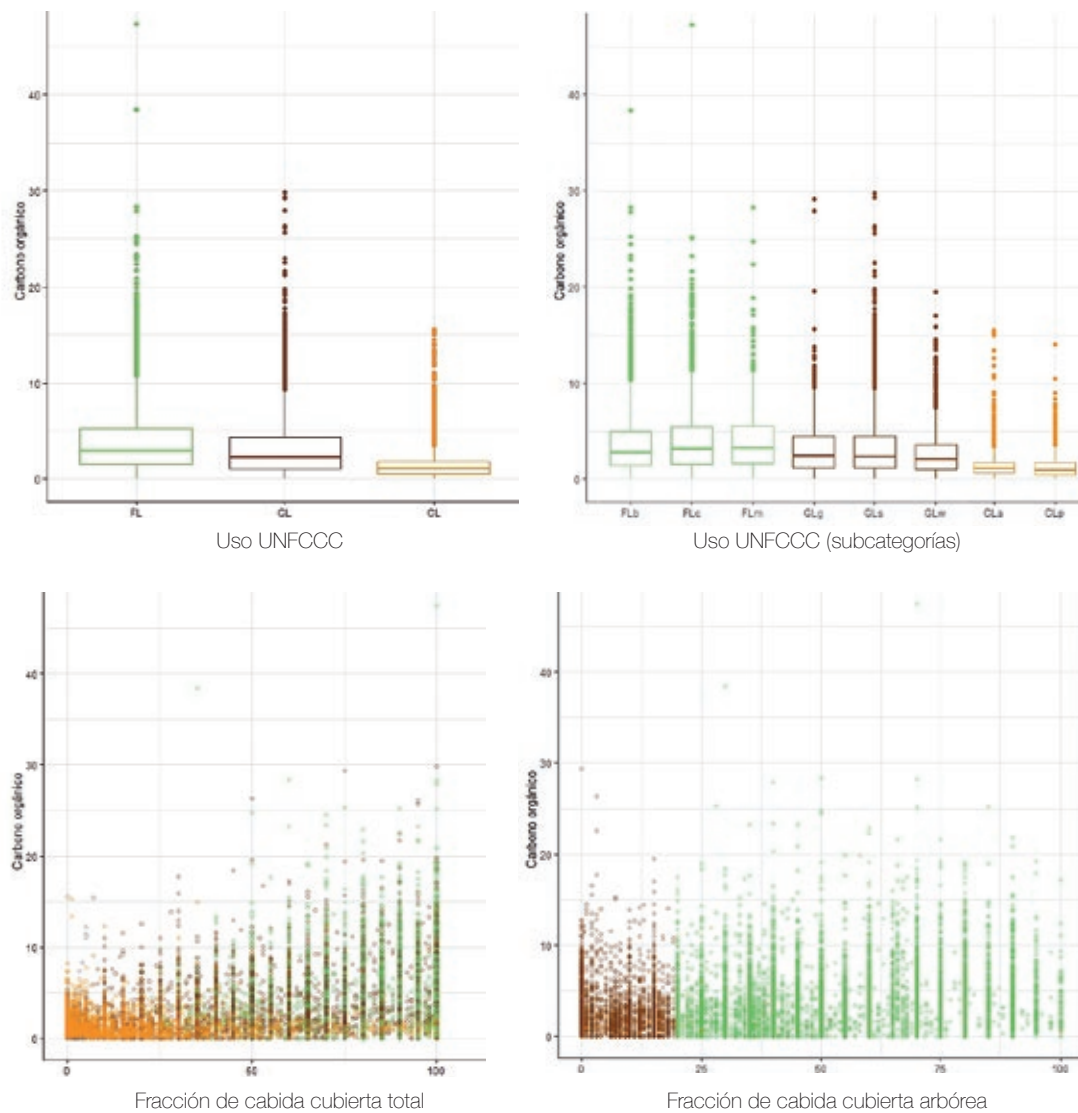


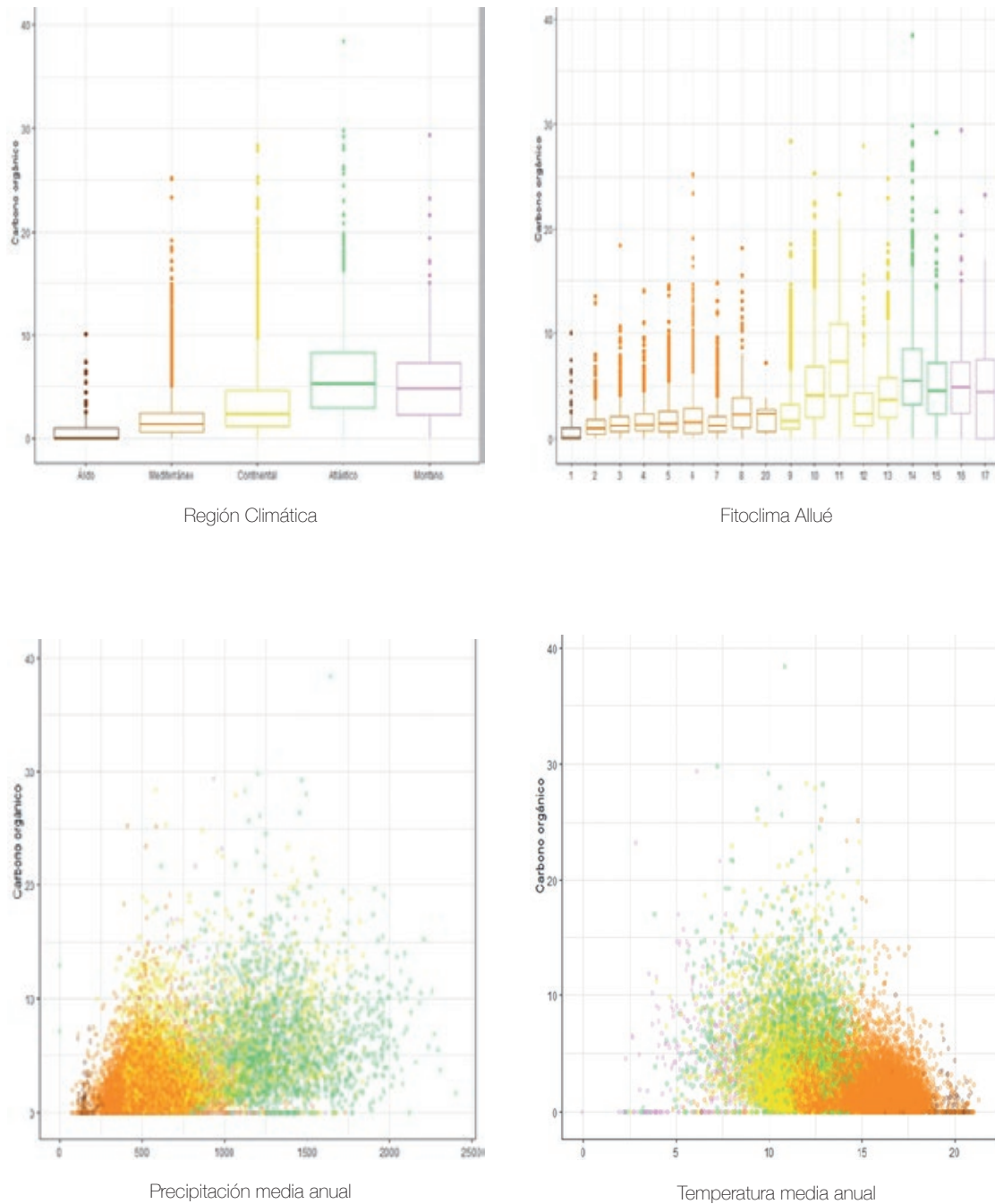
Gráfico 3. % C en función de las variables explicativas relacionadas con la vegetación.

## Variables relacionadas con el clima

**Tabla 18.** Distribución de los valores % C a 10 cm según el clima en las parcelas INES.

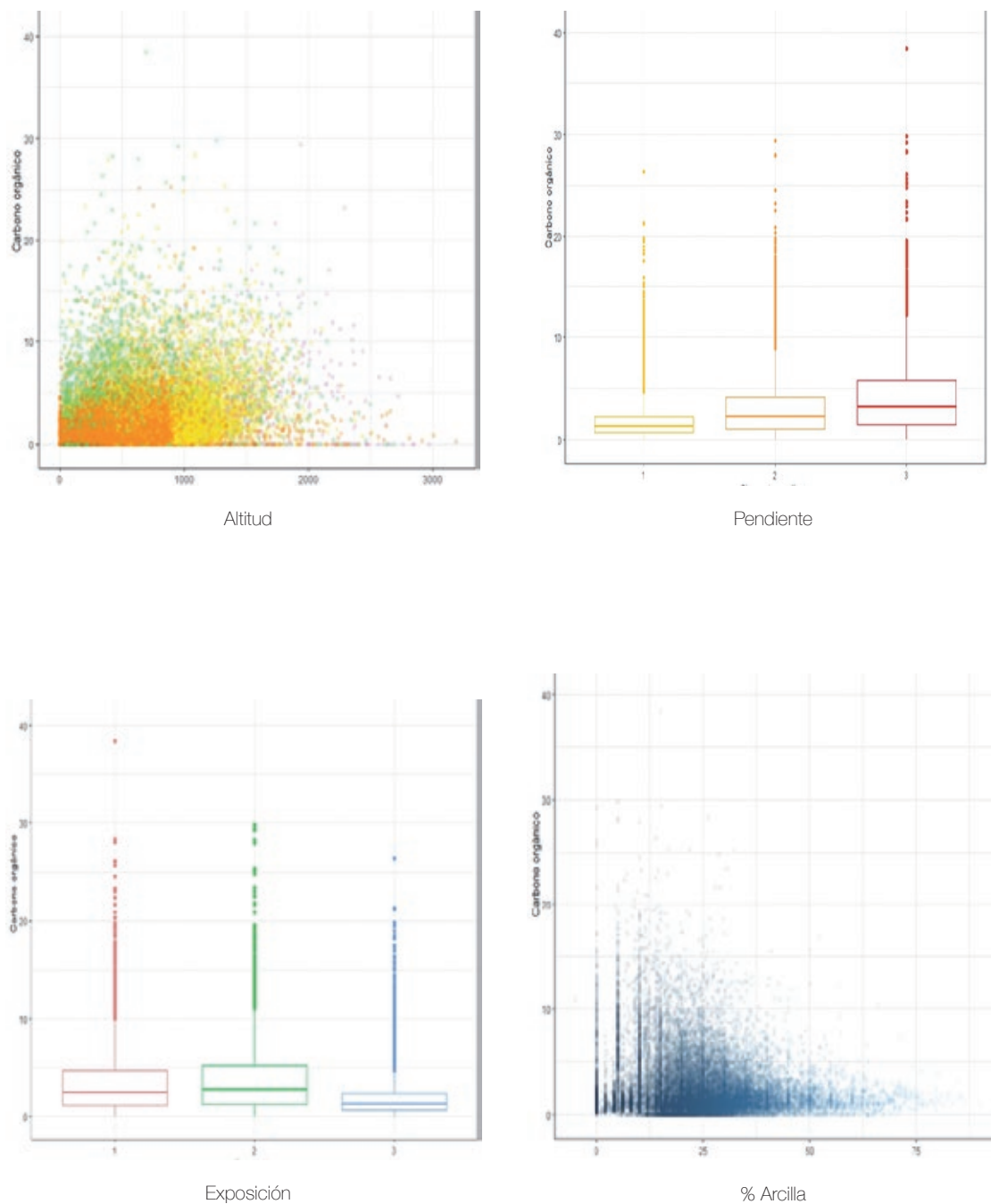
Región Climática	Nº Parcelas	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	1º Cuantil	3º Cuantil
Árido	138	0,79	0,00	1,56	0,00	10,02	0,00	0,99
Mediterráneo	13.244	1,80	1,31	1,81	0,00	25,23	0,65	2,41
Continental	6.706	3,38	2,35	3,25	0,00	47,44	1,15	4,60
Atlántico	1.946	6,06	5,29	4,26	0,00	38,43	2,99	8,26
Montano	511	5,18	4,80	4,04	0,00	29,41	2,24	7,34
<b>TOTAL</b>	<b>22.545</b>	<b>2,71</b>	<b>1,73</b>	<b>2,96</b>	<b>0,00</b>	<b>47,44</b>	<b>0,83</b>	<b>3,55</b>

Región Climática	Fito-clima Allué	Nº Parcelas	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	1º Cuantil	3º Cuantil
<b>Árido</b>	1	138	0,79	0,00	1,56	0,00	10,02	0,00	0,99
	2	623	1,37	0,94	1,55	0,00	13,55	0,42	1,82
	3	2.035	1,57	1,22	1,41	0,00	18,37	0,69	2,05
	4	1.358	1,71	1,27	1,44	0,00	14,01	0,77	2,28
	5	2.182	1,88	1,37	1,85	0,00	14,56	0,66	2,55
	6	4.286	2,03	1,53	2,14	0,00	25,23	0,52	2,85
	7	2.516	1,56	1,18	1,41	0,00	14,82	0,67	2,02
	8	219	2,98	2,25	2,97	0,00	18,10	0,99	3,85
<b>Continental</b>	9	3.736	2,43	1,66	2,33	0,00	28,33	0,91	3,19
	10	1.505	4,91	4,01	3,98	0,00	47,44	1,94	6,86
	11	119	8,09	7,30	4,93	0,16	23,30	4,06	10,93
	12	417	3,10	2,34	2,87	0,00	27,91	1,20	4,30
	13	1.599	6,24	5,47	4,28	0,00	38,43	3,14	8,49
<b>Atlántico</b>	20	25	2,04	2,31	1,55	0,20	7,15	0,69	2,78
	14	929	4,26	3,58	3,29	0,00	24,77	1,93	5,75
<b>Montano</b>	15	347	5,23	4,48	4,07	0,00	29,19	2,34	7,15
	16	77	5,22	4,39	5,02	0,00	23,27	0,00	7,54
	17	434	5,17	4,86	3,85	0,00	29,41	2,40	7,28
<b>TOTAL</b>		<b>22.545</b>	<b>2,71</b>	<b>1,73</b>	<b>2,96</b>	<b>0,00</b>	<b>47,44</b>	<b>0,83</b>	<b>3,55</b>



**Gráfico 4.** % C en función de las variables explicativas relacionadas con el clima.

**Otras variables**



**Gráfico 5.** % C en función de otras variables topográficas y edáficas.

Los resultados de los modelos individuales, es decir, de los **modelos de regresión simple con el porcentaje de carbono (% C)** como variable respuesta y cada una de las variables incluidas en el análisis como variable explicativa, son los siguientes:

**Tabla 19.** Resultados de los modelos de regresión para el % C.

Variabes	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajustado	RMSE
Uso UNFCCC	0.14	0.14	2.74
Uso UNFCCC (subcategorías)	0.15	0.15	2.69
Fcc arbórea	0.07	0.07	3.14
Fcc total	0.15	0.15	2.72
Región climática	0.20	0.20	2.65
Subregión fitoclimática	0.26	0.26	2.55
Temperatura media anual	0.11	0.11	2.79
Precipitación media anual	0.22	0.22	2.61
Altitud	0.03	0.03	2.92
Pendiente	0.1	0.1	2.81
Exposición	0.08	0.08	2.84
Arcilla	0.04	0.04	2.9

Aunque algunas de estas variables ofrecen valores de R<sup>2</sup> interesantes no se pueden considerar todas como covariables, ya que entre ellas presentan correlaciones importantes, y nos encontraríamos con problemas de colinealidad (por ejemplo, entre la altitud y las variables relacionadas con el clima, o entre la Fracción de cabida cubierta y los usos del suelo).

De los resultados del análisis de regresión se concluye que hay una relación, aunque no demasiado intensa puesto que los valores de R<sup>2</sup> son bajos en todos los casos, entre el contenido de COS en el suelo y las variables de clima y vegetación, por este orden, y dentro de estos grupos de variables:

- Con los fitoclimas de Allué se obtienen mejores resultados que con su agrupación en las cinco regiones climáticas, ya que se aprecian claras diferencias entre los valores de % de C dentro de las regiones con mayor representación en España: Mediterránea y, sobre todo, Continental (véase el diagrama de caja y bigotes). Como era de esperar, se obtienen unos resultados muy similares si se consideran como variables climáticas el par de precipitaciones y temperaturas medias anuales, tanto en explicación de la varianza como en distribución de errores.
- Apenas hay diferencias entre los valores de R<sup>2</sup> entre las categorías principales de usos UNFCCC y las subcategorías, como se aprecia en el diagrama de caja y bigotes, apenas hay diferencias en el % C entre las distintas subcategorías de cada uso principal, es decir, los valores son similares en los cultivos herbáceos y en los leñosos, en formaciones arboladas de frondosas y coníferas, y entre matorrales con arbolado, matorral leñoso y herbazales.

Otras variables como las topográficas o el contenido de arcilla no muestran correlación con el % C en los primeros 10 cm del suelo.

Una vez analizadas todas las variables de forma individual y seleccionadas las óptimas para usos del suelo y clima para evitar colinealidad, buscamos la combinación óptima de variables para explicar la variable “carbono

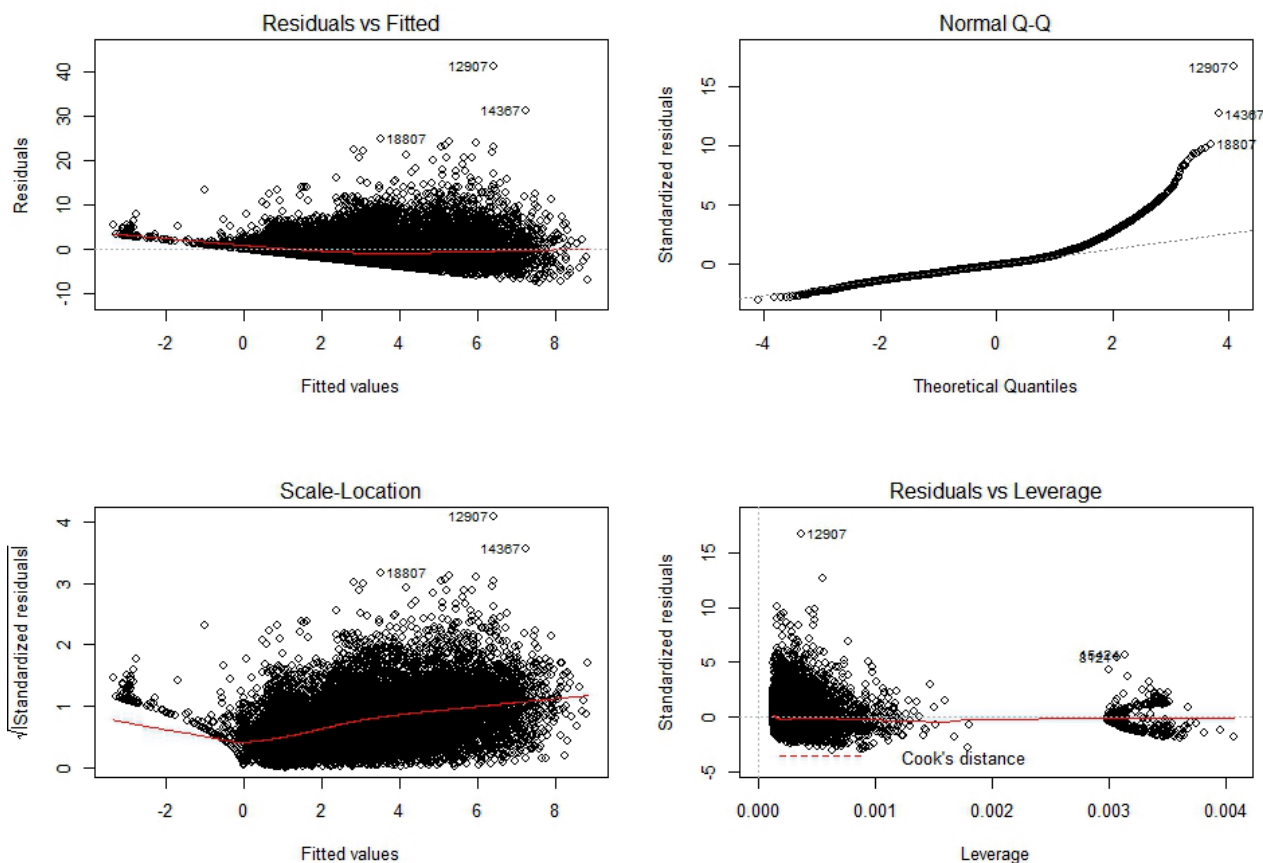
orgánico”. Se realizan todas las combinaciones posibles, partiendo de que usos de suelo y clima son los factores que mejor explican la variable respuesta. La tabla adjunta recoge los resultados de algunas de las combinaciones.

**Tabla 20.** Resultados de los modelos de regresión para las distintas combinaciones.

Variables	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajustado	RMSE
Fitoclima, Uso UNFCCC	0.32	0.32	2.44
Tmed, Pmed, Uso UNFCCC	0.31	0.31	2.46
Tmed, Pmed, Uso UNFCCC, Pte	0.32	0.31	2.45
Tmed, Pmed, Uso UNFCCC, Exposición	0.31	0.31	2.45
Tmed, Pmed, Uso UNFCCC, Exposición, Pte	0.32	0.32	2.45

Se puede apreciar que añadir nuevas variables como la pendiente o la exposición, aparte de las de clima y usos del suelo, no mejora de forma significativa el modelo. Analizando la distribución de errores, es decir, de los residuos del ajuste de regresión (ver gráficos adjuntos), se observa que ninguno de estos modelos es de por si lo suficientemente bueno para predecir valores de porcentaje de carbono aceptables. El coeficiente de variación R<sup>2</sup> es bajo, puesto que solo explica algo más de un 30% de la varianza, la distribución de errores inadecuada por no seguir una distribución normal (véase la cola superior de la figura superior derecha), y además existe heterocedasticidad (varianza de errores no constante, véase la figura inferior izquierda).

No obstante, la obtención de estos modelos ha permitido determinar las variables más relevantes para diseñar el muestreo.



**Figura 8.** Distribución de residuos del ajuste de regresión del % C a 10 cm en las parcelas del INES.

#### 4.1.2. Comparación de resultados de las mediciones de COS a 10 cm con los valores obtenidos en las parcelas del INES

Al tiempo que se describen los resultados del ejercicio de comparación de los estadísticos de los valores obtenidos en las parcelas COS1030 (COS10B) con los de las parcelas del INES (COS10A) se analizan los patrones de distribución de los valores medios obtenido por usos y clima en ambos conjuntos de datos.

**A nivel nacional**, los valores medios de los parámetros que intervienen en el cálculo del COS10B en relación con los de COS10A son: mayores en el caso de % C (32 % más alto respectivamente) y menores en el caso de DA y EG (un 19 % y 38 % más bajos respectivamente).

Como consecuencia de un mayor valor de % C y sobre todo de la disminución del porcentaje medio de elementos gruesos en la muestra, no compensada por la disminución de los valores medios de la DA, el valor medio de COS a 10 cm obtenido con las 800 es un 29 % superior al obtenido con los datos del INES.

Tabla 21. Comparación de resultados nacionales.

	Nº Parcelas	Media de C %	Media de DA	Media de EG	Media de COS10	Min. COS10	Max. COS10	Desvest COS10
COS 10B TOTAL NACIONAL	800	3,58	0,94	25,79	20,19	0,87	92,80	13,47
COS 10A TOTAL NACIONAL	22.545	2,71	1,16	41,56	15,61	0,00	326,90	16,34
% COS10B resp a COS10A		132 %	81 %	62 %	129 %			

A pesar de esta diferencia cuantitativa, la distribución de las variables % C y COS en los 10 primeros cm del suelo siguen la misma tendencia en ambos conjuntos de datos, es decir, asimétrica positiva.

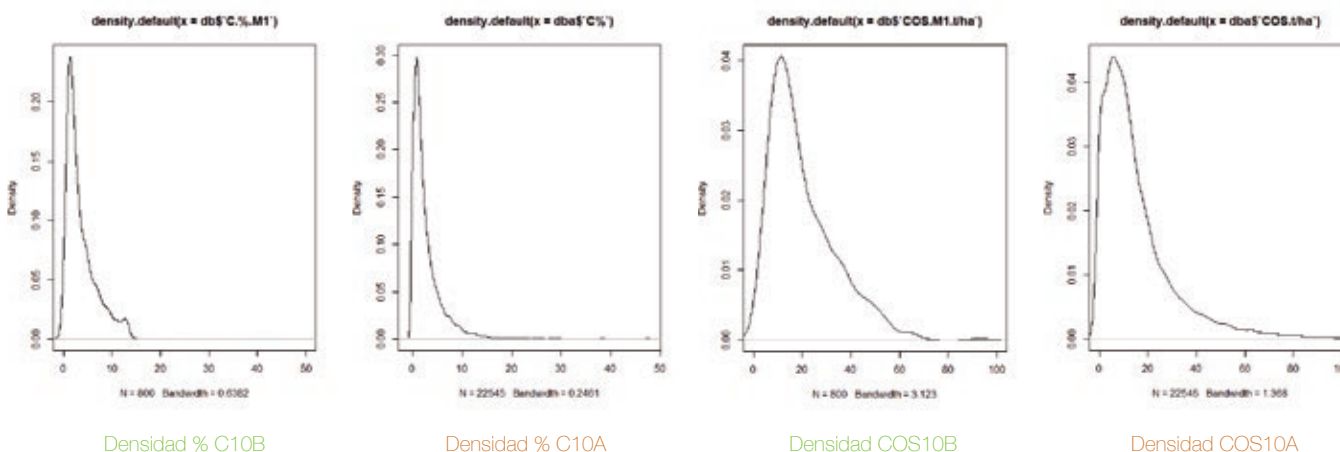


Gráfico 6. Distribución del % C y COS en los 10 primeros cm del suelo.

Los resultados por usos del suelo en los 800 puntos de muestreo siguen el mismo patrón que el obtenido con las parcelas del INES, es decir:



- Los suelos con mayor contenido de COS10 son los de las formaciones forestales arboladas, pero con escasa diferencia respecto a los matorrales.
- La media de COS10 de los suelos agrícolas es del orden de la mitad que la de los suelos forestales.

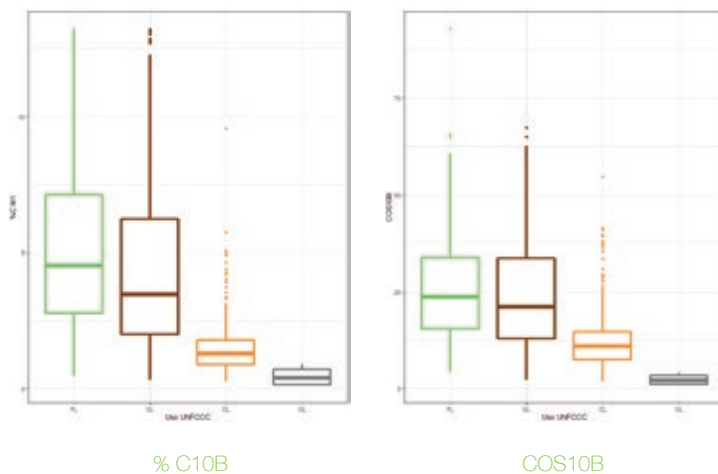


Gráfico 7. % C y COS en función del uso de suelo.

Tabla 22. Comparación de resultados por usos UNFCCC. En color verde los valores de COS10B, en color naranja, los valores de COS10A

Uso UNFCCC	Nº Parcelas	Media de C %	Media de DA	Media de EG	Media de COS10	Desvest de COS10
FL - Tierras forestales	270	5,15	0,83	29,87	25,72	13,69
FL - Tierras forestales	7.336	3,86	1,08	44,87	19,53	17,94
GL - Pastizales	230	4,44	0,87	27,86	24,13	14,12
GL - Pastizales	6.402	3,23	1,16	42,45	18,92	18,41
CL - Tierras de cultivo	296	1,51	1,07	20,13	12,32	7,70
CL - Tierras de cultivo	8.472	1,40	1,22	38,07	10,23	10,71
OL - Otras Tierras	4	0,46	1,24	50,23	2,28	1,55
OL - Otras Tierras	335	0,43	1,40	37,79	2,82	10,30
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>800</b>	<b>3,58</b>	<b>0,94</b>	<b>25,79</b>	<b>20,19</b>	<b>13,47</b>
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>22.545</b>	<b>2,71</b>	<b>1,16</b>	<b>41,56</b>	<b>15,61</b>	<b>16,34</b>

Se mantiene también el patrón de la distribución de valores medios de la densidad aparente para los distintos usos del suelo (FL < GL < CL), así como para el porcentaje de elementos gruesos, que en este caso es el contrario (FL > GL > CL).

Los resultados del contenido de carbono según la **Región climática** son también coherentes con los estudios y análisis previos, los suelos en las zonas de clima atlántico son los de mayor contenido de COS 10, casi duplicando la media nacional, seguidos por los de clima montano y continental. En la región mediterránea están por debajo de la media nacional.

**Tabla 23.** Comparación de resultados por Región climática. En color verde los valores de COS10B, en color naranja, los valores de COS10A.

Región Climática	Nº Parcelas	Media de C %	Media de DA	Media de EG	Media de COS10	Desvest COS10
Árido	4	0,71	1,21	47,34	3,46	3,20
Árido	137	0,80	1,34	38,14	5,55	11,90
Mediterráneo	281	2,10	1,02	26,16	13,81	8,57
Mediterráneo	13.244	1,80	1,18	41,46	11,18	10,62
Continental	364	3,26	0,96	26,80	19,13	12,01
Continental	6.706	3,38	1,17	43,75	18,13	16,87
Atlántico	114	7,38	0,70	18,36	37,20	12,32
Atlántico	1.946	6,06	0,98	33,30	36,44	25,57
Montano	37	6,46	0,74	33,58	28,44	13,31
Montano	511	5,18	0,92	48,05	21,08	17,19

En ambos conjuntos de datos se aprecia en general valores medios más altos de la DA en los climas más secos y cálidos que en los húmedos y fríos, si bien las diferencias no son muy elevadas. En el caso de la pedregosidad, como era de esperar, no se aprecia un patrón definido en función del tipo de clima. Esto corrobora los análisis realizados con los datos del COS10 del INES, en los que se comprobó que ninguna de las variables de clima consideradas contribuye a explicar la distribución de la densidad aparente y el porcentaje de elementos gruesos.

Por último, la comparativa de los valores agrupados por **usos y clima**, de nuevo muestra la coincidencia en el comportamiento de los dos conjuntos de datos, los matorrales y pastizales (GL) en clima atlántico son los que tienen mayor % C10 y COS10, seguidos de las formaciones forestales arboladas (FL), también en clima atlántico.

**Tabla 24.** Comparación de resultados por usos UNFCCC y Región climática. En color verde los valores de COS10B, en color naranja, los valores de COS10A.

USO/CLIMA	Nº Parcelas	Media de C %	Media de COS10	Desvest COS10	Nº Parcelas	Media de C %	Media de COS10	Desvest COS10
<b>FL-Tierras forestales</b>	<b>270</b>	<b>5,15</b>	<b>25,72</b>	<b>13,69</b>	<b>7.336</b>	<b>3,86</b>	<b>19,53</b>	<b>17,94</b>
Mediterráneo	69	3,25	17,63	18,80	3.331	2,67	14,65	12,64
Continental	135	4,85	24,99	14,31	2.802	4,29	19,87	17,45
Atlántico	53	8,17	37,92	20,64	991	6,15	34,31	25,10
Montano	13	6,13	26,64	12,76	208	6,07	23,15	15,62
<b>GL-Pastizales</b>	<b>230</b>	<b>4,44</b>	<b>24,13</b>	<b>14,12</b>	<b>6.402</b>	<b>3,23</b>	<b>18,92</b>	<b>18,41</b>
Mediterráneo	72	2,54	15,68	17,61	3.468	2,03	12,31	11,13
Continental	83	3,74	21,18	15,45	1.952	3,93	22,29	18,23
Atlántico	51	7,20	38,25	25,52	694	6,65	41,49	26,22
Montano	23	6,88	30,56	13,15	231	5,75	24,57	16,49
<b>CL-Tierras de cultivo</b>	<b>296</b>	<b>1,51</b>	<b>12,32</b>	<b>7,70</b>	<b>8.472</b>	<b>1,40</b>	<b>10,23</b>	<b>10,71</b>
Mediterráneo	140	1,31	10,96	11,15	6.343	1,24	8,87	8,33
Continental	146	1,52	12,55	10,59	1.883	1,55	11,73	11,73
Atlántico	10	4,10	28,05	16,32	219	4,81	36,10	21,03

## 4.2. Contenido de carbono: comparativa de valores de COS30 en las parcelas COS y otros estudios nacionales de COS

### 4.2.1. Contenido de carbono en los primeros 30 cm del suelo: estadísticos a partir de los valores obtenidos en los puntos de muestreo

Se recogen a continuación los resultados del cálculo en los primeros 30 cm del suelo **a partir de los valores en los 800 puntos** de muestreo de los parámetros % C y COS de cara a su comparación con los valores obtenidos en los estudios de contenido de carbono disponibles en la bibliografía.

La **media nacional de % de carbono del suelo en los primeros 30 cm (% C30)<sup>15</sup>** de los 800 puntos de muestreo es de 2,71 %.

La **media nacional de contenido de carbono del suelo en los primeros 30 cm (COS30)<sup>16</sup>** de los 800 puntos de muestreo es de 47,34 t/ha.

En los mapas de valores en las parcelas COS1030 se puede observar la distribución geográfica de % C y COS. Las **provincias con la media más alta de contenido de COS30** son las de la cornisa cantábrica, destacando las muestras tomadas en La Coruña y Lugo (**112,31 y 103,18 t/ha** respectivamente) que tienen más del doble de COS30 que la media nacional. Las provincias con la media más baja son algunas provincias andaluzas y castella-no-manchegas, cuyo contenido de COS30 es del orden de la mitad de la media.

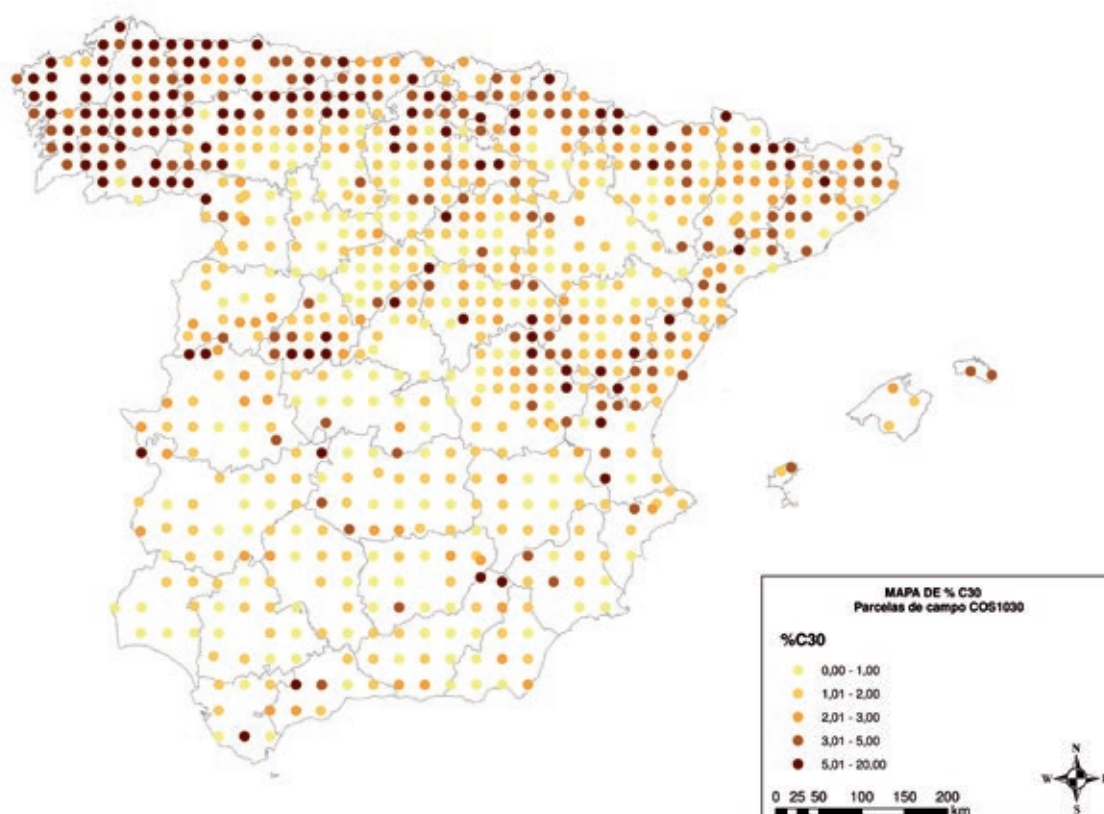


Figura 9. Mapa de valores de % C30 en las parcelas COS1030.

<sup>15</sup> Obtenida como media (ponderada con el espesor del horizonte) del valor de la variable % C en la muestra de 0 a 10 cm (% C1) y la muestra de 10 a 30 cm (% C2).

<sup>16</sup> Obtenida como suma del COS en la muestra de 0 a 10 cm (COS1) y en la muestra de 10 a 30 cm (COS2).

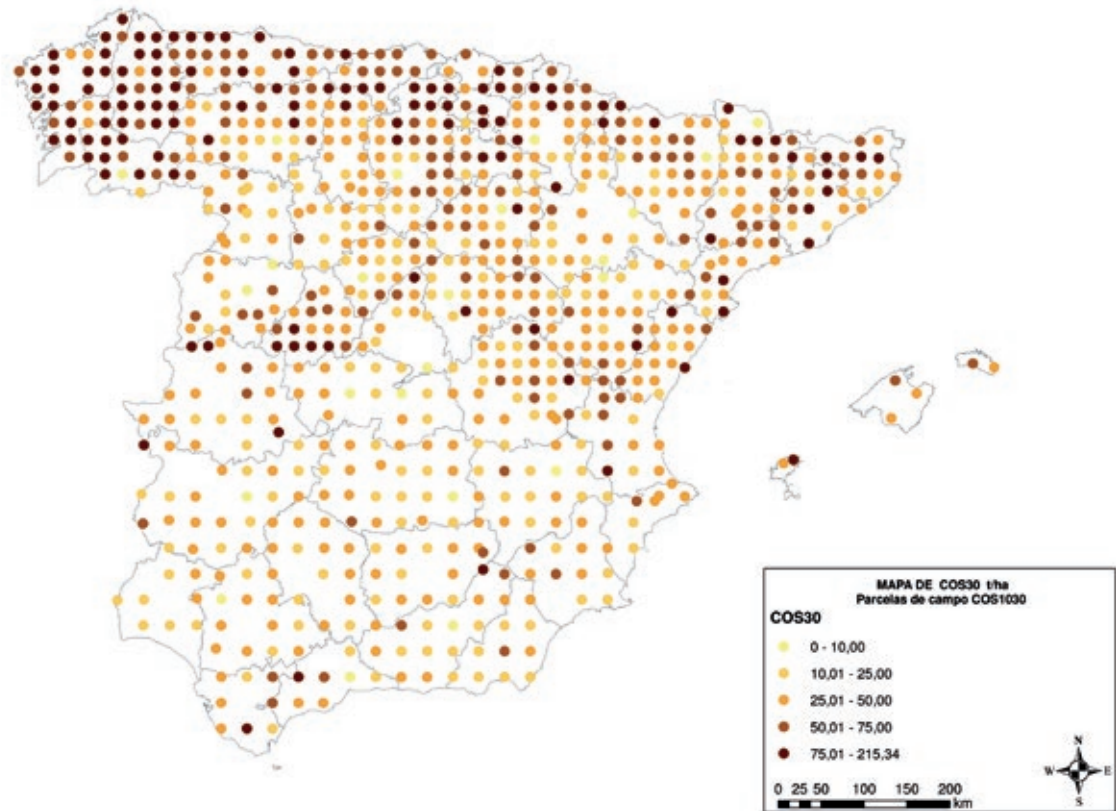


Figura 10. Mapa de valores de COS30 en las parcelas- COS1030

Los mapas de distribución de valores de la densidad aparente y la pedregosidad no muestran un patrón claro, si bien se aprecian valores de DA más bajos en el NO peninsular.

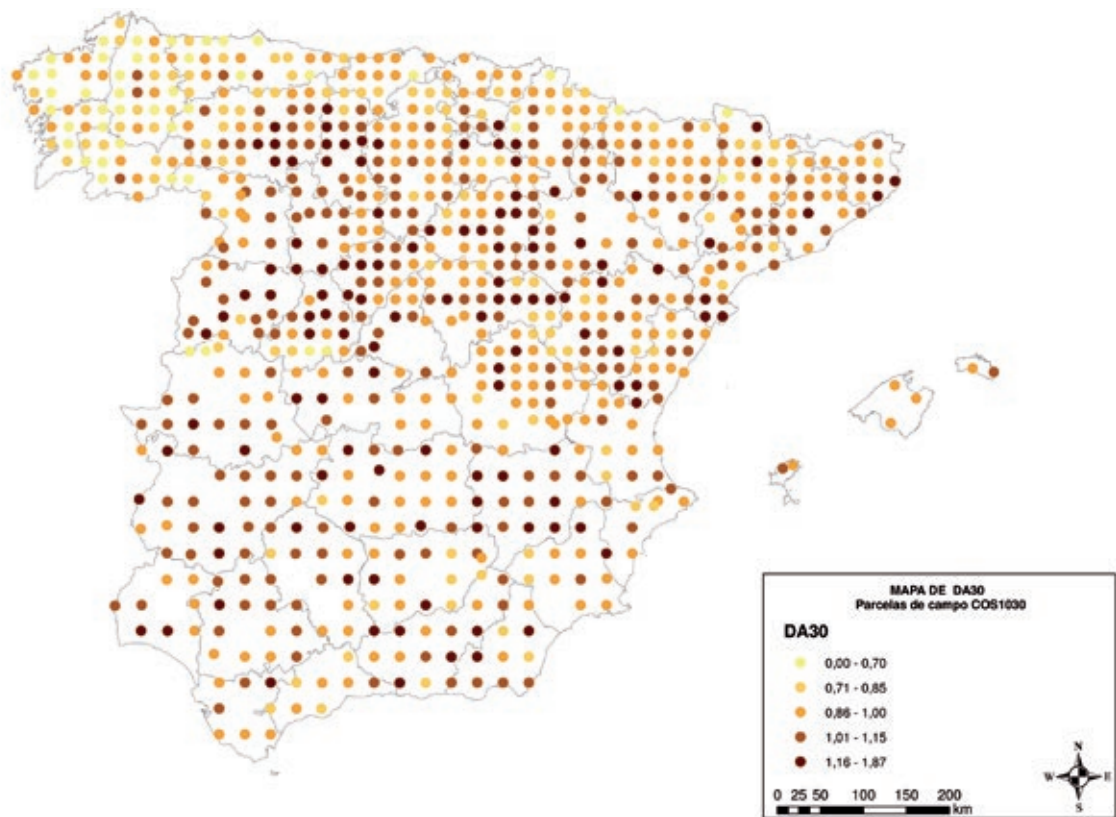


Figura 11. Mapa de valores de DA en las parcelas COS1030

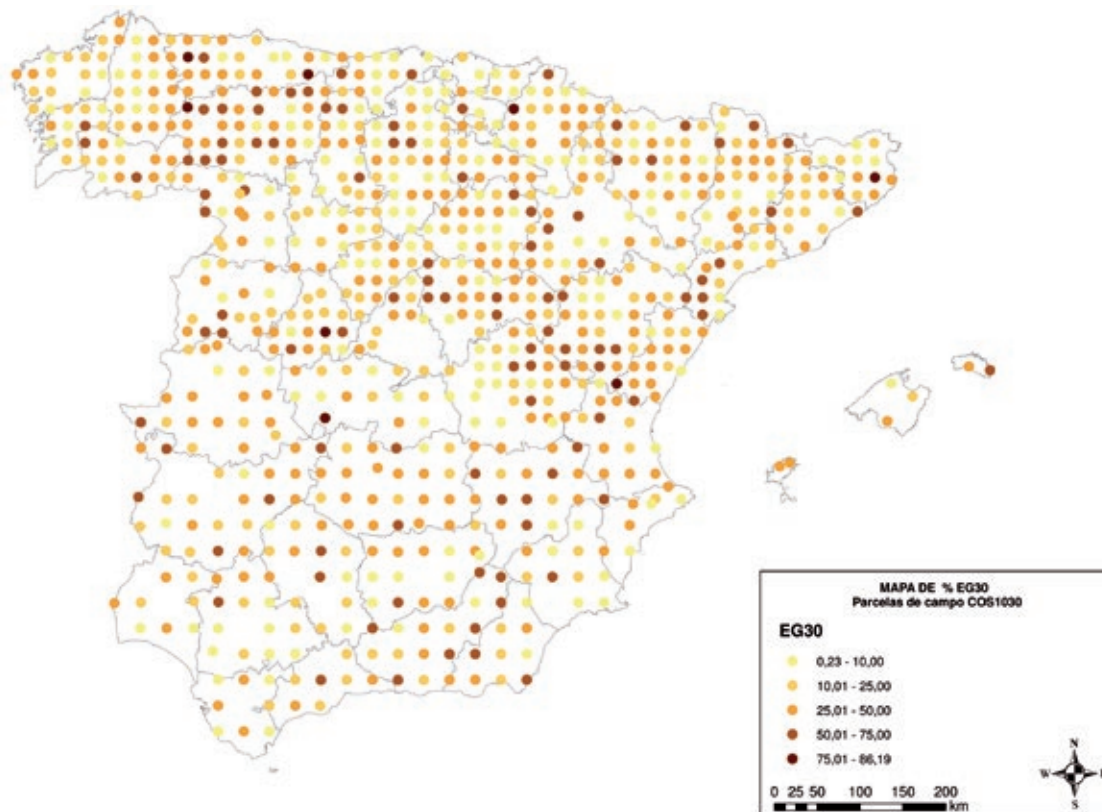


Figura 12. Mapa de valores de EG en las parcelas COS1030

Los resultados de % C30 y de COS30 por usos principales del suelo (Uso UNFCCC) en los 800 puntos de muestreo siguen el patrón que ya se obtuvo en el análisis del COS a 10 cm (COS10) tanto en las parcelas del INES como en las parcelas COS:

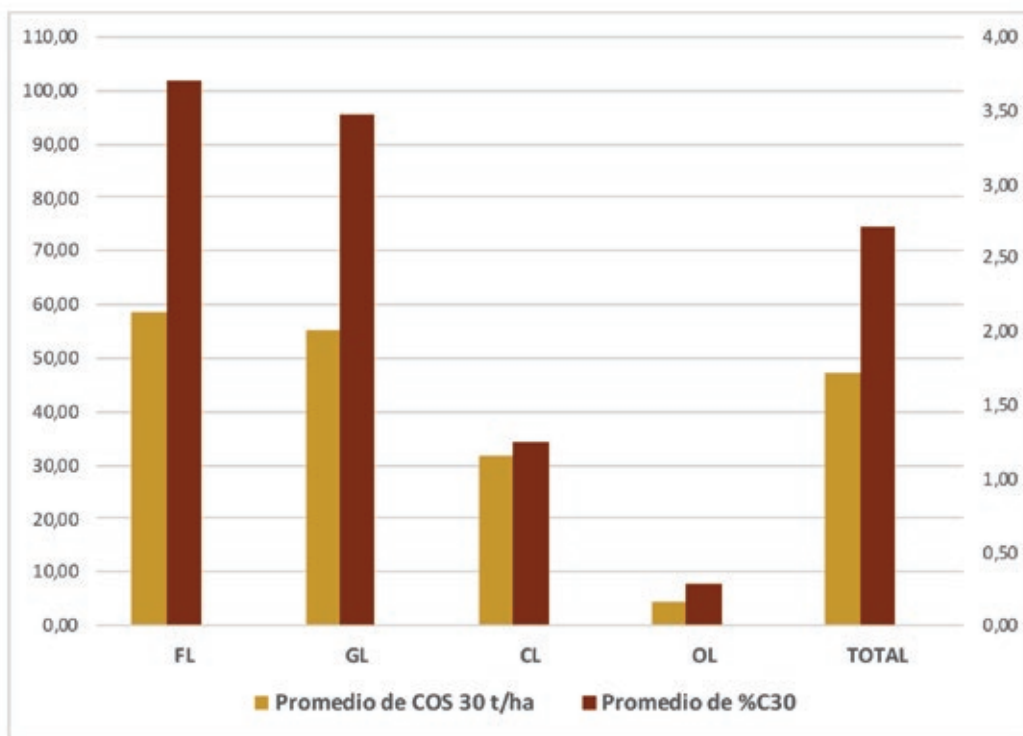


Gráfico 8. Distribución de % C y de COS a 30 cm según usos UNFCCC.

**Tabla 25.** Estadísticos obtenidos para % C y COS a 30 cm según usos de suelo UNFCCC.

Uso UNFCCC	Nº Parcelas	% C30 Media	Desvest % C30	% resp a media	Media DA30	Media EG30%	COS30 Media	Desvest COS30	% resp a media
FL - Tierras forestales	270	3,7	2,34	136,68%	0,92	31,40	58,61	33,04	123,81%
GL - Pastizales	230	3,47	2,77	128,13%	0,95	31,34	55,23	35,93	116,66%
CL - Tierras de cultivo	296	1,24	0,77	45,89%	1,10	19,74	31,51	19,81	66,56%
OL - Otras Tierras	4	0,28	0,16	10,46%	1,22	54,48	4,51	2,50	9,54%
<b>Total Nacional</b>	<b>800</b>	<b>2,71</b>	<b>2,36</b>	<b>100,00%</b>	<b>0,99</b>	<b>27,18</b>	<b>47,34</b>	<b>32,33</b>	<b>100,00%</b>

- Los suelos con mayor valor medio de % de C30 y de contenido de COS30 son los de las formaciones forestales arboladas, con 3,70 % y 58,61 t/ha respectivamente, pero con escasa diferencia respecto a los matorrales / pastizales (3,47 % y 55,23 t/ha). Los valores medios de la densidad aparente y del porcentaje de pedregosidad son similares en ambos usos forestales.
- En los suelos agrícolas el valor medio del % de C30 (1,24 %) es del orden de un tercio del de los suelos forestales. Sin embargo, el contenido de COS30 (31,51 t/ha) resulta ser ligeramente superior a la mitad del de los suelos forestales, esta diferencia se explica por los valores medios de pedregosidad en los 30 primeros cm del suelo, que son bastante mayores en los suelos forestales (algo más del 31%) que en los suelos agrícolas (cerca del 20%).

Es decir, en los suelos agrícolas la cantidad total de carbono se ve relativamente favorecida por una menor pedregosidad, a pesar de que el contenido de materia orgánica es muy inferior al de los suelos forestales.

La variabilidad en todos los casos es muy alta, como se puede observar en los elevados valores de la desviación típica.

Del análisis con más detalle del contenido de carbono en función del tipo de cubierta vegetal a partir de las denominadas subcategorías de UNFCCC y de la clasificación realizada para este trabajo de la leyenda de vegetación utilizada en el INES, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Los valores medios de la densidad aparente (DA) de los usos forestales son inferiores en todos los casos a los de los cultivos, no existiendo apenas diferencias entre los subusos en ambos casos.
- Los valores medios del porcentaje de elementos gruesos en las muestras tomadas (EG) en los usos forestales son superiores a los de los cultivos, y similares entre los distintos subusos, salvo en el caso de los pastizales de vegetación herbácea, que son del mismo orden de magnitud que la media de pedregosidad para los cultivos herbáceos.
- En todas las formaciones forestales, tanto arboladas como desarboladas, los valores medios de % C30 y de COS30 están por encima de la media.
- Se observan escasas diferencias entre los valores medios obtenidos para las masas arboladas de coníferas (FLc) y de frondosas (FLb), siendo ligeramente superiores los de las primeras. Las formaciones arboladas mixtas (FLm) son las que más contenido de carbono tienen, si bien hay que tener en cuenta que el número de muestras es muy inferior al de las otras dos clases y que incluyen varias parcelas con elevados contenidos de COS.

- En las formaciones forestales arboladas se observa una disminución tanto de % C como de COS según disminuye la fracción de cabida cubierta (Fcc) del arbolado.
- El % C de las formaciones arbustivas es algo inferior al de las formaciones arboladas más densas, pero superior al de densidades intermedias. Sin embargo, el valor medio del COS del arbolado con densidad media y del matorral es muy similar.
- El % C es mayor en las formaciones arbustivas (GLs) que en la clase “praderas, pastizales y herbazales” (que en la clasificación agrupada de vegetación del INES reúne pastos herbáceos independientemente de si son terrenos forestales o agrícolas). Sin embargo, el valor medio de COS es superior en dichas formaciones herbáceas, lo que puede explicarse porque en esta clase el porcentaje de pedregosidad (EG) es bastante más bajo que en el resto de los usos de suelos forestales.
- El contenido medio de % C es similar en las formaciones de matorral con arbolado disperso (GLw) y en los pastos herbáceos, probablemente debido a que dentro de las primeras una buena parte son formaciones adehesadas con estrato inferior herbáceo. No ocurre lo mismo en el caso del COS, de nuevo probablemente motivado por la gran diferencia de pedregosidad media. De hecho, el COS medio de praderas, pastizales y herbazales es superior incluso al de las formaciones arboladas con Fcc entre 33 y 66 %.
- Tanto los cultivos leñosos (CLp) como los herbáceos (CLa), tienen contenidos medios de carbono inferiores a la media nacional. En general los cultivos herbáceos tienen mayor contenido de carbono que los leñosos, un 17 % más en el caso del % C y un 27 % más en el caso del COS. De nuevo interviene la mayor pedregosidad de los suelos de cultivos leñosos (23 % frente a 18 %) en esta diferencia, puesto que detrae cantidad de carbono neto de la fórmula.
- En general los cultivos de regadío tienen mayor contenido de carbono que los de secano, siendo mayor la diferencia en el caso de los cultivos leñosos que en los herbáceos.

La variabilidad entre clases sigue siendo bastante alta, si bien es ligeramente más baja en algunos tipos de uso como la clase agrupada de praderas, pastizales y herbazales y en los cultivos leños, tanto de regadío como de secano.

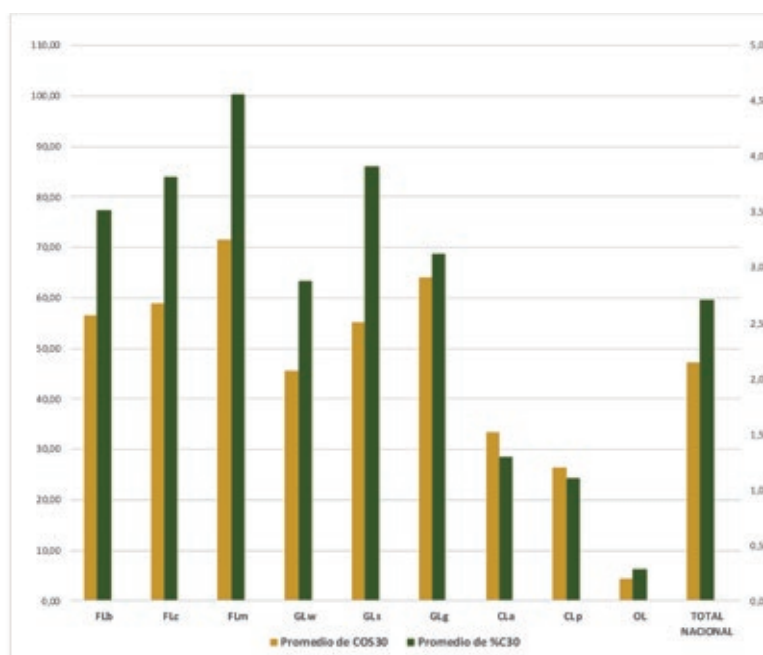


Gráfico 9. Distribución de % C y de COS a 30 cm según subcategorías UNFCCC.

**Tabla 26.** Estadísticos obtenidos para % C y COS a 30 cm según subcategorías UNFCCC.

Subcategorías UNFCCC	Nº Parcelas	Media % C30	Desvest % C30	Media DA30	Media EG30 %	Media COS30	Desvest COS30
FLb - Frondosas	147	3,52	2,33	0,93	29,98	56,64	32,73
FLc - Coníferas	104	3,81	2,17	0,92	33,26	59,03	31,54
FLm - Mixto	19	4,56	3,06	0,87	32,29	71,57	41,53
GLw - Pastizales con veg. leñosa FCC $\geq$ 10	54	2,88	2,40	1,01	37,01	45,58	28,91
GLs - Pastizales de veg. arbustiva	118	3,91	3,16	0,92	35,47	55,31	39,33
GLg - Pastizales de veg. herbácea	58	3,13	2,02	0,94	17,66	64,04	32,68
CLa - Cultivos herbáceos	216	1,29	0,85	1,10	18,49	33,42	21,72
CLp - Cultivos leñosos	80	1,11	0,47	1,08	23,12	26,34	12,03
OL - Otras Tierras	4	0,28	0,16	1,22	54,48	4,51	2,50
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>800</b>	<b>2,71</b>	<b>2,36</b>	<b>0,99</b>	<b>27,18</b>	<b>47,34</b>	<b>32,33</b>

**Tabla 27.** Estadísticos obtenidos para % C y COS a 30 cm según vegetación del INES agrupada.

Vegetación INES agrupada	Nº Par.	Media % C30	Desvest % C30	Media DA30	Desvest DA30	Media EG30 %	Desvest EG30 %	Media COS30	Desvest COS30
Forestal arbolado Fcc > 66 %	105	4,28	2,37	0,87	0,13	29,93	20,80	66,73	34,69
Forestal arbolado 33 % < Fcc < 66 %	112	3,42	2,06	0,95	0,17	32,85	19,58	54,03	28,67
Forestal arbolado Fcc < 33 %	53	3,17	2,59	0,96	0,19	31,28	15,54	52,22	35,58
Matorral con arbolado disperso	54	2,88	2,40	1,01	0,16	37,01	17,99	45,58	28,91
Matorral	118	3,91	3,16	0,92	0,17	35,47	20,78	55,31	39,33
Praderas, pastizales y herbazales	80	2,82	1,88	0,97	0,16	18,51	17,45	59,25	31,54
Cultivos leñosos de regadío	26	1,16	0,52	1,09	0,20	22,55	17,40	28,48	13,65
Cultivos leñosos de secano	168	1,08	0,44	1,07	0,17	23,47	18,07	24,99	10,81
Cultivos herbáceos de regadío	31	1,44	0,74	1,12	0,23	16,09	14,32	38,95	19,53
Cultivos herbáceos de secano	49	1,18	0,77	1,11	0,22	18,56	15,28	30,84	20,94
Desiertos y semidesiertos de vegetación	4	0,28	0,16	1,22	0,04	54,48	18,89	4,51	2,50
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>800</b>	<b>2,71</b>	<b>2,36</b>	<b>0,99</b>	<b>0,20</b>	<b>27,18</b>	<b>19,58</b>	<b>47,34</b>	<b>32,33</b>



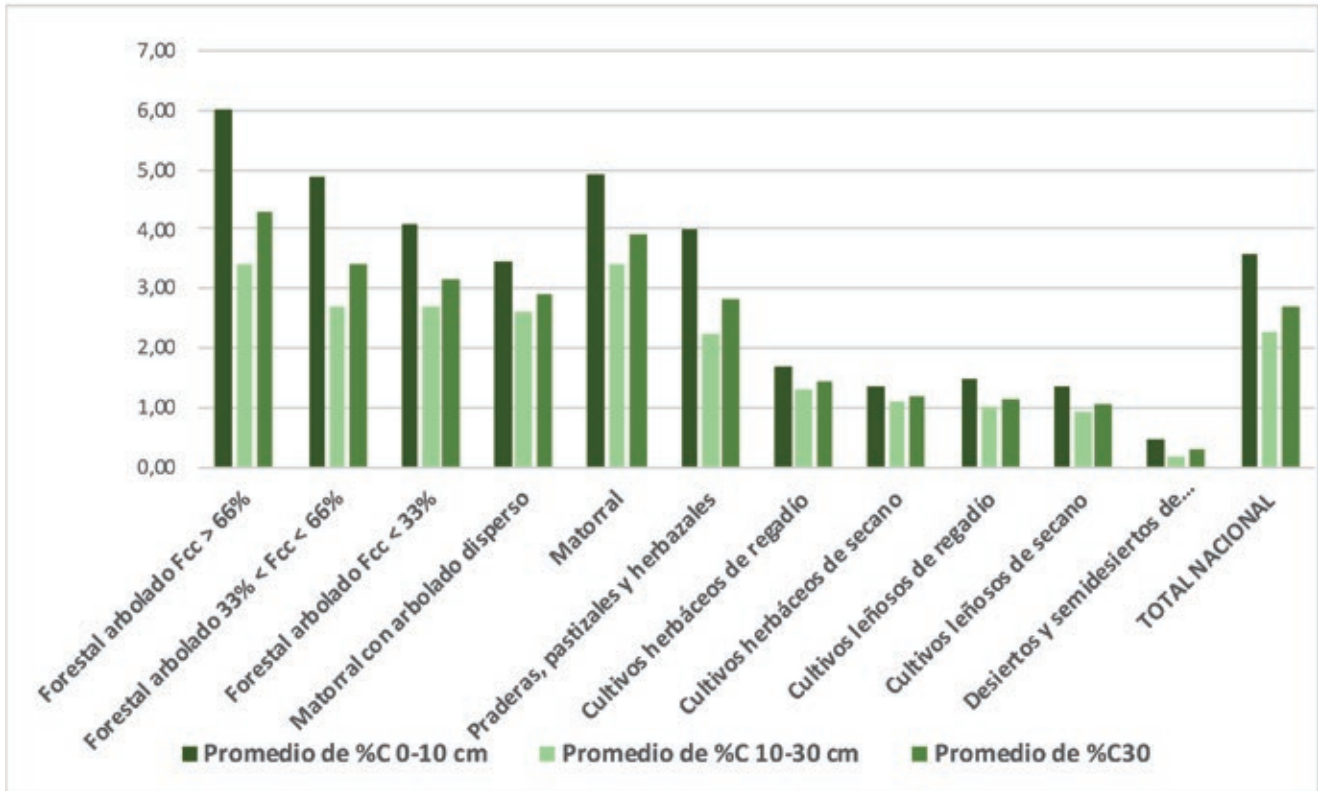


Gráfico 10. Distribución de % C y del COS a 30 cm según vegetación del INES agrupada.

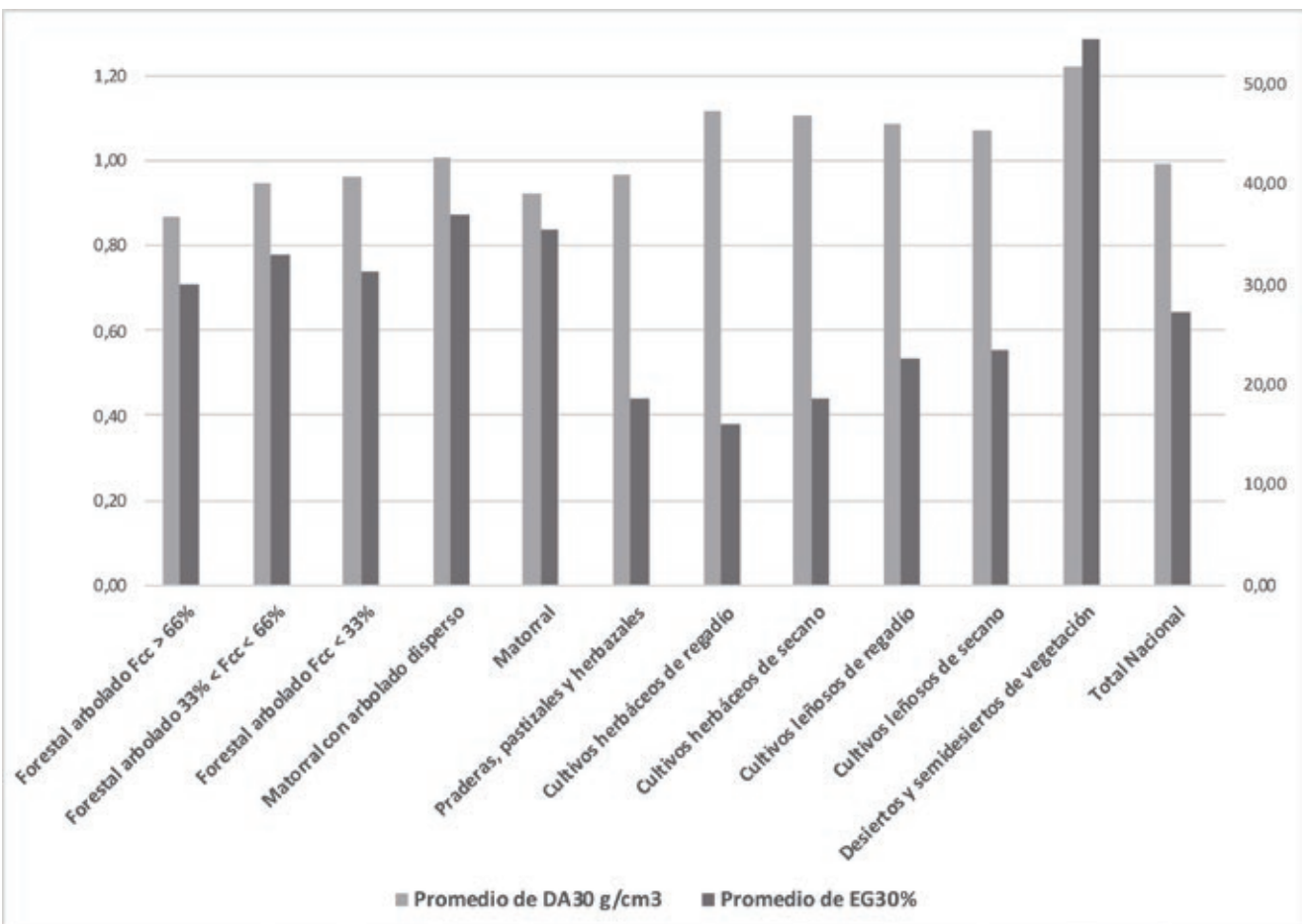


Gráfico 11. Distribución de DA y EG a 30 cm según vegetación del INES agrupada.

Los resultados del contenido de carbono en el suelo según el tipo de clima son también coherentes con los estudios disponibles en España y con los del contenido a 10 cm a partir de la toma de datos del INES:

- Los suelos en las zonas de clima atlántico son los que tiene mayores valores medios de % C y de COS30, duplicando la media nacional en el caso del % C y en torno a un 85 % por encima de la media en el caso de COS30, seguidos por los de clima montano y continental, también por encima de la media, salvo el tipo VI(IV)1: Nemoromediterráneo genuino (que es con diferencia el que tiene una mayor representación en la muestra, más de un 20 % de las parcelas pertenecen a este fitoclima).
- Todos los tipos de fitoclimas mediterráneos están por debajo de la media nacional. La media de las cuatro parcelas medidas en clima árido (con muy escasa representación en el territorio), es como era de esperar muy baja, de 8,89 t/ha.
- La influencia de los parámetros de pedregosidad y densidad aparente es menor que en el caso del análisis por usos del suelo, sobre todo en el caso de la EG, puesto que no se aprecia un patrón definido, salvo en el caso de climas montanos, superior al resto pero motivado más por la orografía que por el clima. En el caso de la DA, se aprecia cierto patrón de disminución de la DA media en los climas más húmedos y con menor temperatura media.

No obstante, la influencia del clima se debe interpretar teniendo en cuenta la distribución relativa de los usos del suelo en las muestras obtenidas en cada tipo de fitoclima. La observación conjunta de los mapas de clima y vegetación facilita esta interpretación.

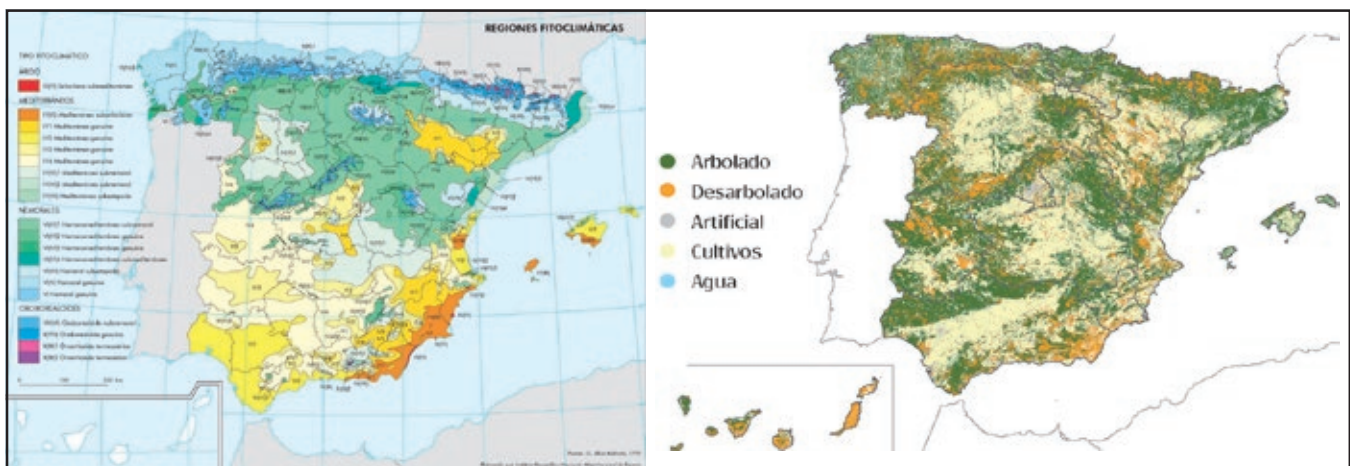


Figura 13. Mapa de fitoclimas de Allué y de usos del suelo.

La gran mayoría de las muestras tomadas en los fitoclimas con mayor contenido de C son usos forestales, incluso en algunos no hay ninguna muestra en cultivo agrícola. Por el contrario, el porcentaje de muestras en uso agrícola en el fitoclima VI(IV)1 Nemoromediterráneo genuino es muy elevado, lo que explica que sea el único del grupo de climas continentales que está por debajo de la media nacional.

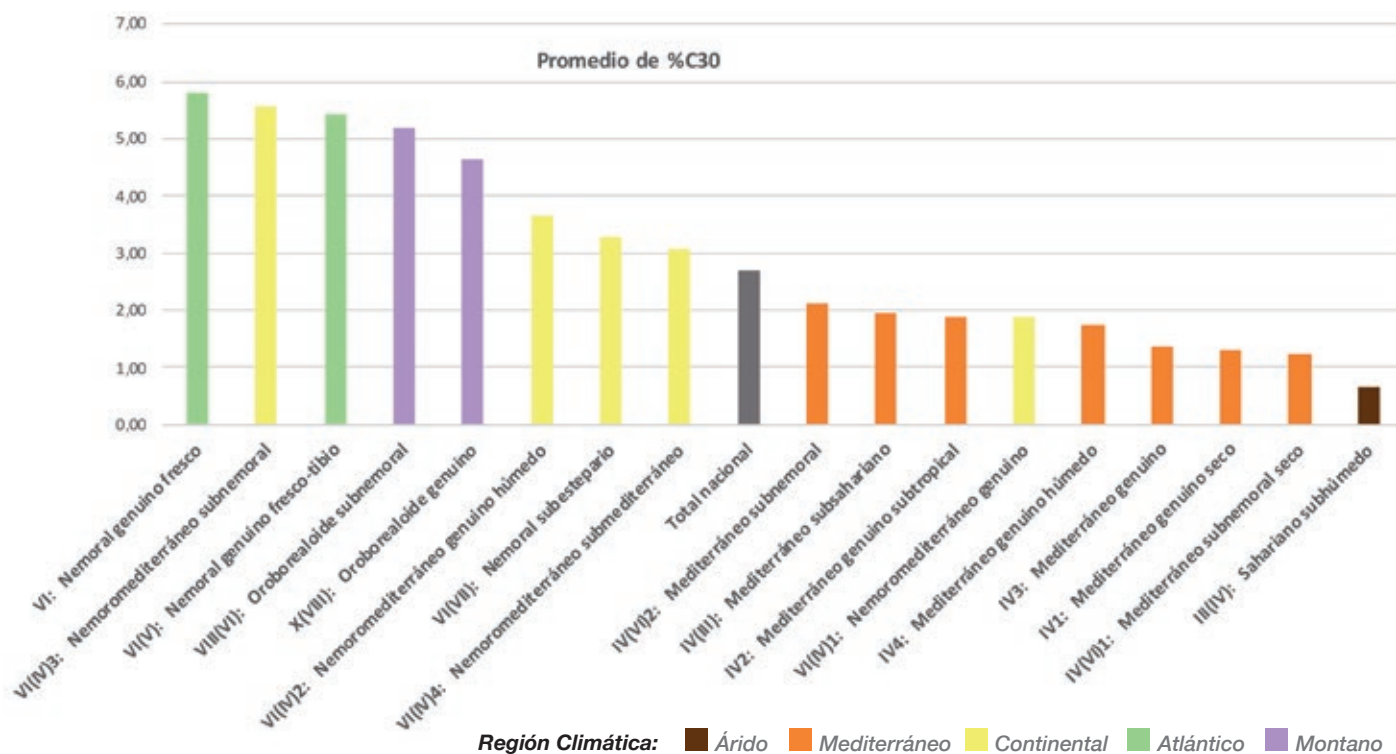


Gráfico 12. Distribución de % C a 30 cm según tipos fitoclimáticos (Allué), ordenados de mayor a menor.

Tabla 28. % C y COS a 30 cm según código Allué y orden con región climática.

Cód.	Fitoclima Allué	Nº FL+GL	Nº CL	Media %C30	% resp a la media	Media COS30	% resp media
15	VI: Nemoral genuino fresco	28	1	5,79	213,73 %	84,64	178,79 %
11	VI(IV)3: Nemoromediterráneo subnemoral	3	1	5,56	205,00 %	97,50	205,97 %
14	VI(V): Nemoral genuino fresco-tibio	76	9	5,43	200,35 %	88,67	187,30 %
16	VIII(VI): Oroborealoide subnemoral	30		5,20	192,00 %	64,45	136,15 %
17	X(VIII): Oroborealoide genuino	6		4,66	171,89 %	64,33	135,89 %
10	VI(IV)2: Nemoromediterráneo genuino húmedo	52	10	3,65	134,65 %	55,40	117,03 %
13	VI(VII): Nemoral subestepario	45	4	3,27	120,52 %	56,81	120,01 %
12	VI(IV)4: Nemoromediterráneo submediterráneo	10	2	3,08	113,53 %	59,00	124,63 %
	<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>500</b>	<b>296</b>	<b>2,71</b>	<b>100,00 %</b>	<b>47,34</b>	<b>100,00 %</b>
8	IV(VI)2: Mediterráneo subnemoral	8	10	2,12	78,32 %	42,66	90,12 %
2	IV(III): Mediterráneo subsahariano	10	9	1,94	71,56 %	39,25	82,91 %
4	IV2: Mediterráneo genuino subtropical	23	16	1,88	69,32 %	37,77	79,78 %
9	VI(IV)1: Nemoromediterráneo genuino	108	129	1,88	69,25 %	37,31	78,81 %
6	IV4: Mediterráneo genuino húmedo	65	30	1,74	64,22 %	34,20	72,24 %
5	IV3: Mediterráneo genuino	16	18	1,37	50,58 %	26,64	56,27 %
3	IV1: Mediterráneo genuino seco	7	22	1,30	48,11 %	33,23	70,19 %
7	IV(VI)1: Mediterráneo subnemoral seco	12	35	1,24	45,84 %	25,48	53,82 %
1	III(IV): Sahariano subhúmedo	1		0,65	23,99 %	8,89	18,78 %

El análisis de resultados **según uso y clima** permite resumir las conclusiones que se han ido obteniendo en los análisis para cada factor:

- El patrón de contenido medio de carbono según climas (Atlántico > Montano > Continental > Mediterráneo) se repite en todos los usos del suelo.
- El patrón de contenido de carbono según usos del suelo (Forestal arbolado > Forestal desarbolado > Agrícola) es el mismo en las tres principales regiones climáticas: mediterránea, continental y atlántica. En el caso de la región de clima montano, son las parcelas en el uso forestal desarbolado las que tienen mayor valor medio, tanto de % C como de COS.
- En conjunto, las formaciones arboladas de climas atlántico y montano son las que tienen los mayores valores medios de contenido de carbono en el suelo con poca diferencia con matorrales y pastos.
- Las parcelas sobre cultivo agrícola en clima mediterráneo son las que tienen menor contenido de carbono, en este caso con muy poca diferencia con las de clima continental.

**Tabla 29.** % C, COS, DA y EG a 30 cm según uso y clima.

Uso UNFCCC / Región climática	Nº Parcelas	Media % C30	Desvest % C30	Media DA30	Media EG30 %	Media COS30	Desvest COS30
<b>Forestal arbolado</b>	<b>270</b>	<b>3,70</b>	<b>2,34</b>	<b>0,92</b>	<b>31,40</b>	<b>58,61</b>	<b>32,73</b>
Mediterráneo	69	2,37	1,50	1,01	34,94	40,34	24,09
Continental	135	3,45	2,04	0,95	31,80	55,40	29,29
Atlántico	53	5,91	2,45	0,77	23,59	91,28	31,65
Montano	13	4,45	1,99	0,82	40,43	55,80	22,48
<b>Forestal desarbolado</b>	<b>230</b>	<b>3,47</b>	<b>2,77</b>	<b>0,95</b>	<b>31,34</b>	<b>55,23</b>	<b>31,54</b>
Árido	1	1,86	-	1,12	65,53	21,45	-
Mediterráneo	72	1,91	1,41	1,03	33,37	34,61	25,48
Continental	83	2,93	2,01	0,99	32,90	48,70	25,61
<b>Atlántico</b>	<b>51</b>	<b>5,59</b>	<b>3,33</b>	<b>0,81</b>	<b>20,54</b>	<b>88,09</b>	<b>39,46</b>
Montano	23	5,69	2,86	0,87	41,80	71,94	31,03
Agrícola	296	1,24	0,77	1,10	19,74	31,51	41,53
Mediterráneo	140	1,11	0,67	1,09	19,58	28,76	20,13
Continental	146	1,24	0,61	1,11	20,00	31,77	16,78
Atlántico	10	3,14	1,53	0,92	18,12	66,09	24,85
<b>Otras tierras</b>	<b>4</b>	<b>0,28</b>	<b>0,16</b>	<b>1,22</b>	<b>54,48</b>	<b>4,51</b>	<b>32,68</b>
Árido	3	0,25	0,18	1,20	48,12	4,70	3,02
Montano	1	0,40	-	1,28	73,53	3,95	-
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>800</b>	<b>2,71</b>	<b>2,36</b>	<b>0,99</b>	<b>27,18</b>	<b>47,34</b>	<b>39,33</b>

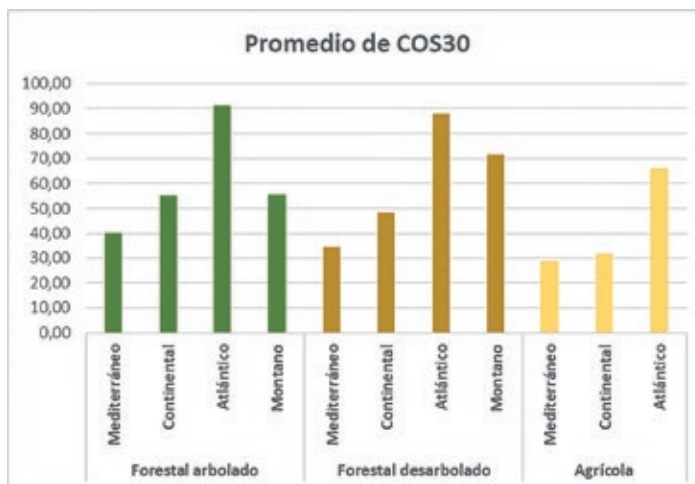


Gráfico 13. Distribución de COS a 30 cm según uso y clima.

La influencia sobre el cálculo de COS de los parámetros de densidad aparente y de pedregosidad según los distintos usos y climas se observa en las diferencias relativas entre las barras que representan el % C30 y el COS en cada caso: mayor % C que COS en los climas montanos, con altos porcentajes de pedregosidad y menor % C que COS en los suelos agrícolas, menos pedregosos y con densidades aparentes más altas que los usos forestales.

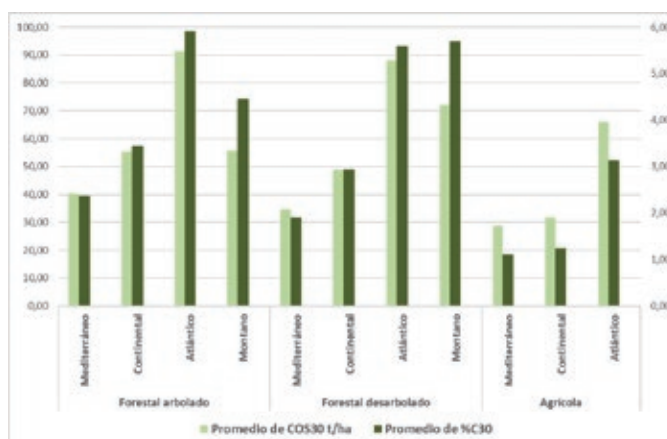


Gráfico 14. Distribución de % C y de COS a 30 cm según Uso UNFCCC y Región climática<sup>17</sup>.

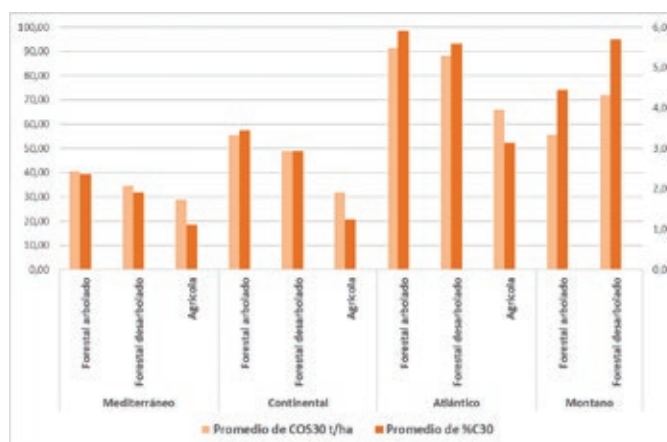


Gráfico 15. Distribución de % C y de COS a 30 cm según Región climática y Uso UNFCCC.

<sup>17</sup> En el gráfico solo se representan los valores con nº de parcelas igual o superior a 4.

En la tabla y gráfico adjunto se recogen los resultados con un mayor desglose de las clases de vegetación. Aun cuando en algunas agrupaciones hay muy pocas parcelas, se observa que el patrón general es similar en las regiones mediterránea y continental, siendo las masas arboladas densas las que tienen más carbono seguidas de arbolado menos denso y matorrales (con valores muy similares entre sí). Sin embargo, en la región atlántica las formaciones con mayor contenido de carbono son las formaciones arboladas menos densas y de matorral.

**Tabla 30.** % C, COS, DA y EG a 30 cm según Región climática y vegetación INES agrupada.

Región climática / Vegetación INES Agrup	Nº Parcelas	Media % C30	Media DA30	Media EG30 %	Media COS30
<b>Árido</b>	<b>4,00</b>	<b>0,65</b>	<b>1,18</b>	<b>52,48</b>	<b>8,89</b>
Matorral	1,00	1,86	1,12	65,53	21,45
Desiertos y semidesiertos de vegetación	3,00	0,25	1,20	48,12	4,70
<b>Mediterráneo</b>	<b>281,00</b>	<b>1,62</b>	<b>1,05</b>	<b>26,88</b>	<b>33,10</b>
Forestal arbolado Fcc > 66 %	16,00	3,04	0,94	30,26	52,99
Forestal arbolado 33 % < Fcc < 66 %	27,00	2,24	1,01	37,36	35,77
Forestal arbolado Fcc < 33 %	26,00	2,11	1,05	35,30	37,30
Matorral con arbolado disperso	24,00	1,93	1,05	36,19	34,94
Matorral	40,00	1,98	1,00	33,31	34,57
Praderas, pastizales y herbazales	10,00	1,39	1,13	22,28	34,28
Cultivos herbáceos de regadío	15,00	1,46	1,12	14,22	40,30
Cultivos herbáceos de secano	64,00	1,11	1,09	18,27	29,58
Cultivos leñosos de regadío	27,00	1,12	1,09	22,84	27,55
Cultivos leñosos de secano	32,00	0,94	1,07	22,52	22,28
<b>Continental</b>	<b>364,00</b>	<b>2,45</b>	<b>1,02</b>	<b>27,32</b>	<b>44,39</b>
Forestal arbolado Fcc > 66 %	50,00	4,13	0,88	29,39	65,61
Forestal arbolado 33% < Fcc < 66 %	67,00	3,18	0,99	33,87	50,92
Forestal arbolado Fcc < 33 %	18,00	2,54	0,98	30,76	43,68
Matorral con arbolado disperso	25,00	3,11	1,01	40,16	46,57
Matorral	41,00	2,99	0,97	35,27	46,32
Praderas, pastizales y herbazales	32,00	2,17	1,02	19,32	50,48
Cultivos herbáceos de regadío	11,00	1,42	1,11	18,65	37,10
Cultivos herbáceos de secano	100,00	1,14	1,12	18,76	30,01
Cultivos leñosos de regadío	4,00	1,40	1,08	20,59	34,72
Cultivos leñosos de secano	16,00	1,27	1,10	26,21	28,36
<b>Atlántico</b>	<b>114,00</b>	<b>5,52</b>	<b>0,80</b>	<b>21,75</b>	<b>87,64</b>
Forestal arbolado Fcc > 66 %	28,00	5,18	0,83	26,32	82,20

Región climática / Vegetación INES Agrup	Nº Parcelas	Media % C30	Media DA30	Media EG30 %	Media COS30
Forestal arbolado 33% < Fcc < 66 %	17,00	6,13	0,72	22,09	92,42
Forestal arbolado Fcc < 33 %	8,00	7,98	0,65	17,21	120,63
Matorral con arbolado disperso	3,00	6,52	0,73	17,19	97,50
Matorral	20,00	7,77	0,73	29,05	102,19
Praderas, pastizales y herbazales	33,00	3,81	0,87	15,55	74,92
Cultivos herbáceos de secano	4,00	3,28	0,94	18,26	71,77
Cultivos leñosos de secano	1,00	2,39	0,92	10,11	57,68
<b>Montano</b>	<b>37,00</b>	<b>5,11</b>	<b>0,87</b>	<b>42,18</b>	<b>64,43</b>
Forestal arbolado Fcc > 66 %	11,00	4,43	0,82	41,09	52,42
Forestal arbolado 33 % < Fcc < 66 %	1,00	5,74	0,82	24,94	102,22
Forestal arbolado Fcc < 33 %	1,00	3,47	0,84	48,69	46,51
Matorral con arbolado disperso	2,00	6,05	0,86	37,06	82,89
Matorral	16,00	6,38	0,85	47,53	73,71
Praderas, pastizales y herbazales	5,00	3,34	0,95	25,36	61,92
Desiertos y semidesiertos de vegetación	1,00	0,40	1,28	73,53	3,95
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>800,00</b>	<b>2,71</b>	<b>0,99</b>	<b>27,18</b>	<b>47,34</b>

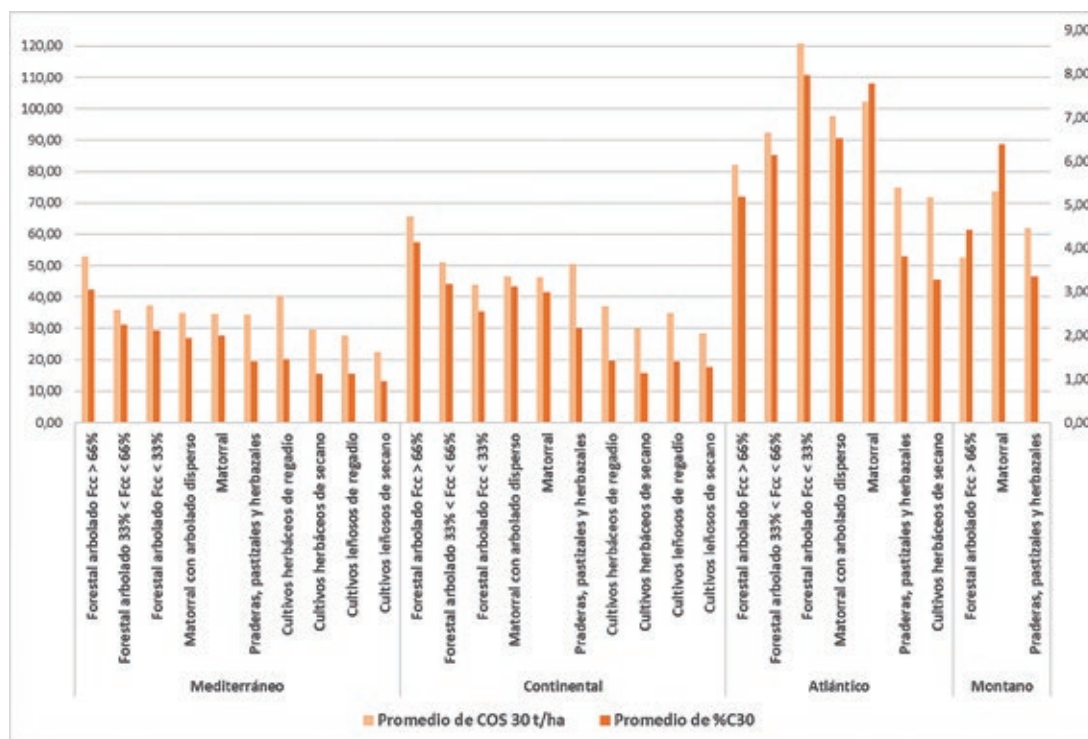


Gráfico 16. Distribución de % C y de COS a 30 cm según Región climática y vegetación INES agrupada<sup>18</sup>.

<sup>18</sup> En el gráfico solo se representan los valores con nº de parcelas igual o superior a 4.

#### 4.2.2. Comparación de resultados con otros estudios COS

En primer lugar se comparan los resultados con los **valores utilizados en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de España (GEI)** realizado anualmente por el MITECO, que, en el capítulo correspondiente a “Usos de la tierra, cambios de uso de la tierra y silvicultura”, cuantifica el carbono orgánico del suelo para los primeros 30 cm de profundidad basándose en los datos de partida de 748 perfiles<sup>19</sup>. En el cuadro adjunto se incluyen los valores de la mediana de COS a 30 cm según uso de suelo UNFCCC y región climática incluidos en GEI y los obtenidos para esos mismos grupos en el presente trabajo (COS1030).

**Tabla 31.** Comparativa con los valores de la mediana por uso y clima utilizados en el Informe GEI.

USO/CLIMA		Mediana COS30 (t/ha)				
		Nacional	Montano	Atlántico	Continental	Mediterráneo
Forestal arbolado	COS1030	51,75	49,39	85,72	50,94	37,77
	GEI	<b>51,39</b>	<b>57,44</b>	<b>64,21</b>	<b>50,35</b>	<b>46,36</b>
Forestal desarbolado	COS1030	47,70	70,88	72,04	46,95	28,38
	GEI	<b>48,73</b>	<b>75,6</b>	<b>76,94</b>	<b>45,79</b>	<b>37,02</b>
Agrícola	COS1030	27,02		62,17	28,03	25,23
	GEI	<b>31,48</b>	<b>47,63<sup>20</sup></b>	<b>50,28</b>	<b>33,72</b>	<b>29,03</b>

Como se puede observar el valor de la mediana de COS para el total nacional obtenido en COS1030 coincide casi exactamente para los usos forestales, y es ligeramente inferior en el caso de los cultivos. Las medianas de COS en el uso forestal desarbolado son también muy similares en ambos trabajos para todos los climas, así como las de los cultivos mediterráneos<sup>21</sup>. En las formaciones arboladas hay bastante diferencia entre las medianas para la región atlántica (valor más alto en COS1030) y para las regiones montana y mediterránea (valores más bajos en COS1030), coincidiendo en el caso de la región continental.

En cualquier caso, se mantiene el patrón general de contenido de COS según clima: (Atlántico > Montano > Continental > Mediterráneo) en todos los usos del suelo, por lo que se puede concluir que los **valores obtenidos en COS1030 son coherentes con la estimación actualmente utilizada en el Inventario Nacional de Emisiones.**

Los **estudios de contenido de carbono en el suelo** consultados que permiten una comparativa en condiciones más homogéneas de profundidad y metodología son los siguientes:

- Comparación a nivel nacional con los resultados del mapa de COS generado por el INIA (Rodríguez Martín et al, 2015), que aporta información de materia orgánica en suelos agrícolas y de pasto en cerca de 4.000 localizaciones recogidas para el estudio, complementada con aportaciones de datos de parcelas forestales de otras fuentes.

<sup>19</sup> La información sobre suelos procede de la base de datos de perfiles recopilada, revisada y actualizada en el marco del Convenio de colaboración entre la Oficina Española del Cambio Climático y la Universidad de Barcelona en 2004, ampliado posteriormente.

<sup>20</sup> Según se explica en el Informe GEI (literal): **Valores subrayados en la tabla:** CL: Existe información de perfiles sólo para el clima mediterráneo (no se dispone de perfiles en clima atlántico ni en montano-culminal; y en clima continental sólo se dispone de un perfil, lo cual resulta insuficiente). Por ello, la estimación de SOC para los climas atlántico, continental y montano-culminal se ha calculado a partir del valor para el clima mediterráneo, según la proporción obtenida en GL y FL (se ha tomado el promedio de las dos) para los valores de SOC entre cada clima y el clima mediterráneo

<sup>21</sup> Único valor calculado en GEI con base en datos de perfiles, según se explica en la nota al pie anterior.



- Comparación regional con mapas elaborados para el norte de España con muestras de suelo tomadas y analizadas de forma homogénea para el estudio (Calvo de Anta et al, 2015).
- Comparación regional con estudio elaborado para el País Vasco con información preexistente (NEIKER-Tecnalia, 2015).
- Comparación regional con estudio elaborado para Andalucía con información preexistente (Muñoz-Rojas et al, 2012).
- Comparación a nivel nacional, únicamente en terrenos forestales, con el mapa generado por el CREAM (Doblas-Miranda et al, 2013) con información preexistente.
- Comparaciones a nivel nacional con el mapa de carbono orgánico del suelo para España elaborado por el Global Soil Partnership (GSP) con los datos del Proyecto LUCAS (Land Use/Cover Area frame statistical Survey) de la Unión Europea, que se ha integrado en el Global Soil Organic Carbon Map (GSOC), una iniciativa del GSP y el Comité de Agricultura de la FAO.

La recopilación de los valores de COS estimados en estos trabajos se refieren en ocasiones a diferentes agrupaciones de usos de suelo distintas a las empleadas en el presente trabajo, y/o a distintas profundidades, por lo que en la tabla adjunta se recogen únicamente los valores de COS (t/ha) de los primeros 30 cm (o similar).

**Tabla 32.** Comparativa con estudios de contenido de carbono (COS) en el suelo para España. Fila superior: valores otros estudios. Fila inferior (en negrita): valores COS1030.

		Promedio de COS30						
		Rodríguez Martín et al. (2016)	Doblas- Miranda et al (2013)	GSOC- LUCAS	Calvo de Anta et al (2014)		NEIKER	Muñoz- Rojas (2012)
Uso UNFCCC	Nacional	Nacional	Nacional	Galicia	AST-CANT- PV	País Vasco	Andalucía	
	30 cm	20-40 cm	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm	25 cm	
FL	65-98					71-76	39,9	
	<b>58,61</b>					<b>91,28</b>	<b>40,34</b>	
GL	57-68					68-82	33,1	
	<b>55,23</b>					<b>88,09</b>	<b>35,61</b>	
FL + GL		37 – 56				75-115		
		<b>55,23-58,61</b>				<b>88,09-91,28</b>		
CL	38-45					45-65	35-46	28,5-26,1
	<b>31,51</b>					<b>66,09</b>	<b>66,09</b>	<b>28,76</b>
TOTAL NACIONAL	56,57		47,12	90 -230			30,1	
	<b>47,34</b>		<b>47,34</b>	<b>87,64</b>			<b>33,1</b>	

La primera constatación que se puede realizar es que en todos los casos el clima y los usos del suelo son determinantes en el contenido, con valores superiores en los climas húmedos, y repetición en cada región climática del patrón de valores similares en bosques y matorrales, y contenidos más bajos en los usos agrícolas.

De la comparación a nivel nacional se obtiene que los valores COS1030 son:

- Inferiores a los obtenidos por Rodríguez Martín en los usos FL y CL y similares en GL<sup>22</sup>.
- Algo superiores a los obtenidos por Doblas-Miranda para los usos forestales.
- La media nacional obtenida a partir del GSOC coincide casi exactamente con la media obtenida en COS1030 (47,12 y 47,34 t/ha respectivamente).

La comparación con los estudios regionales tiene la limitación de que se ha realizado con los valores obtenidos de las regiones climáticas correspondientes, es decir con los de clima atlántico para el caso de los estudios en el norte de España y con los de clima mediterráneo en el caso del estudio para Andalucía, por lo que el territorio no es el mismo. Los valores COS10 son:

- En regiones de clima atlántico: similares en los usos forestales y ligeramente superiores en los cultivos.
- En regiones de clima mediterráneo: muy parecidos a los obtenidos en el estudio de Andalucía en todos los usos.

La información bibliográfica sobre los parámetros que intervienen en el cálculo de COS es más escasa (% C, DA g/cm<sup>3</sup> y % EG), recogiendo en la tabla adjunta los valores encontrados.

**Tabla 33.** Comparativa con valores obtenidos para los parámetros de cálculo del COS en otros estudios. Fila superior: valores otros estudios. Fila inferior (en negrita): valores COS1030.

		Promedio de % C30, DA y EG %					
		Rodríguez Martín et al. (2016)			Montoya y López Arias (1997) <sup>23</sup>	Calvo de Anta et al (2014)	
Uso UNFCCC	Nacional				Nacional	Galicia	AST-CANT-PV
	30 cm				30 cm	30 cm	30 cm
	% C	DA	EG	% C	% C	% C	
FL	3,7	1,34	18,83	4,73			
	<b>3,70</b>	<b>0,92</b>	<b>31,40</b>	<b>3,70</b>			
GL	3,27	1,273	9,38			5-6	
	<b>3,47</b>	<b>0,95</b>	<b>31,34</b>			5,59	
FL + GL					8-10		
					<b>5,91-5,59</b>		
CL	1,05	1,4	12,3		3-4	1-2	
	<b>1,24</b>	<b>1,10</b>	<b>19,74</b>		<b>3,14</b>	<b>3,14</b>	

Para el caso del porcentaje de carbono se observa en general que los valores son similares a nivel nacional para todos los usos. En el caso de la región atlántica son similares para el uso GL de las CC. AA. de Asturias, Cantabria y

<sup>22</sup> En el estudio de Rodríguez Martín et al. el muestreo se enfocó a muestrear solo terrenos agropastorales, por lo que solo los cultivos y pastos se encuentran bien representados en la totalidad de la superficie del país, mientras que el muestreo de las áreas forestales se encuentra sesgado.

<sup>23</sup> En Rodríguez Martín et al. (2016). se incluye la referencia de Montoya y López Arias (1997) de un 8,04 % como porcentaje medio de materia orgánica en suelos forestales de España (obtenido de un muestreo sistemático a partir del análisis de 464 parcelas en una malla de 16x16 km que cubre todo el territorio forestal conocida como Nivel I), lo que supone una media de 4,7% de %C aplicando el coeficiente de Wa.

País Vasco y superiores para los cultivos. El % C obtenido en COS1030 para los terrenos forestales (FL y GL) de la región atlántica es inferior al de Galicia, lo que es lógico ya que es la CC. AA con mayores valores medios de % C.

El patrón de los valores de la densidad aparente obtenidos en este trabajo coincide con los del estudio de Rodríguez Martín (CL > FL > GL), si bien los valores medios obtenidos en COS1030 son bastante más bajos, lo que puede deberse a diferencias en la metodología empleada.

En el caso del porcentaje de elementos gruesos coincide el patrón de FL > CL, pero el GL es bastante inferior que en el estudio de Rodríguez Martín (probablemente porque en este estudio hay poca proporción de muestra en zonas arbustivas). Ahora bien, los valores obtenidos en COS1030 son bastante más altos en todos los casos. Obviamente estas diferencias explicarían los valores superiores de COS obtenidos por Rodríguez Martín.

A pesar de las diferencias cuantitativas de los valores medios de COS, la **comparación de los mapas disponibles** permite concluir que la **distribución de las existencias de carbono COS en la superficie nacional** sigue el mismo patrón, que viene determinado, como ya se ha dicho, por el clima y el uso de suelo (ver *Figura 14*).

Así, los suelos ubicados en las zonas húmedas y frías son los que tienen mayor contenido de COS, es decir todo el norte de la Península, destacando Galicia y Asturias, y, en general, todas las cadenas montañosas. En el otro extremo, las zonas secas y cálidas son las de menor contenido de COS destacando el tercio sur, las dos mesetas y el interior de la Depresión del Ebro.

### 4.3. Análisis estadístico de las variables de distribución vertical del carbono orgánico del suelo

#### 4.3.1. Análisis estadístico descriptivo de la relación obtenida en las parcelas COS entre el contenido de carbono a 10-30 cm y el contenido de 0-10 cm

El análisis se centra en la variable objeto de estudio, es decir en la **relación entre el contenido de carbono en el horizonte inferior (de 10 a 30 cm) respecto al horizonte superior (de 0 a 10 cm)**. Se va a analizar esta relación en las variables

- % C 10-30 respecto a % C 0-10 ( $C_{2/1}$  de aquí en adelante)
- COS 10-30 respecto a COS 0-10 ( $COS_{2/1}$  de aquí en adelante)

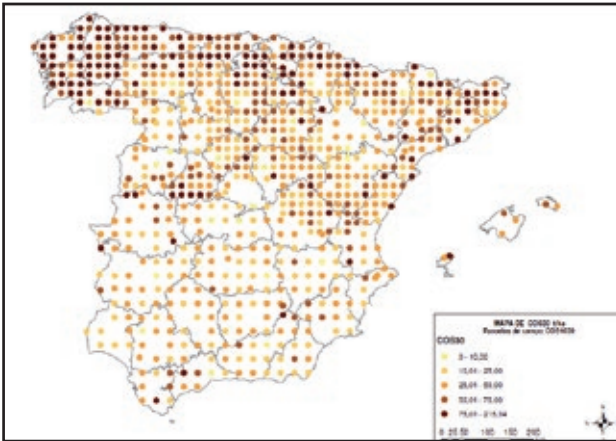
Se analiza asimismo la relación en ambos horizontes de los valores obtenidos en las parcelas COS para la densidad aparente y la pedregosidad ( $DA_{2/1}$  y  $EG_{2/1}$ ).

**El valor medio obtenido para el conjunto de las muestras tomadas en todo el territorio nacional del porcentaje de la concentración de C en el horizonte de 10 a 30 cm respecto a la del horizonte de 0 a 10 cm ( $C_{2/1}$ ) es de 69 %.**

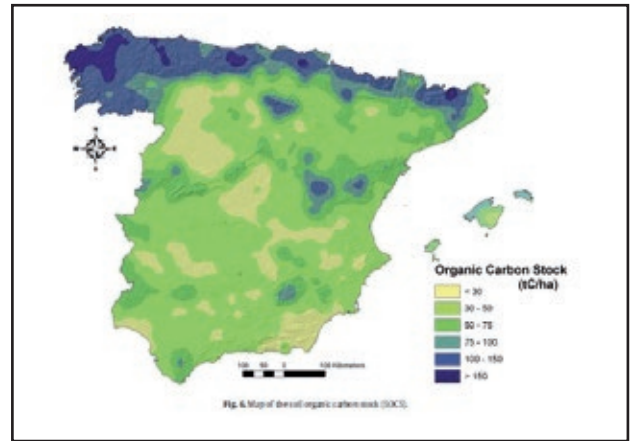
Como primer contraste de resultados, tiene interés destacar que la aproximación utilizada en el estudio del País Vasco en caso de que solo se tuviera información del % C de los 10 primeros centímetros de profundidad fue la siguiente (obtenida a partir de los perfiles de suelo que se disponían):

$$C_{0-30cm} = C_{0-10cm} * 1.7$$

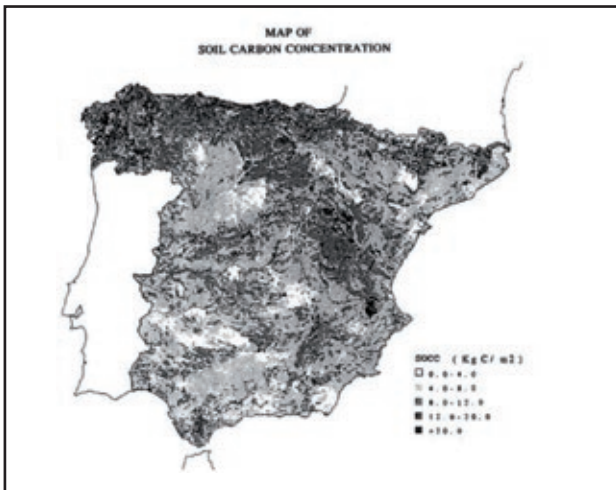
Esta aproximación, que supone estimar en un 70% el % C del horizonte de 10 a 30 cm respecto al del horizonte superior, coincide casi exactamente con el promedio obtenido para el conjunto nacional (69 %).



Mapa de valores de COS30 en las parcelas de muestreo de este trabajo.



Mapa de COS30 elaborado por el INIA con base en un muestreo de unas 4.000 parcelas (la mayoría agrícolas) (Rodríguez-Martín et al, 2016).



Mapa de COS elaborado a partir de aprox. 1.000 perfiles de suelo disponibles en la bibliografía. Estimación del COS de todo el perfil (Rodríguez Murillo, 2001).

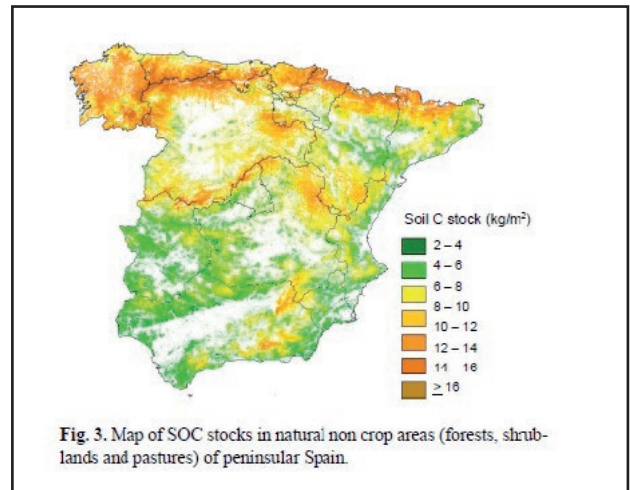
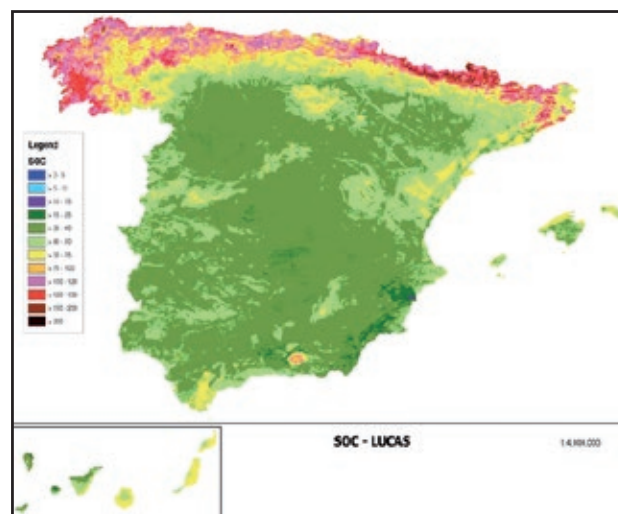


Fig. 3. Map of SOC stocks in natural non crop areas (forests, shrublands and pastures) of peninsular Spain.

Mapa de COS30 elaborado por el CREAM, sólo para zonas forestales con bases en datos de 942 perfiles (Doblas-Miranda et al, 2013).



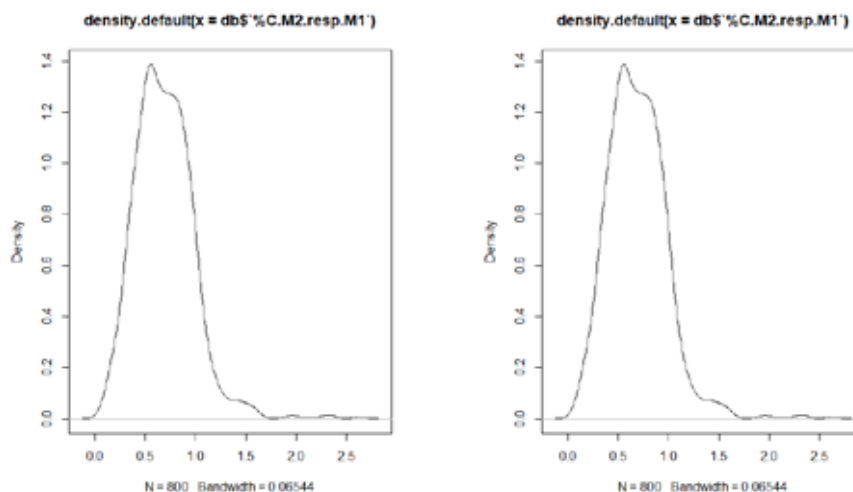
Mapa de COS30 para España incluido en el Global Soil Organic Carbon Map, a partir de los datos del Proyecto LUCAS de la UE.

Figura 14. Recopilación de mapas de distribución de COS a 30 cm encontrados en la bibliografía.

En el caso del COS la **media nacional de la variable  $COS_{2/1}$  es de 144 %**, es decir, que el horizonte de 10 a 30 cm, tiene como media 1,44 veces el COS de los primeros 10 cm.

Para facilitar la comparación con los estudios consultados sobre la distribución vertical del COS, se va a utilizar también la variable de **porcentaje de COS en la capa superficial de 0 a 10 cm respecto al total de COS acumulado de 0 a 30 cm ( $COS_{10/30}$  de aquí en adelante)**, cuyo promedio para el conjunto nacional es de 44 %, es decir que **en los primeros 10 cm se acumula cerca de la mitad del contenido de COS del total de los primeros 30 cm**.

En las curvas de densidad de las variables  $C_{2/1}$  y  $COS_{2/1}$  se puede observar que los valores están muy concentrados en torno a la media en ambos casos, lo que sugiere que **no hay una excesiva variabilidad en estos parámetros**, lo que también se puede apreciar en los mapas de distribución en el territorio nacional de los valores en los puntos muestreados, tanto en el caso de  $C_{2/1}$  y  $COS_{2/1}$  como de los parámetros  $DA_{2/1}$  y  $EG_{2/1}$



**Gráfico 17.** Curvas de densidad de las variables  $C_{2/1}$  (izquierda) y  $COS_{2/1}$  (derecha).

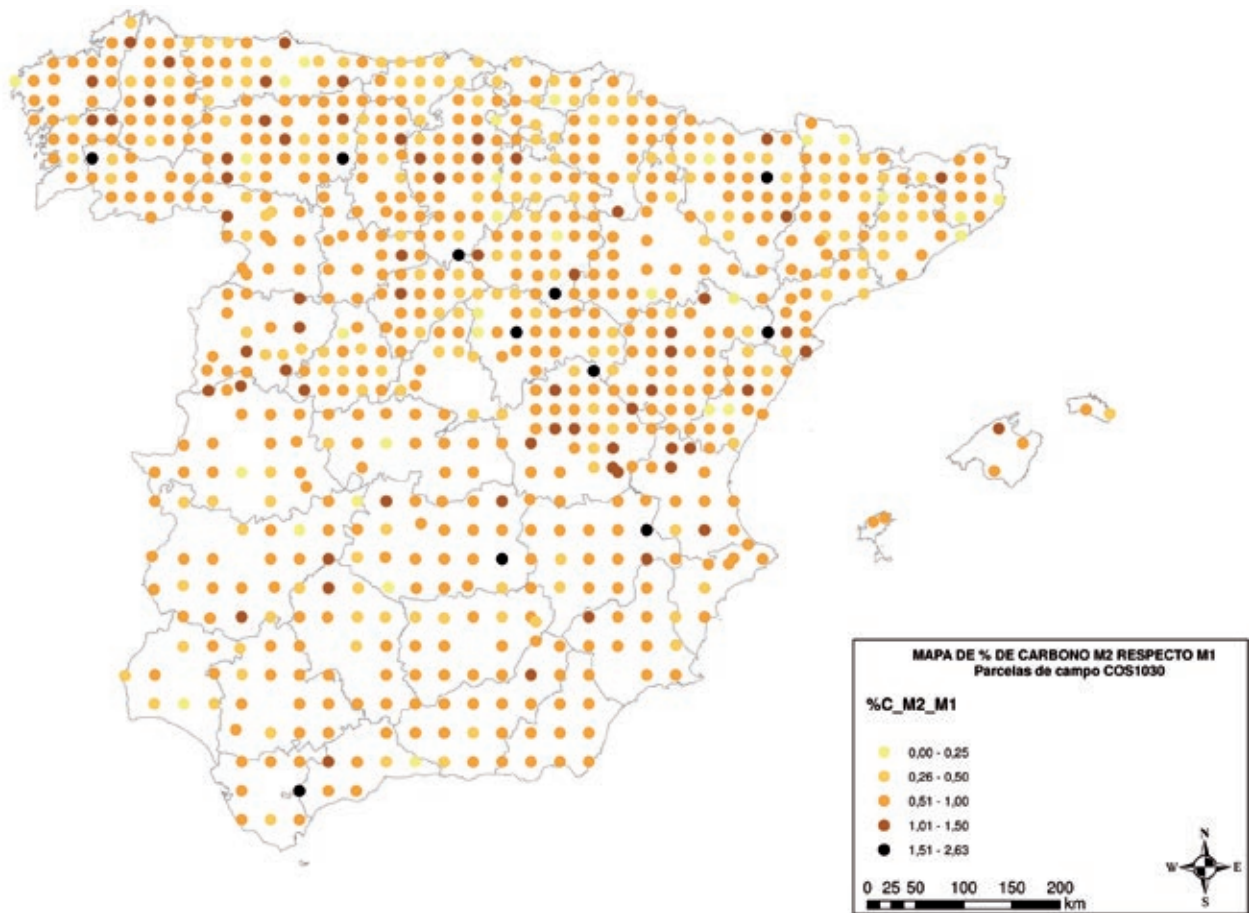


Figura 15. Mapa de valores de la relación entre el % C del horizonte de 10 a 30 y el horizonte de 0 a 10 en las parcelas COS1030.

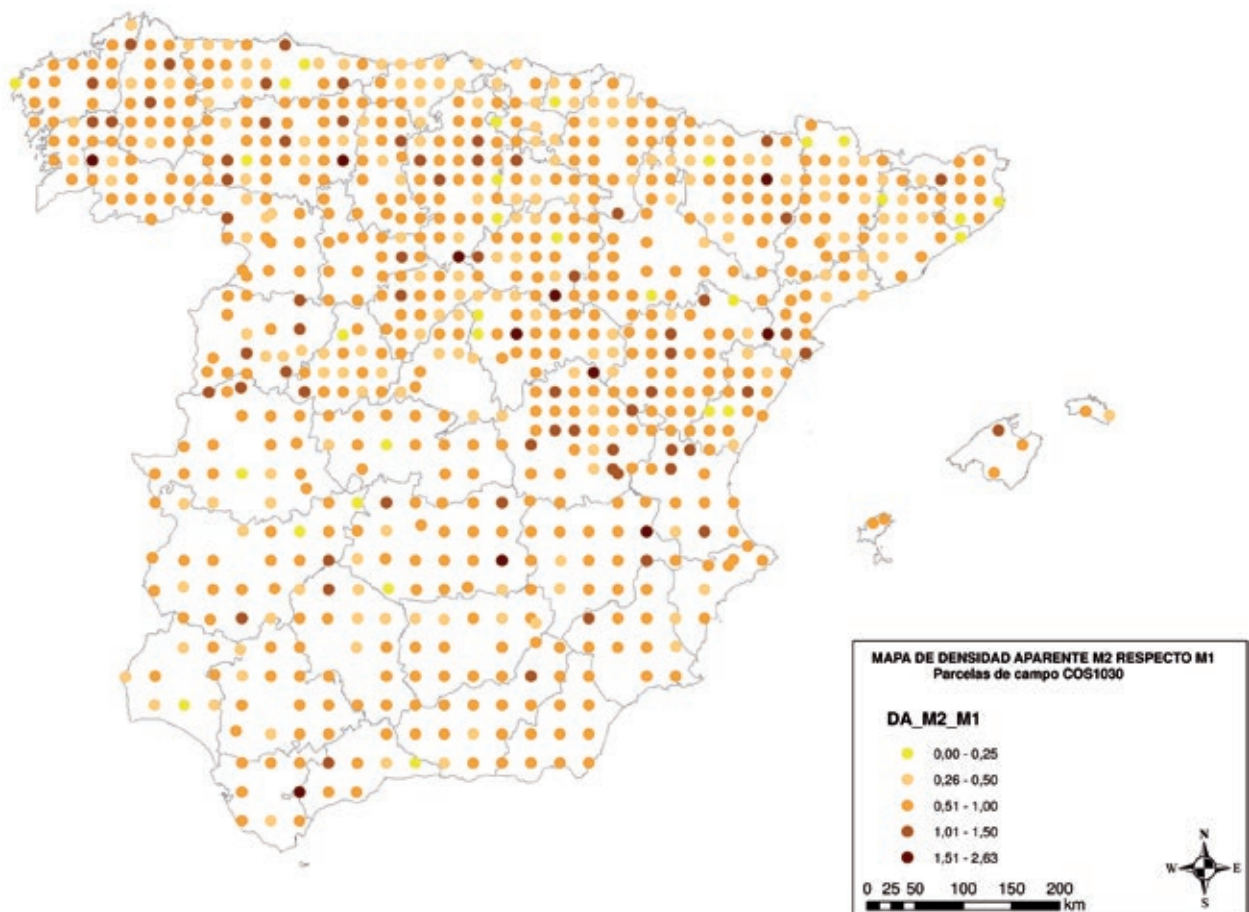


Figura 16. Mapa de valores de la relación entre la DA del horizonte de 10 a 30 y la del horizonte a 10 en las parcelas COS1030

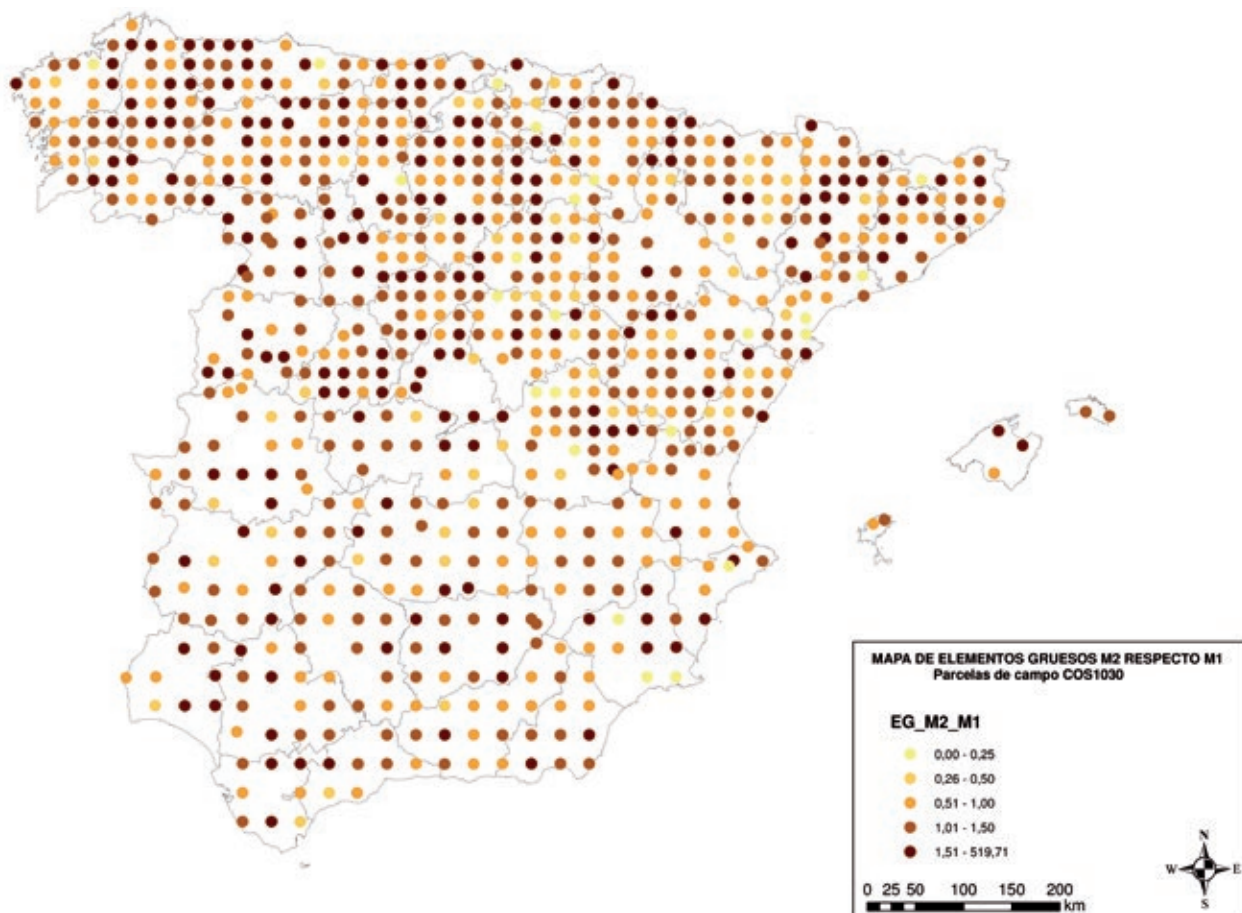


Figura 17. Mapa de valores de la relación entre la EG del horizonte de 10 a 30 y la del horizonte 0 a 10 en las parcelas COS1030

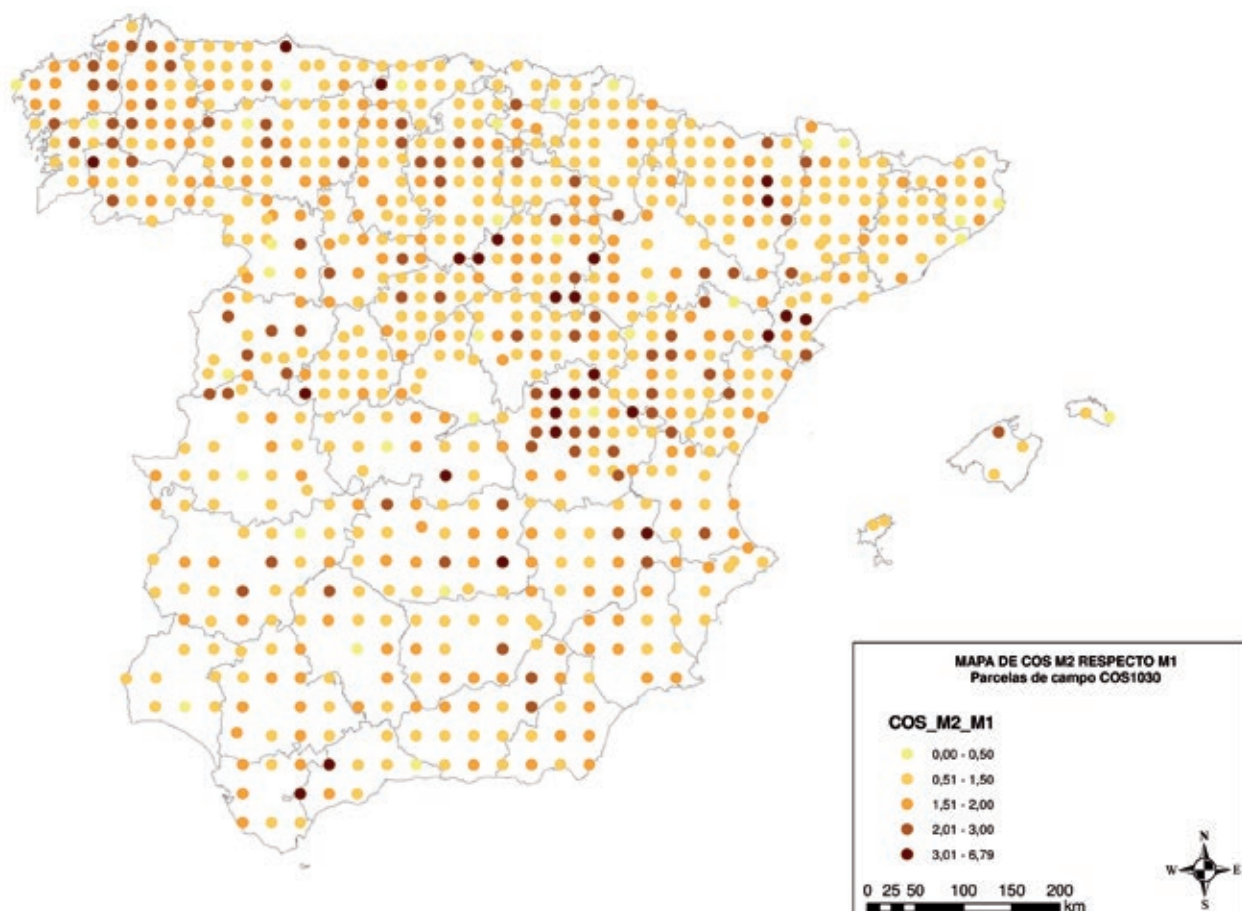


Figura 18. Mapa de valores de la relación entre el COS del horizonte de 10 a 30 y el del horizonte 0 a 10 en las parcelas COS1030



Detalle de perfil completo



Detalle perfil M1



Detalle perfil M2

		M1 (0-10 cm)	M2 (0-30 cm)	M1+M2 (0-30 cm)
Concentración de carbono en la tierra fina (%)	%C	<b>1,49</b>	<b>0,99</b>	<b>1,16</b>
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	DA	0,92	0,97	0,95
Volumen (%) ocupado por piedras y gravas	EG	2,68	0,96	1,53
Contenido de carbono (t/ha)	COS	<b>13,34</b>	<b>19,02</b>	<b>32,36</b>

		Distribución vertical de %C y COS
% C M2 resp M1		66,44 %
% COS M2 resp M1		142,58 %
% COSM1 resp COS30		41,22 %

**Foto 13.** Ejemplo de perfil que refleja la media nacional tanto de  $C_{211}$  como de  $COS_{211}$  (Parcela 347-Tipo CL, en Cantabria).



Detalle de perfil completo



Detalle perfil M1



Detalle perfil M2

		M1 (0-10 cm)	M2 (0-30 cm)	M1+M2 (0-30 cm)
Concentración de carbono en la tierra fina (%)	%C	<b>6,66</b>	<b>8,79</b>	<b>0,08</b>
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	DA	0,70	0,63	0,65
Volumen (%) ocupado por piedras y gravas	EG	2,29	4,30	3,63
Contenido de carbono (t/ha)	COS	<b>45,55</b>	<b>105,99</b>	<b>151,54</b>

		Distribución vertical de %C y COS
% C M2 resp M1		131,98 %
% COS M2 resp M1		232,68 %
% COSM1 resp COS30		30,06 %

**Foto 14.** En este ejemplo se observa que los valores de %C y de COS son bastante superiores en el estrato inferior, y en consecuencia tanto  $C_{211}$  como  $COS_{211}$  superan claramente la media nacional. (Parcela 109-Tipo GL, en Pontevedra).





Detalle de perfil completo

Detalle perfil M1

Detalle perfil M2

		M1 (0-10 cm)	M2 (0-30 cm)	M1+M2 (0-30 cm)
Concentración de carbono en la tierra fina (%)	%C	<b>3,58</b>	<b>0,90</b>	<b>1,79</b>
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	DA	0,79	0,97	0,91
Volumen (%) ocupado por piedras y gravas	EG	0,28	1,22	0,91
Contenido de carbono (t/ha)	COS	<b>28,20</b>	<b>17,25</b>	<b>45,45</b>

		Distribución vertical de %C y COS
% C M2 resp M1		25,14 %
% COS M2 resp M1		61,15 %
% COSM1 resp COS30		62,05 %

**Foto 15.** Ejemplo de perfil con valores muy altos de C y COS en el perfil superior, estando tanto  $C_{2/1}$  como  $COS_{2/1}$  claramente por debajo de la media nacional (Parcela 125-Tipo FL, en Cantabria).

Para analizar la **influencia de los usos del suelo en la distribución en profundidad de % C y COS** se han tenido en cuenta, al igual que para analizar el contenido de COS, distintas clasificaciones: usos y subusos UNFCCC, clasificación agrupada de la leyenda de vegetación utilizada en el INES, así como la Fracción de cabida cubierta total (Fcc total %) en caso de los usos forestales.

Analizando los valores obtenidos para las **categorías principales de usos UNFCCC** se observa una clara diferencia entre los usos forestales (FL y GL) y los cultivos (CL) en el sentido de **una disminución más rápida del contenido de carbono orgánico con la profundidad en los terrenos forestales** (valores más bajos de  $C_{2/1}$  y  $COS_{2/1}$ ), diferencia más marcada en el caso del % C que en el COS.

Así, el valor medio de la **relación entre la concentración de carbono en el segundo horizonte respecto al primero ( $C_{2/1}$ )** es del **61 %** para las *formaciones arboladas*, del **67 %** para las *desarboladas* y del **78 %** para los cultivos. Sin embargo, **el porcentaje de COS en el horizonte superior respecto al total ( $COS_{10/30}$ )** es *muy similar* para las formaciones forestales arboladas y desarboladas (46 y 47 % respectivamente), y es ligeramente inferior para los cultivos (40 %).

**Tabla 34.** Estadísticos obtenidos para  $C_{2/1}$  y  $COS_{2/1}$  según uso UNFCCC.

Uso UNFCCC	Nº Parcelas	Promedio $C_{2/1}$	Min $C_{2/1}$	Max $C_{2/1}$	Desvest $C_{2/1}$	Primer cuartil	Mediana	Tercer cuartil
FL - Tierras forestales	270	0,61	0,06	2,63	0,31	0,41	0,56	0,73
GL - Pastizales	230	0,67	0,08	2,33	0,29	0,48	0,64	0,84
CL - Tierras de cultivo	296	0,78	0,15	2,16	0,26	0,61	0,08	0,94
OL - Otras Tierras	4	0,78	0,15	2,00	0,83	0,38	0,48	0,88
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>800</b>	<b>0,69</b>	<b>0,06</b>	<b>2,63</b>	<b>0,30</b>	<b>0,49</b>	<b>0,66</b>	<b>0,86</b>

Uso UNFCCC	Nº Par.	Promedio C <sub>2/1</sub>	Min C <sub>2/1</sub>	Max C <sub>2/1</sub>	Desvest C <sub>2/1</sub>	Primer cuartil	Mediana	Tercer cuartil	Promedio C <sub>2/1</sub>
FL - Tierras forestales	270	1,34	0,12	6,79	0,78	0,93	1,17	1,56	0,46
GL - Pastizales	230	1,32	0,02	5,29	0,7	0,88	1,23	1,67	0,47
CL - Tierras de cultivo	296	1,63	0,33	4,17	0,61	1,23	1,58	1,96	0,40
OL - Otras Tierras	4	1,38	0,32	3,87	1,67	0,50	0,66	1,53	0,54
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>800</b>	<b>1,44</b>	<b>0,02</b>	<b>6,79</b>	<b>0,72</b>	<b>0,99</b>	<b>1,35</b>	<b>1,79</b>	<b>0,44</b>

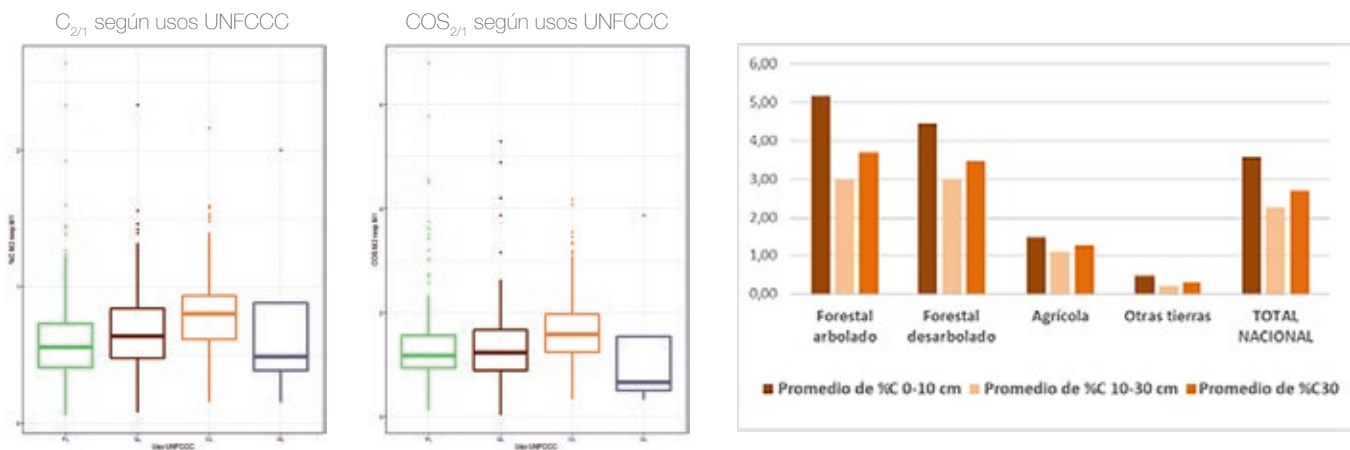


Gráfico 18. Comparativa de valores obtenidos para %C en los dos horizontes y el total a 30 cm según uso UNFCCC.

Este resultado es consistente con las conclusiones obtenidas en Hiederer, R. (2009) al comparar el carbono de los suelos europeos a 30 y a 100 cm, aun cuando los porcentajes de disminución de COS entre los 10 y los 30 son menores, lo que también es coherente con la observación ya comentada a partir de los resultados de Jobbágy & Jackson (2000) sobre un menor decrecimiento entre los dos primeros horizontes que entre el primer horizonte y el primer metro.

Por último, los resultados obtenidos son coherentes con los patrones de distribución vertical del COS en los horizontes de 0-25 y 25-50 cm obtenidos por Muñoz-Rojas et al (2012) en Andalucía, que reflejan una menor disminución de COS en el segundo horizonte en CL (un 66-69 %) que en FL y GL (30-34 %).



Detalle de perfil completo



Detalle perfil M1



Detalle perfil M2

		M1 (0-10 cm)	M2 (0-30 cm)	M1+M2 (0-30 cm)
Concentración de carbono en la tierra fina (%)	%C	<b>12,90</b>	<b>3,60</b>	<b>6,70</b>
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	DA	0,48	0,83	0,71
Volumen (%) ocupado por piedras y gravas	EG	29,96	29,13	29,41
Contenido de carbono (t/ha)	COS	<b>43,37</b>	<b>42,35</b>	<b>85,72</b>

		Distribución vertical de %C y COS
% C M2 resp M1		27,91 %
% COS M2 resp M1		97,65 %
% COSM1 resp COS30		50,59 %

**Foto 16.** Este ejemplo muestra datos de una parcela forestal (parcela 1, arriba) y otra de cultivo (parcela 15, abajo), ambas en A Coruña. Se puede observar la diferencia en la distribución vertical, con mayor acumulación de carbono en el horizonte superior en la parcela FL respecto a la CL.



Detalle de perfil completo



Detalle perfil M1



Detalle perfil M2

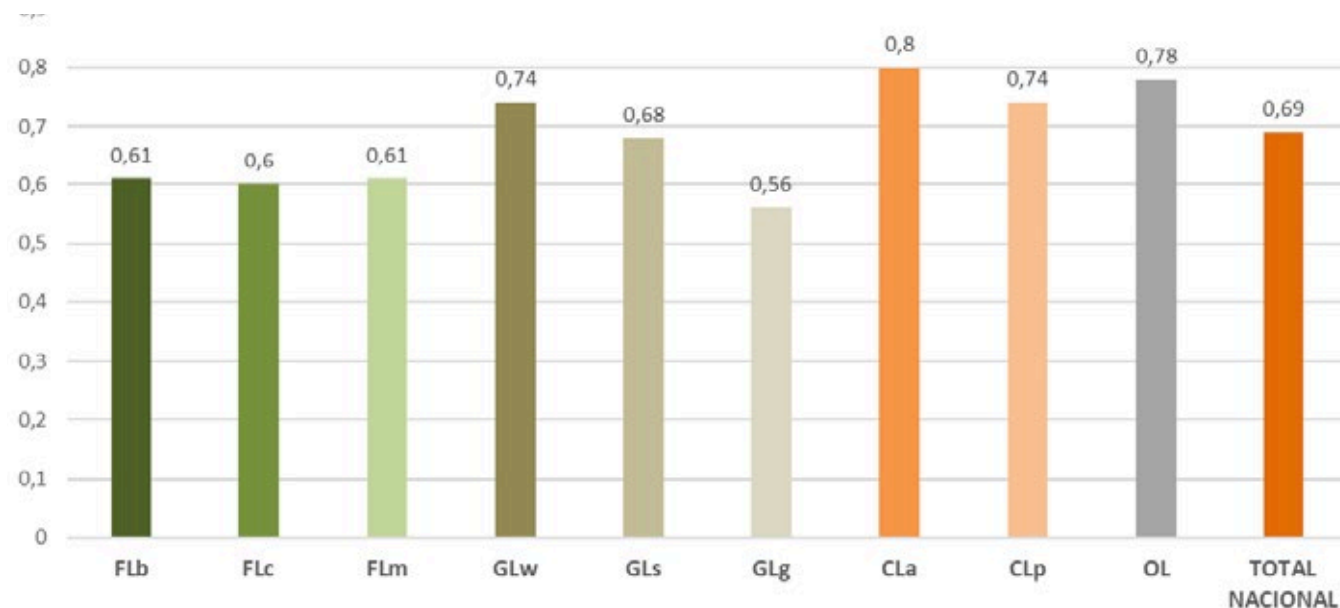
		M1 (0-10 cm)	M2 (0-30 cm)	M1+M2 (0-30 cm)
Concentración de carbono en la tierra fina (%)	%C	<b>1,54</b>	<b>1,52</b>	<b>1,53</b>
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	DA	0,92	0,99	0,99
Volumen (%) ocupado por piedras y gravas	EG	9,76	10,83	10,47
Contenido de carbono (t/ha)	COS	<b>13,62</b>	<b>26,84</b>	<b>40,46</b>

		Distribución vertical de %C y COS
% C M2 resp M1		98,70 %
% COS M2 resp M1		197,05 %
% COSM1 resp COS30		33,66 %

El análisis utilizando la clasificación de **subusos UNFCCC** y de clases de **vegetación agrupada del INES** permite analizar la posible influencia de varios parámetros relacionados con la cubierta vegetal y su manejo: *composición específica (coníferas, frondosas o formaciones mixtas)* y *densidad de las formaciones arboladas* (medida a partir de la Fcc), *estructura de la cubierta vegetal* (posibles diferencias entre formaciones de matorral y/o pastizal con arbolado ralo, matorrales, pastizales/ herbazales y cultivos herbáceos o leñosos), y, por último, el *aporte adicional de agua* comparando los cultivos de regadío con los de secano.

**Tabla 35.** Distribución vertical de carbono según subusos UNFCCC.

Uso UNFCCC	Subcategorías UNFCCC	Nº Par.	Promedio C <sub>2/1</sub>	Desvest C <sub>2/1</sub>	Promedio COS <sub>2/1</sub>	Desvest COS <sub>2/1</sub>	Promedio COS <sub>10/30</sub>
FL	FLb - Frondosas	147	0,61	0,28	1,28	0,74	0,47
FL	FLc - Coníferas	104	0,60	0,32	1,43	0,81	0,44
FL	FLm - Mixto	19	0,61	0,45	1,34	0,89	0,47
GL	GLw - Pastizales con vegetación leñosa FCC <sub>≥10</sub>	58	0,74	0,36	1,51	0,94	0,47
GL	GLs - Pastizales de vegetación arbustiva	54	0,68	0,24	1,29	0,63	0,48
GL	GLg - Pastizales de vegetación herbácea	118	0,56	0,27	1,22	0,56	0,44
CL	CLa - Cultivos herbáceos	216	0,80	0,27	1,69	0,62	0,39
CL	CLp - Cultivos leñosos	80	0,74	0,24	1,48	0,58	0,42
OL	OL - Otras Tierras	4	0,78	0,83	1,38	1,67	0,54
<b>TOTAL NACIONAL</b>		<b>800</b>	<b>0,69</b>	<b>0,3</b>	<b>1,44</b>	<b>0,72</b>	<b>0,44</b>



**Gráfico 19.** Promedio de % C 10-30 cm respecto a % C 0-10 cm según vegetación INES agrupada.

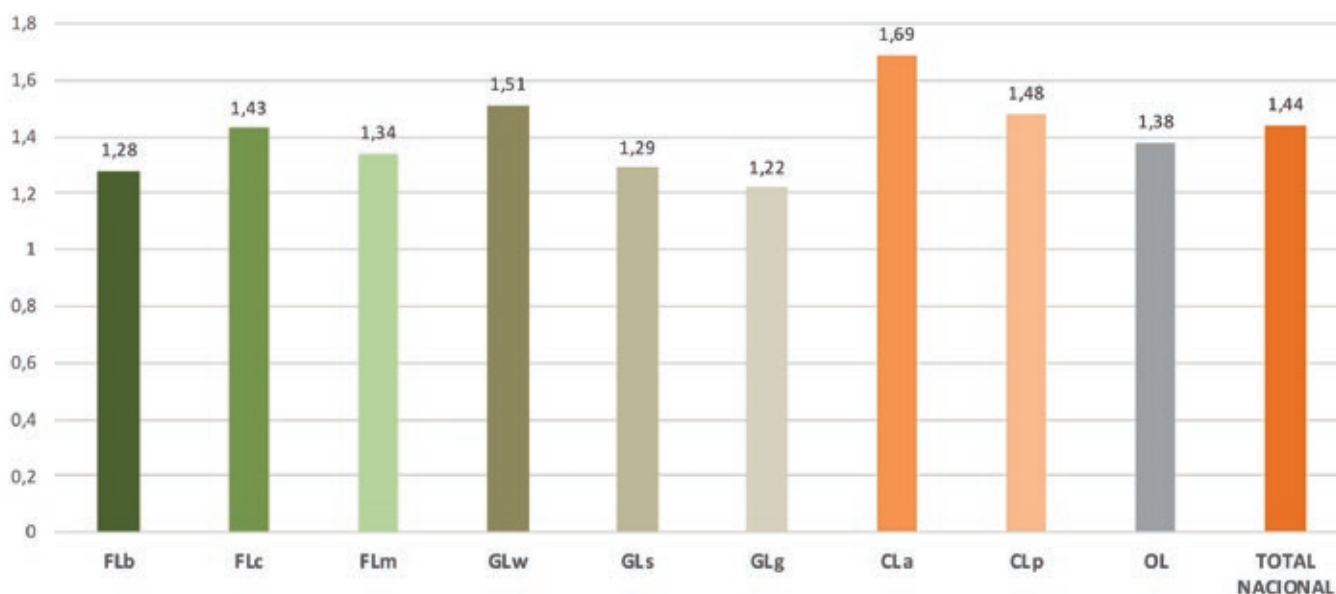


Gráfico 20. Promedio de % COS 10-30 cm respecto a % C 0-10 cm.

Tabla 36. Distribución vertical de carbono según vegetación agrupada del INES. (\*) Se incluyen praderas y pastizales tanto de uso GL como CL

Uso UNFCCC	Vegetación INES agrupada	Nº Par.	Promedio $C_{2/1}$	Desvest $C_{2/1}$	Promedio $COS_{2/1}$	Desvest $COS_{2/1}$	Promedio $COS_{10/30}$
FL	Forestal arbolado $Fcc > 66\%$	105	0,58	0,27	1,34	0,72	0,46
FL	Forestal arbolado $33\% < Fcc < 66\%$	112	0,61	0,36	1,34	0,88	0,47
FL	Forestal arbolado $Fcc < 33\%$	53	0,66	0,27	1,35	0,66	0,46
GL	Matorral con arbolado disperso	54	0,74	0,36	1,51	0,94	0,44
GL	Matorral	118	0,68	0,24	1,29	0,63	0,47
GL/CL (*)	Praderas, pastizales y herbazales	80	0,57	0,26	1,22	0,55	0,48
CL	Cultivos leñosos de regadío	26	0,74	0,27	1,47	0,54	0,42
CL	Cultivos leñosos de secano	168	0,74	0,22	1,48	0,61	0,43
CL	Cultivos herbáceos de regadío	31	0,79	0,26	1,68	0,57	0,39
CL	Cultivos herbáceos de secano	49	0,83	0,26	1,75	0,61	0,38
OL	Desiertos y semidesiertos de vegetación	4	0,78	0,83	1,38	1,67	0,54
	<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>800</b>	<b>0,69</b>	<b>0,3</b>	<b>1,44</b>	<b>0,72</b>	<b>0,44</b>

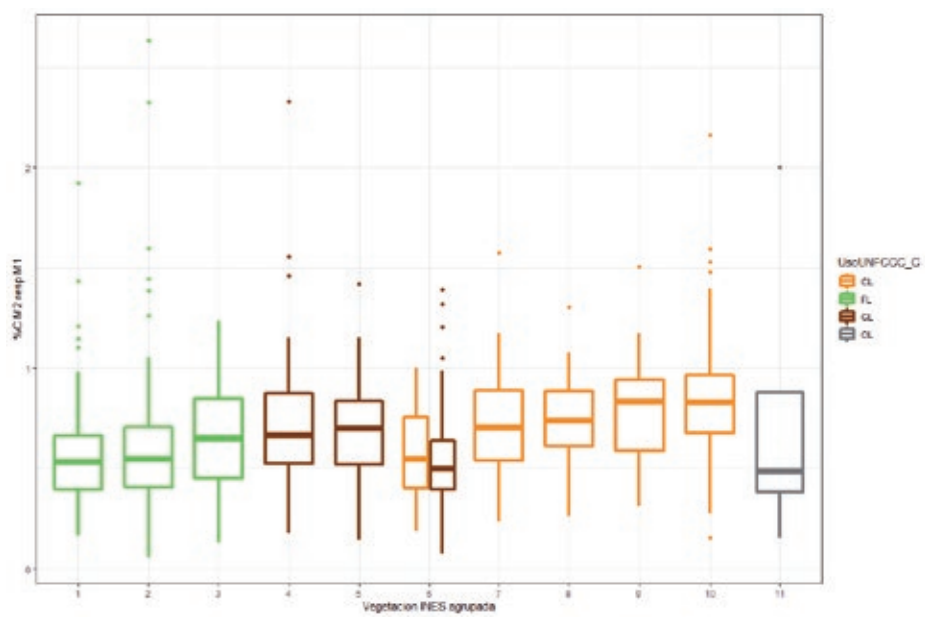


Gráfico 21.  $C_{2/1}$  según agrupación de la vegetación INES.

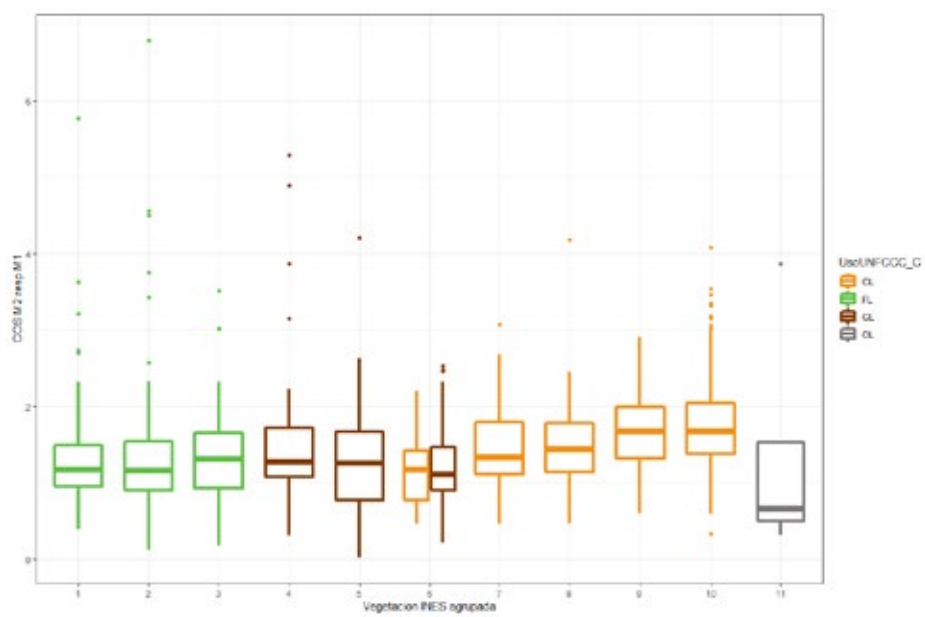


Gráfico 22.  $COS_{2/1}$  según agrupación de la vegetación INES.

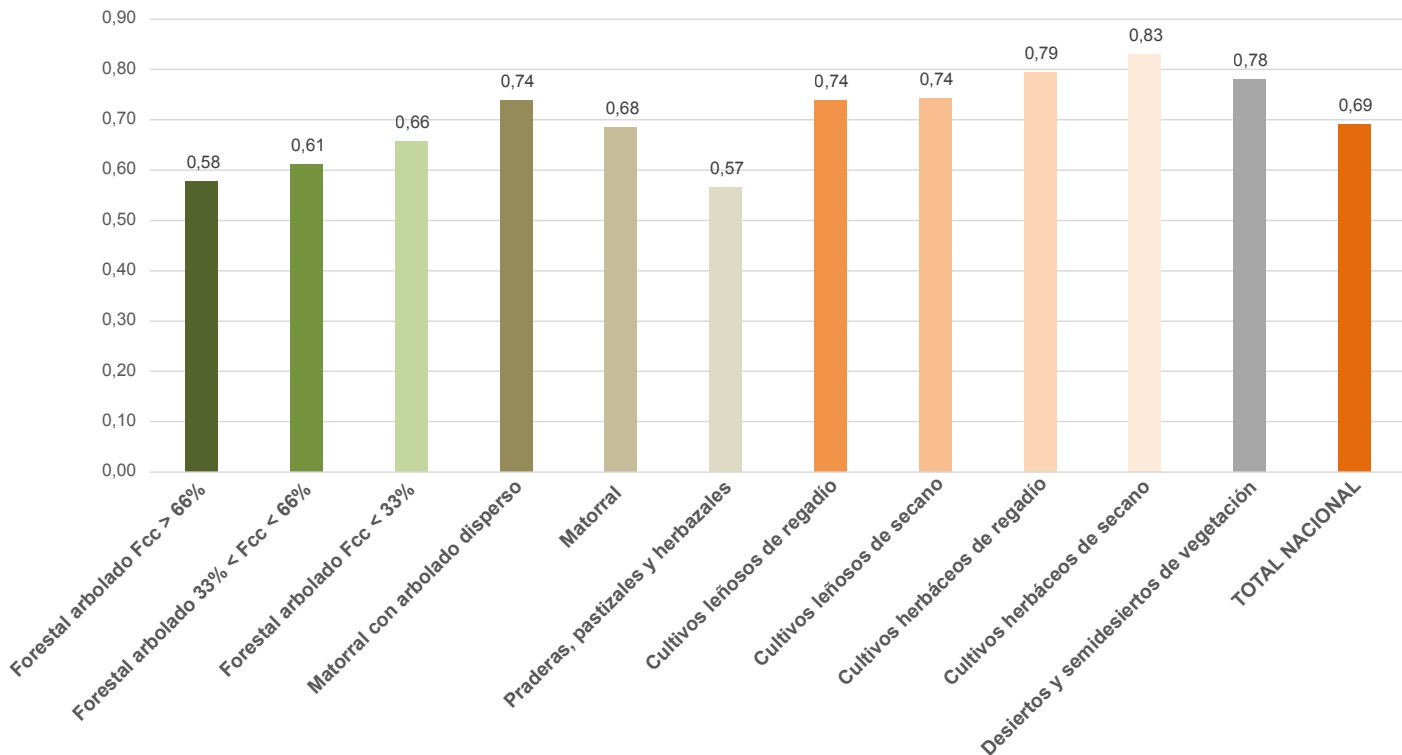


Gráfico 23. Promedio de % C 10-30 cm respecto a % C 0-10 cm según vegetación agrupada del INES.

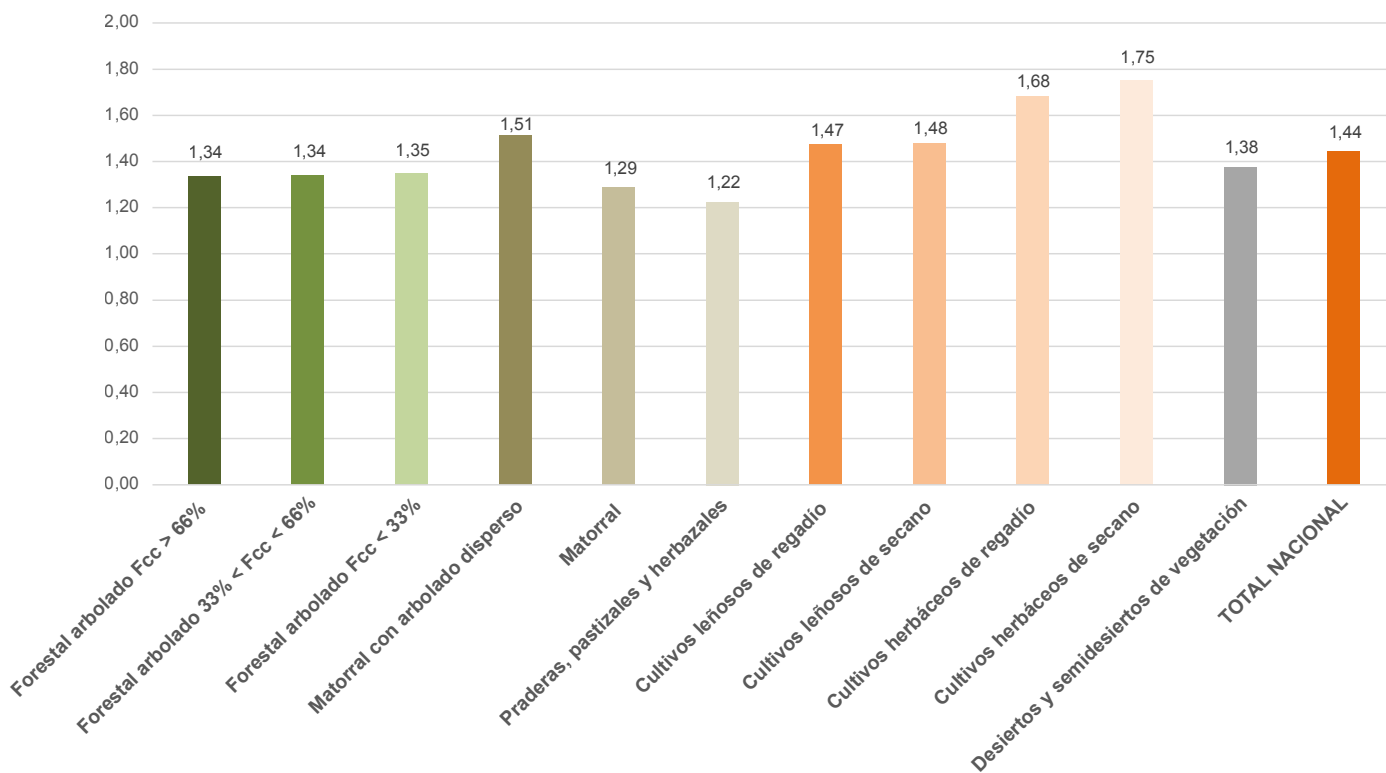


Gráfico 24. Promedio de % COS 10-30 cm respecto a % C 0-10 cm según vegetación agrupada del INES.



Detalle de perfil completo



Detalle perfil M1



Detalle perfil M2

		M1 (0-10 cm)	M2 (0-30 cm)	M1+M2 (0-30 cm)
Concentración de carbono en la tierra fina (%)	%C	<b>0,33</b>	<b>0,20</b>	<b>0,24</b>
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	DA	0,83	0,93	0,90
Volumen (%) ocupado por piedras y gravas	EG	5,85	9,67	8,40
Contenido de carbono (t/ha)	COS	<b>2,58</b>	<b>3,36</b>	<b>5,94</b>

Distribución vertical de %C y COS

% C M2 resp M1	60,61 %
% COS M2 resp M1	130,31 %
% COSM1 resp COS30	43,42 %

**Foto 17.** Este ejemplo muestra datos de una parcela de cultivos leñosos (CLp, parcela 655, arriba) y otra de herbáceos (CLa, parcela 656, abajo), ambas en la provincia de Toledo. Se puede observar que no existen grandes diferencias entre ambas, tanto en distribución de % C como de COS.



Detalle de perfil completo



Detalle perfil M1



Detalle perfil M2

		M1 (0-10 cm)	M2 (0-30 cm)	M1+M2 (0-30 cm)
Concentración de carbono en la tierra fina (%)	%C	<b>1,32</b>	<b>0,94</b>	<b>1,07</b>
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	DA	0,80	0,91	0,87
Volumen (%) ocupado por piedras y gravas	EG	4,84	15,95	12,25
Contenido de carbono (t/ha)	COS	<b>10,05</b>	<b>14,35</b>	<b>24,43</b>

Distribución vertical de %C y COS

% C M2 resp M1	71,21 %
% COS M2 resp M1	143,09 %
% COSM1 resp COS30	41,14 %





Detalle de perfil completo

Detalle perfil M1

Detalle perfil M2

Panorámica parcela

		M1 (0-10 cm)	M2 (0-30 cm)	M1+M2 (0-30 cm)
Concentración de carbono en la tierra fina (%)	%C	<b>5,33</b>	<b>1,78</b>	<b>2,96</b>
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	DA	1,14	1,29	1,24
Volumen (%) ocupado por piedras y gravas	EG	0,26	0,85	0,65
Contenido de carbono (t/ha)	COS	<b>60,60</b>	<b>45,53</b>	<b>106,17</b>

Distribución vertical de %C y COS

% C M2 resp M1	33,40 %
% COS M2 resp M1	76,13 %
% COSM1 resp COS30	67,10 %

**Foto 18.** En el ejemplo se presentan los datos de las parcelas 167 (arriba), con una Fcc arbórea del 100% y la parcela 502 (abajo), con una Fcc arbórea del 25% .La velocidad de disminución del % C según la profundidad resulta ser algo menor en las masas arboladas más densas.



Detalle de perfil completo

Detalle perfil M1

Detalle perfil M2

Panorámica parcela

		M1 (0-10 cm)	M2 (0-30 cm)	M1+M2 (0-30 cm)
Concentración de carbono en la tierra fina (%)	%C	<b>8,05</b>	<b>1,25</b>	<b>3,52</b>
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	DA	0,70	1,00	0,90
Volumen (%) ocupado por piedras y gravas	EG	31,93	21,34	24,87
Contenido de carbono (t/ha)	COS	<b>38,36</b>	<b>19,67</b>	<b>58,02</b>

Distribución vertical de %C y COS

% C M2 resp M1	15,53 %
% COS M2 resp M1	51,27 %
% COSM1 resp COS30	66,11 %



Detalle de perfil completo



Detalle perfil M1



Detalle perfil M2



Parcela muestreo

		M1 (0-10 cm)	M2 (0-30 cm)	M1+M2 (0-30 cm)
Concentración de carbono en la tierra fina (%)	%C	<b>2,51</b>	<b>0,45</b>	<b>1,14</b>
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	DA	1,01	1,10	1,07
Volumen (%) ocupado por piedras y gravas	EG	38,98	50,96	46,97
Contenido de carbono (t/ha)	COS	<b>15,47</b>	<b>4,85</b>	<b>20,32</b>

Distribución vertical de %C y COS

% C M2 resp M1	17,93 %
% COS M2 resp M1	31,38 %
% COSM1 resp COS30	73,11 %

**Foto 19.** En este ejemplo se muestran los datos de las parcelas 462 (matorral, arriba) y 501 (herbazal, abajo). Se observa mayor acumulación de carbono en los diez primeros cm del suelo en las parcelas desarboladas herbáceas que en las parcelas desarboladas de matorral.



Detalle de perfil completo



Detalle perfil M1



Detalle perfil M2



Panorámica parcela

		M1 (0-10 cm)	M2 (0-30 cm)	M1+M2 (0-30 cm)
Concentración de carbono en la tierra fina (%)	%C	<b>1,61</b>	<b>0,47</b>	<b>0,85</b>
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	DA	0,99	1,07	1,04
Volumen (%) ocupado por piedras y gravas	EG	6,69	10,35	9,13
Contenido de carbono (t/ha)	COS	<b>14,87</b>	<b>9,02</b>	<b>23,89</b>

Distribución vertical de %C y COS

% C M2 resp M1	29,19 %
% COS M2 resp M1	60,63 %
% COSM1 resp COS30	62,26 %

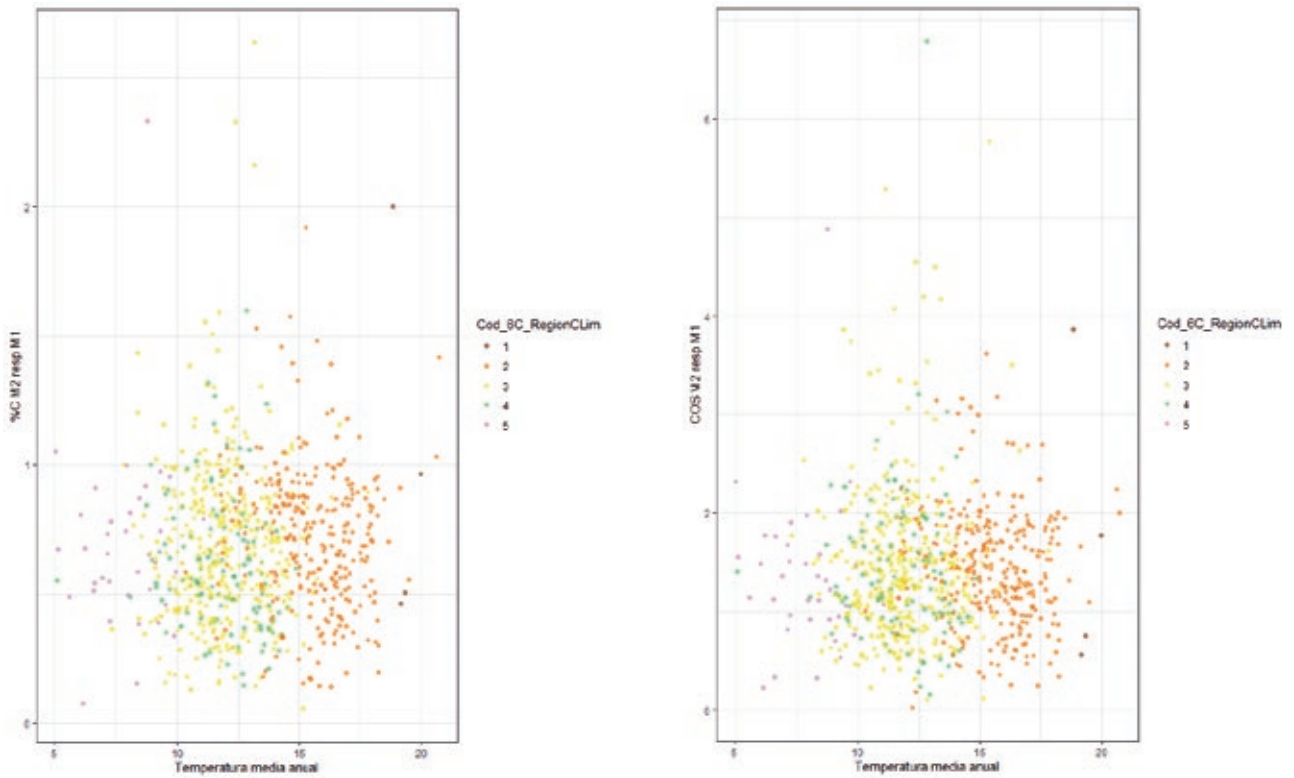
Las conclusiones de este análisis combinado son las siguientes:

- El promedio de % C en el segundo horizonte respecto al primero ( $C_{2/1}$ ) resulta ser prácticamente igual para las formaciones arboladas de frondosas, coníferas y mixtas, entorno al 60 %, y es también muy similar para el caso de  $COS_{2/1}$  (ligeramente inferior en el caso de las coníferas), lo que corrobora la escasa influencia de la composición específica de la vegetación en la distribución vertical del carbono en el suelo, ya apuntada en la bibliografía consultada.
- En las formaciones menos densas ( $Fcc < 33$  %) la velocidad de disminución según la profundidad resulta ser algo menor que en las más densas, lo que apunta a cierta influencia de la densidad del arbolado en la distribución vertical del % C, no apreciándose esta diferencia en el caso de COS.
- El promedio de % C en el segundo horizonte en los matorrales es superior al de pastizales y herbazales, confirmando el patrón obtenido en Jobbágy & Jackson (2000) en cuanto a una menor velocidad de disminución de C en matorrales que en pastizales, o lo que es lo mismo, hay mayor acumulación de carbono en los primeros 10 cm del suelo en los pastizales que en los matorrales.
- El aporte adicional de agua no parece influir en la distribución vertical del carbono ya que no se han obtenido diferencias entre los cultivos de regadío y de secano, ya sean herbáceos o leñosos.
- El promedio de % C y de COS en el segundo horizonte es algo mayor en los cultivos herbáceos que en los leñosos.
- La influencia de la estructura de la vegetación parece confirmarse también en la similitud del valor medio de la variable  $C_{2/1}$  en las formaciones de matorral con arbolado disperso y los cultivos leñosos.

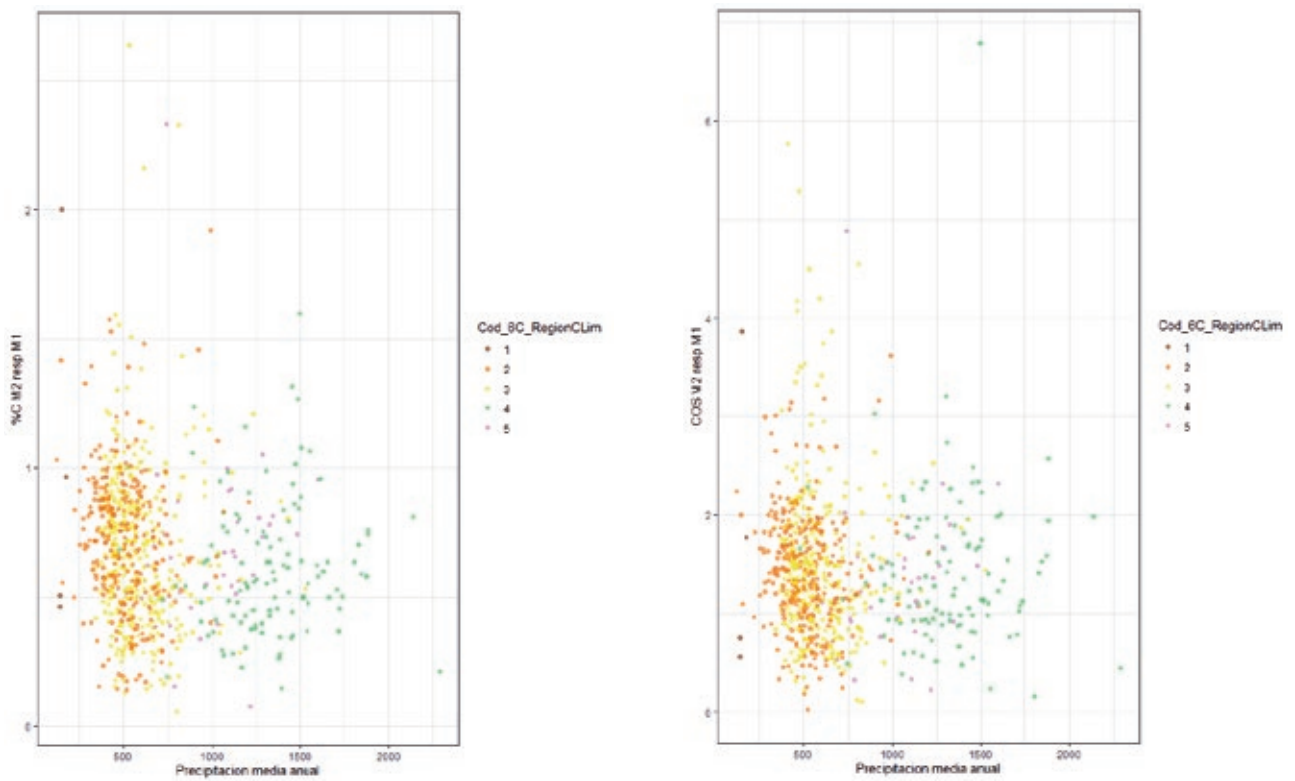
En cualquier caso, debe hacerse notar que **las diferencias en la distribución vertical del carbono en los primeros 30 cm del suelo** encontradas en este trabajo entre los distintos usos **son de escasa magnitud** en general, menores que las encontradas en la bibliografía cuando se comparan los contenidos de carbono de los horizontes superficiales (de 0 a 20 o 30 cm) con horizontes más profundos (en torno a 1 m). Lo que sí se ha constatado es que **los patrones de dicha distribución entre los distintos tipos de vegetación, sobre todo en lo que se refiere a la influencia de la estructura de la vegetación, coinciden con los obtenidos en otros estudios.**

El análisis de la **influencia del clima en la distribución en profundidad de % C y COS** se ha realizado, por un lado, en función de los valores de la temperatura media anual y la precipitación media anual, y, por otro lado, utilizando las regiones climáticas y su desglose en los distintos Fitoclimas de Allué.

En los gráficos adjuntos, que representan los diagramas de dispersión de las variables  $C_{2/1}$  y  $COS_{2/1}$  en función de la temperatura media anual y la precipitación media anual se puede constatar la **ausencia de tendencia en la relación entre las variables objetivo y los valores de temperatura y precipitación.** Los colores de los puntos representan las regiones climáticas.



**Gráfico 25.** Diagrama de dispersión en función de la temperatura media anual. A la izquierda % C 10-30 respecto a % C 0-10 ( $C_{2/1}$ ) y a la derecha COS10-30 respecto a COS 0-10 ( $COS_{2/1}$ ) en las 800 parcelas COS1030



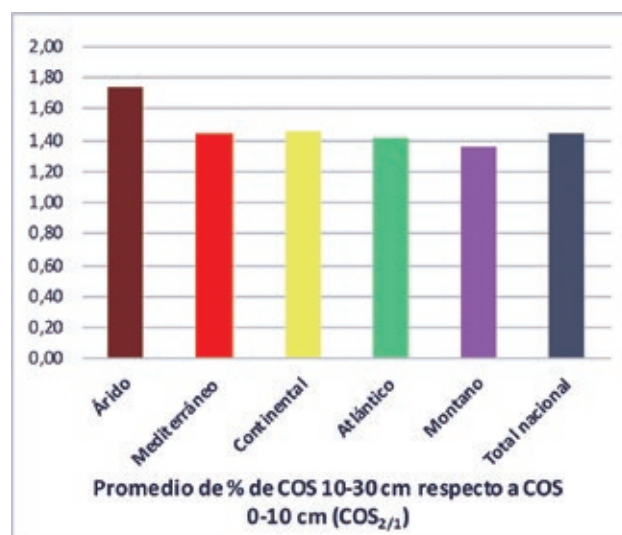
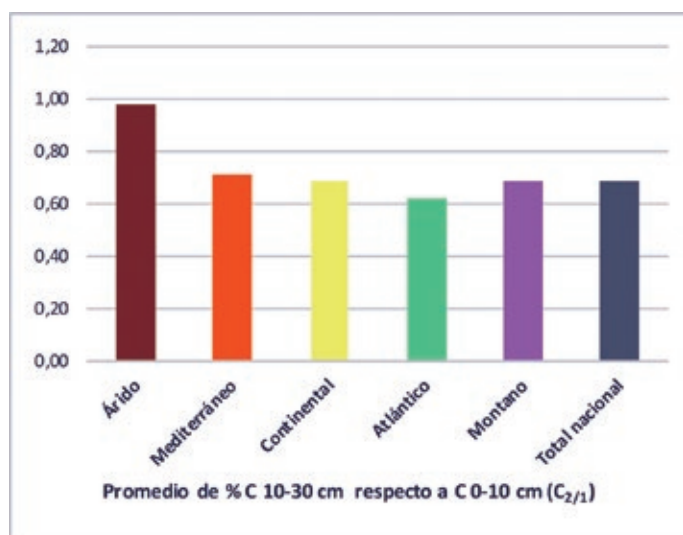
**Gráfico 26.** Diagrama de dispersión en función de la precipitación media anual. A la izquierda % C 10-30 respecto a % C 0-10 ( $C_{2/1}$ ) y a la derecha COS10-30 respecto a COS 0-10 ( $COS_{2/1}$ ) en las 800 parcelas COS1030.

Del análisis de los valores medios en las cinco grandes **regiones climáticas**<sup>24</sup> representadas en la muestra se concluye que la mayor velocidad de disminución del porcentaje de carbono según la profundidad se produce en la región atlántica, seguida de las regiones continental y montana, de la región mediterránea y, por último, de la región árida, si bien el escaso número de muestras en este clima condiciona su valor medio.

**Tabla 37.** Estadísticos obtenidos para  $C_{2/1}$  y  $COS_{2/1}$  según regiones climáticas.

Región Climática	Nº Par.	Promedio $C_{2/1}$	Min $C_{2/1}$	Max $C_{2/1}$	Desvest $C_{2/1}$	1er cuartil	Mediana	3er cuartil
Árido	4	0,98	0,46	2,00	0,71	0,50	0,74	1,22
Mediterráneo	281	0,72	0,14	1,92	0,27	0,54	0,72	0,88
Continental	364	0,69	0,06	2,63	0,31	0,48	0,66	0,87
Atlántico	114	0,62	0,15	1,60	0,26	0,44	0,57	0,75
Montano	37	0,69	0,08	2,33	0,36	0,51	0,66	0,81
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>800</b>	<b>0,69</b>	<b>0,06</b>	<b>2,63</b>	<b>0,30</b>	<b>0,49</b>	<b>0,66</b>	<b>0,86</b>

Región Climática	Nº Par.	Promedio $C_{2/1}$	Min $C_{2/1}$	Max $C_{2/1}$	Desvest $C_{2/1}$	1er cuartil	Mediana	3er cuartil	Promedio $COS_{10/30}$
Árido	4	1,74	0,56	3,87	1,52	0,71	1,26	2,30	0,44
Mediterráneo	281	1,44	0,02	3,63	0,58	1,08	1,43	1,82	0,44
Continental	364	1,46	0,10	5,77	0,77	0,97	1,33	1,75	0,44
Atlántico	114	1,42	0,16	6,79	0,78	0,94	1,27	1,78	0,45
Montano	37	1,35	0,22	4,88	0,79	0,94	1,22	1,58	0,46
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>800</b>	<b>1,44</b>	<b>0,02</b>	<b>6,79</b>	<b>0,72</b>	<b>0,99</b>	<b>1,35</b>	<b>1,79</b>	<b>0,44</b>



**Gráfico 27.** Promedio % de  $C_{2/1}$  y  $COS_{2/1}$  según regiones climáticas.

<sup>24</sup> No hay representación en la muestra de parcelas COS en la región culminal.

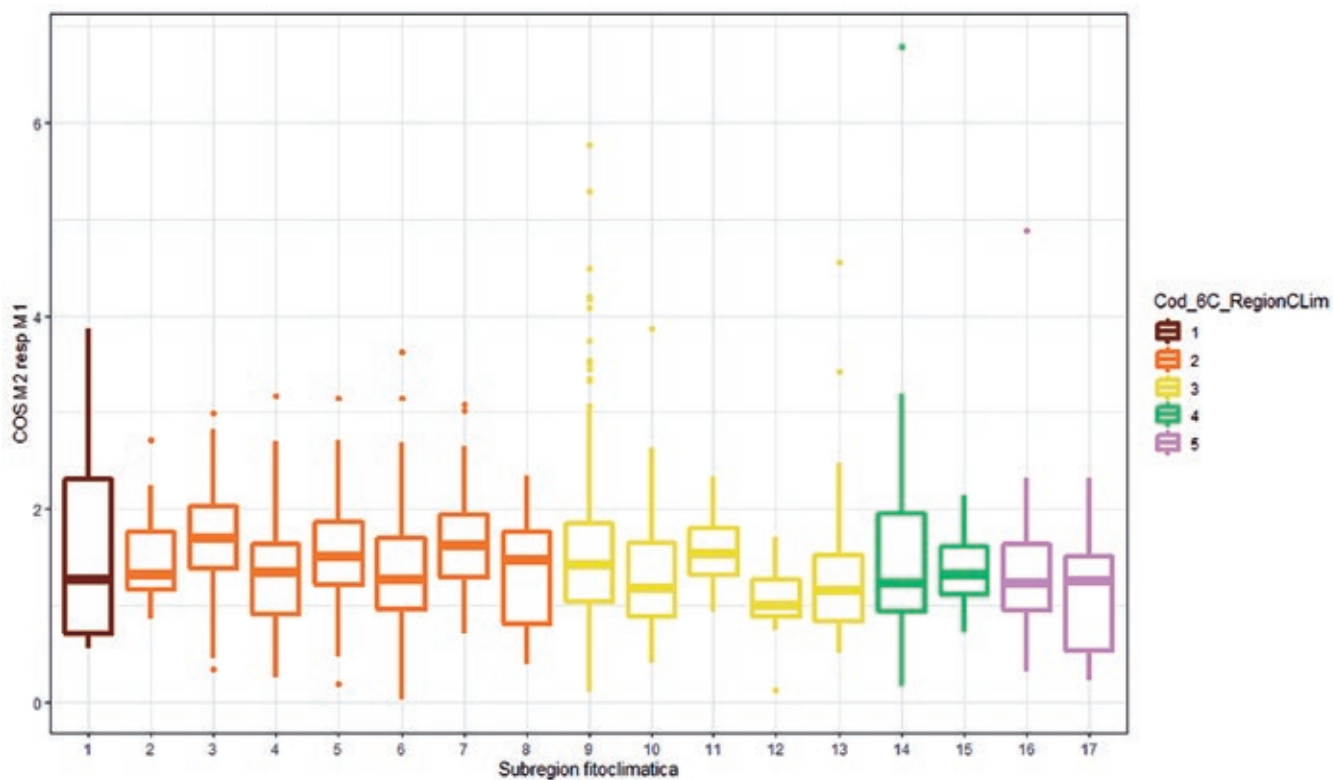
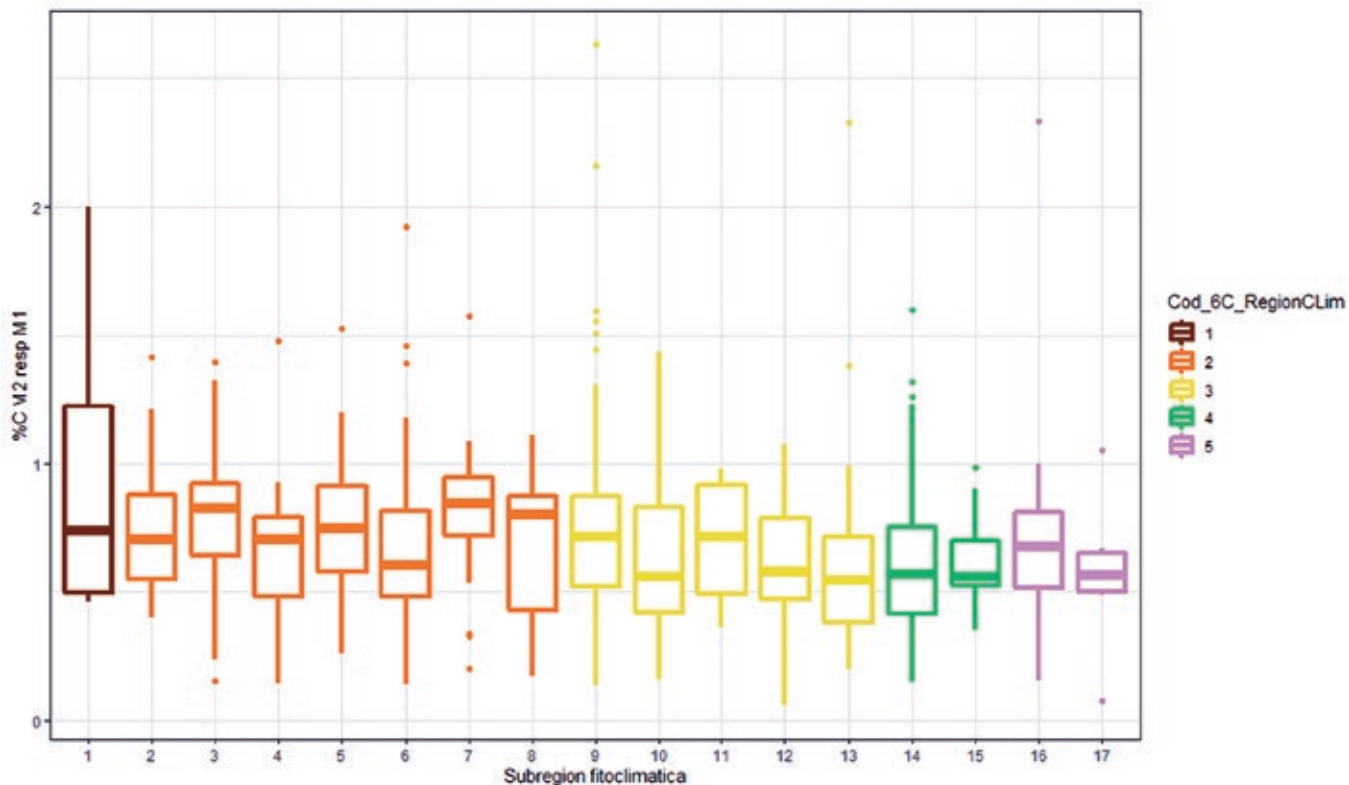
En cualquier caso, **las diferencias en torno a la media nacional son muy pequeñas**, lo que es coherente con las conclusiones obtenidas en los estudios consultados sobre la poca influencia del clima en la distribución del carbono en los horizontes superiores del suelo. No obstante, el patrón coincide con el obtenido en dichas fuentes: la variación en el porcentaje de carbono entre el horizonte inferior y el superior es ligeramente menor en los climas más secos que en los climas más húmedos y fríos.

En el caso de la variable  $COS_{2/1}$ , estas diferencias entre las grandes regiones climáticas son todavía menos apreciables, de forma que el valor promedio de contenido de carbono en los primeros 10 cm respecto al total de los 30 cm ( $COS_{10/30}$ ) resulta ser prácticamente el mismo en las distintas regiones climáticas.

En el análisis realizado según los Tipos fitoclimáticos de Allué se observan mayores diferencias entre los fitoclimas de cada región climática, apreciables en el diagrama de caja y bigotes adjunto. No obstante, algunas de esas diferencias están condicionadas por la proporción entre usos agrícolas y forestales dentro de cada tipo, como es el caso del tipo IV(VI)1 Mediterráneo subnival seco (código 7 en el gráfico), presente en las extensas zonas de cultivo de la meseta norte y el valle del Ebro, como se verá más adelante al estudiar conjuntamente los usos y el clima.

**Tabla 38.** Promedio de  $C_{2/1}$ ,  $COS_{2/1}$  y  $COS_{10/30}$  según tipos fitoclimáticos de Allué.

Código	Región Climática / Fitoclima Allué	Nº Parcelas	Promedio $C_{2/1}$	Promedio $COS_{2/1}$	Promedio $COS_{10/30}$
<b>1</b>	<b>Árido</b>	<b>4</b>	<b>0,98</b>	<b>1,74</b>	<b>0,44</b>
1	III(IV): Sahariano subhúmedo	4	0,98	1,74	0,44
<b>2</b>	<b>Mediterráneo</b>	<b>281</b>	<b>0,72</b>	<b>1,44</b>	<b>0,44</b>
2	IV(III): Mediterráneo subsahariano	19	0,76	1,50	0,41
3	IV1: Mediterráneo genuino seco	29	0,78	1,66	0,40
4	IV2: Mediterráneo genuino subtropical	39	0,65	1,31	0,47
5	IV3: Mediterráneo genuino	34	0,74	1,50	0,43
6	IV4: Mediterráneo genuino húmedo	95	0,66	1,32	0,46
7	IV(VI)1: Mediterráneo subnival seco	47	0,82	1,65	0,39
8	IV(VI)2: Mediterráneo subnival	18	0,68	1,30	0,47
<b>3</b>	<b>Continental</b>	<b>364</b>	<b>0,69</b>	<b>1,46</b>	<b>0,44</b>
9	VI(IV)1: Nemoromediterráneo genuino	237	0,73	1,54	0,43
10	VI(IV)2: Nemoromediterráneo genuino húmedo	62	0,63	1,36	0,46
11	VI(IV)3: Nemoromediterráneo subnival	4	0,69	1,58	0,40
12	VI(IV)4: Nemoromediterráneo submediterráneo	12	0,61	1,06	0,51
13	VI(VII): Nemoral subestepario	49	0,60	1,30	0,47
<b>4</b>	<b>Atlántico</b>	<b>114</b>	<b>0,62</b>	<b>1,42</b>	<b>0,45</b>
14	VI(V): Nemoral genuino fresco-tibio	85	0,62	1,45	0,45
15	VI: Nemoral genuino fresco	29	0,62	1,33	0,44
<b>5</b>	<b>Montano</b>	<b>37</b>	<b>0,69</b>	<b>1,35</b>	<b>0,46</b>
16	VIII(VI): Oroborealoide subnival	31	0,71	1,39	0,45
17	X(VIII): Oroborealoide genuino	6	0,57	1,15	0,53
	<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>800</b>	<b>0,69</b>	<b>1,44</b>	<b>0,44</b>



**Gráfico 28.** Gráficos de caja y bigotes en función de Tipos fitoclimáticos de Allué. Arriba del % C 10-30 respecto a % C 0-10 ( $C_{21}$ ) y abajo del  $COS_{10-30}$  respecto a  $COS_{0-10}$  ( $COS_{21}$ ) en las 800 parcelas  $COS_{1030}$ . Los colores representan la Región climática.

Las tablas y gráficos adjuntos recogen los estadísticos de las variables en función de **los principales usos del suelo y regiones climáticas y viceversa**<sup>25</sup>.

**Tabla 39.** Promedio de  $C_{2/1}$  y  $COS_{2/1}$  según usos del suelo y regiones climáticas.

USO/CLIMA	Nº Parcelas	Promedio $C_{2/1}$	Desvest $C_{2/1}$	Promedio $COS_{2/1}$	Desvest $COS_{2/1}$	Promedio $COS_{10/30}$
<b>Forestal arbolado</b>	<b>270</b>	<b>0,61</b>	<b>0,31</b>	<b>1,34</b>	<b>0,78</b>	<b>0,46</b>
Mediterráneo	69	0,62	0,28	1,26	0,59	0,47
Continental	135	0,60	0,35	1,31	0,80	0,47
Atlántico	53	0,61	0,26	1,55	0,95	0,43
Montano	13	0,59	0,18	1,19	0,41	0,47
<b>Forestal desarbolado</b>	<b>230</b>	<b>0,67</b>	<b>0,29</b>	<b>1,32</b>	<b>0,70</b>	<b>0,47</b>
Mediterráneo	72	0,66	0,28	1,24	0,55	0,48
Continental	83	0,67	0,27	1,38	0,82	0,46
Atlántico	51	0,61	0,25	1,27	0,57	0,47
Montano	23	0,77	0,41	1,49	0,92	0,44
<b>Agrícola</b>	<b>296</b>	<b>0,78</b>	<b>0,26</b>	<b>1,63</b>	<b>0,61</b>	<b>0,40</b>
Mediterráneo	140	0,79	0,24	1,63	0,54	0,40
Continental	146	0,78	0,28	1,64	0,67	0,40
Atlántico	10	0,71	0,29	1,54	0,66	0,42
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>800</b>	<b>0,69</b>	<b>0,30</b>	<b>1,44</b>	<b>0,72</b>	<b>0,44</b>

Para cada uso principal no se aprecian apenas diferencias entre los valores medios de  $C_{2/1}$  en función del clima, salvo el caso de la clase GL de clima montano, probablemente influido por el hecho de que la estructura de matorrales y pastizales de montaña se asemeja más a la de las formaciones herbáceas. Por el contrario, en el gráfico que representa esta variable para cada uso dentro de cada región climática se observa el mismo patrón de velocidad de disminución del % C en todas las regiones climáticas, definido por  $CL < GL < FL$ .

En definitiva, el análisis combinando usos y clima corrobora la conclusión de que **en la distribución vertical del % C en los primeros 30 cm influye bastante más el tipo de vegetación que el clima.**

En el caso de la distribución del contenido de COS, se obtienen las mismas conclusiones para el caso de las regiones mediterránea, continental y montana. Para el caso de las formaciones arboladas en la región atlántica se observa que el porcentaje de COS en los primeros cm respecto al total es ligeramente inferior que en el resto de regiones climáticas.

<sup>25</sup> Se han eliminado las combinaciones de uso y clima con escaso número de parcelas muestreadas.



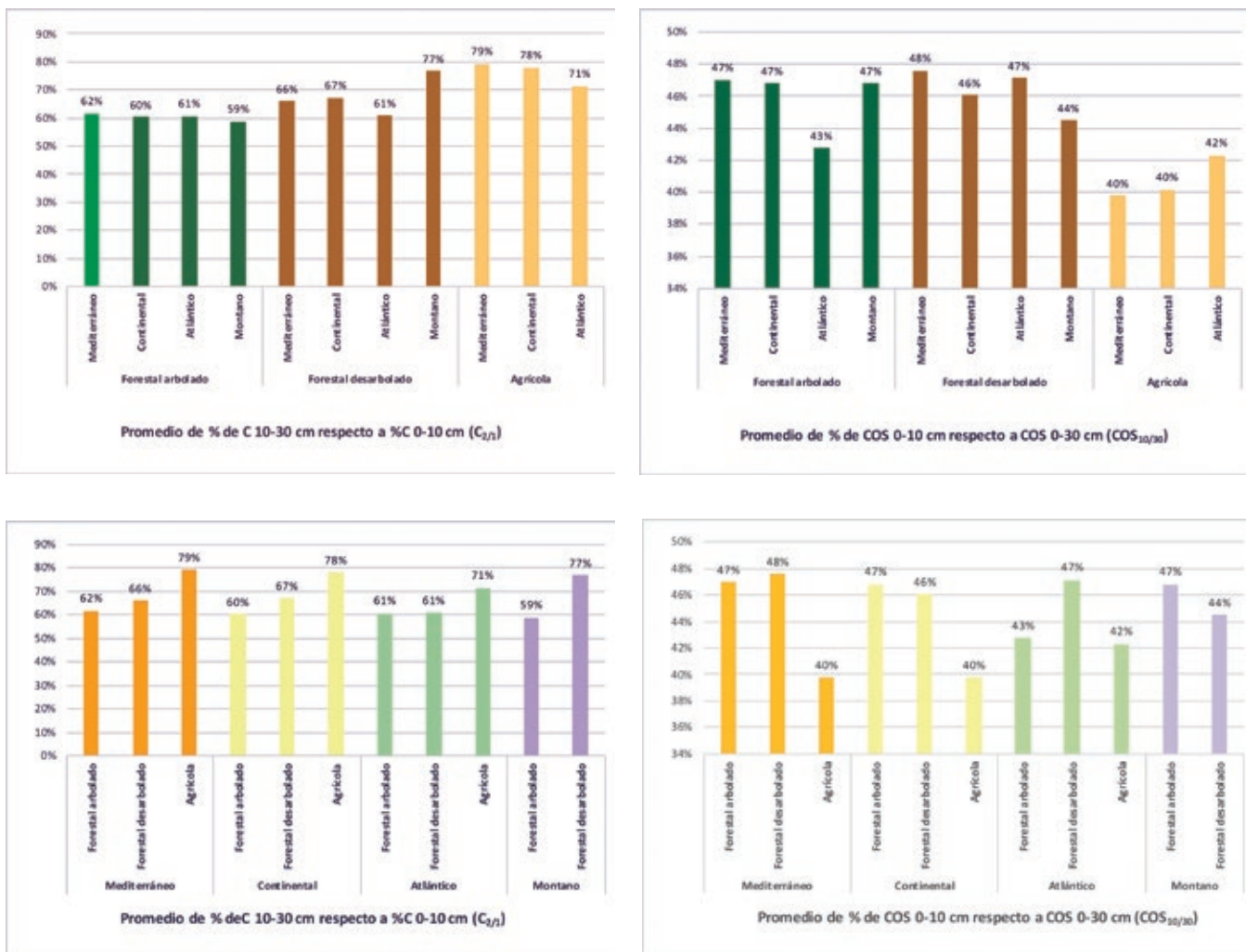


Gráfico 29. Promedio de  $C_{2/1}$ ,  $COS_{2/1}$  y  $COS_{10/30}$  según región climática y tipo de vegetación agrupada del INES.

La tabla y gráficos adjuntos recogen los valores medios de  $C_{2/1}$ ,  $COS_{2/1}$  y  $COS_{10/30}$  para cada combinación de **región climática y tipo de vegetación agrupada del INES**.<sup>26</sup>

Tabla 40. Resultados obtenidos para el promedio de  $C_{2/1}$ ,  $COS_{10/30}$  según región climática y tipo de vegetación agrupada del INES.

Región climática / Vegetación INES Agrupada	Nº Parcelas	Promedio $C_{2/1}$	Promedio $COS_{2/1}$	Promedio $COS_{10/30}$
<b>Mediterráneo</b>	<b>281</b>	<b>0,72</b>	<b>1,44</b>	<b>0,44</b>
Forestal arbolado $F_{cc} > 66\%$	16	0,72	1,50	0,44
Forestal arbolado $33\% < F_{cc} < 66\%$	27	0,56	1,23	0,47
Forestal arbolado $F_{cc} < 33\%$	26	0,62	1,15	0,49
Matorral con arbolado disperso	24	0,67	1,26	0,47
Matorral	40	0,66	1,23	0,48

<sup>26</sup> En los gráficos se representa únicamente las combinaciones con un número de muestras igual o superior a cuatro.

Región climática / Vegetación INES Agrupada	Nº Parcelas	Promedio $C_{2/1}$	Promedio $COS_{2/1}$	Promedio $COS_{10/30}$
Praderas, pastizales y herbazales	10	0,65	1,28	0,47
Cultivos herbáceos de regadío	15	0,74	1,49	0,42
Cultivos herbáceos de secano	64	0,73	1,43	0,43
Cultivos leñosos de regadío	27	0,80	1,75	0,37
Cultivos leñosos de secano	32	0,84	1,76	0,38
<b>Continental</b>	<b>364</b>	<b>0,69</b>	<b>1,46</b>	<b>0,44</b>
Forestal arbolado Fcc > 66 %	50	0,55	1,29	0,47
Forestal arbolado 33 % < Fcc < 66 %	67	0,62	1,29	0,48
Forestal arbolado Fcc < 33 %	18	0,69	1,49	0,44
Matorral con arbolado disperso	25	0,74	1,60	0,43
Matorral	41	0,66	1,25	0,49
Praderas, pastizales y herbazales	32	0,57	1,25	0,47
Cultivos herbáceos de regadío	11	0,70	1,37	0,43
Cultivos herbáceos de secano	100	0,78	1,59	0,42
Cultivos leñosos de regadío	4	0,79	1,59	0,41
Cultivos leñosos de secano	16	0,82	1,74	0,38
<b>Atlántico</b>	<b>114</b>	<b>0,62</b>	<b>1,42</b>	<b>0,45</b>
Forestal arbolado Fcc > 66 %	28	0,55	1,37	0,45
Forestal arbolado 33 % < Fcc < 66 %	17	0,65	1,75	0,41
Forestal arbolado Fcc < 33 %	8	0,71	1,72	0,39
Matorral con arbolado disperso	3	0,73	1,66	0,38
Matorral	20	0,72	1,40	0,46
Praderas, pastizales y herbazales	33	0,53	1,17	0,48
Cultivos herbáceos de secano	4	0,46	1,07	0,48
Cultivos leñosos de secano	1	0,90	1,81	0,38
<b>Montano</b>	<b>37</b>	<b>0,69</b>	<b>1,35</b>	<b>0,46</b>
Forestal arbolado Fcc > 66 %	11	0,59	1,23	0,46
Forestal arbolado 33 % < Fcc < 66 %	1	0,46	1,06	0,49
Forestal arbolado Fcc < 33 %	1	0,65	0,92	0,52
Matorral con arbolado disperso	2	1,60	3,23	0,28
Matorral	16	0,72	1,33	0,45
Praderas, pastizales y herbazales	5	0,58	1,31	0,49
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>800</b>	<b>0,69</b>	<b>1,44</b>	<b>0,44</b>

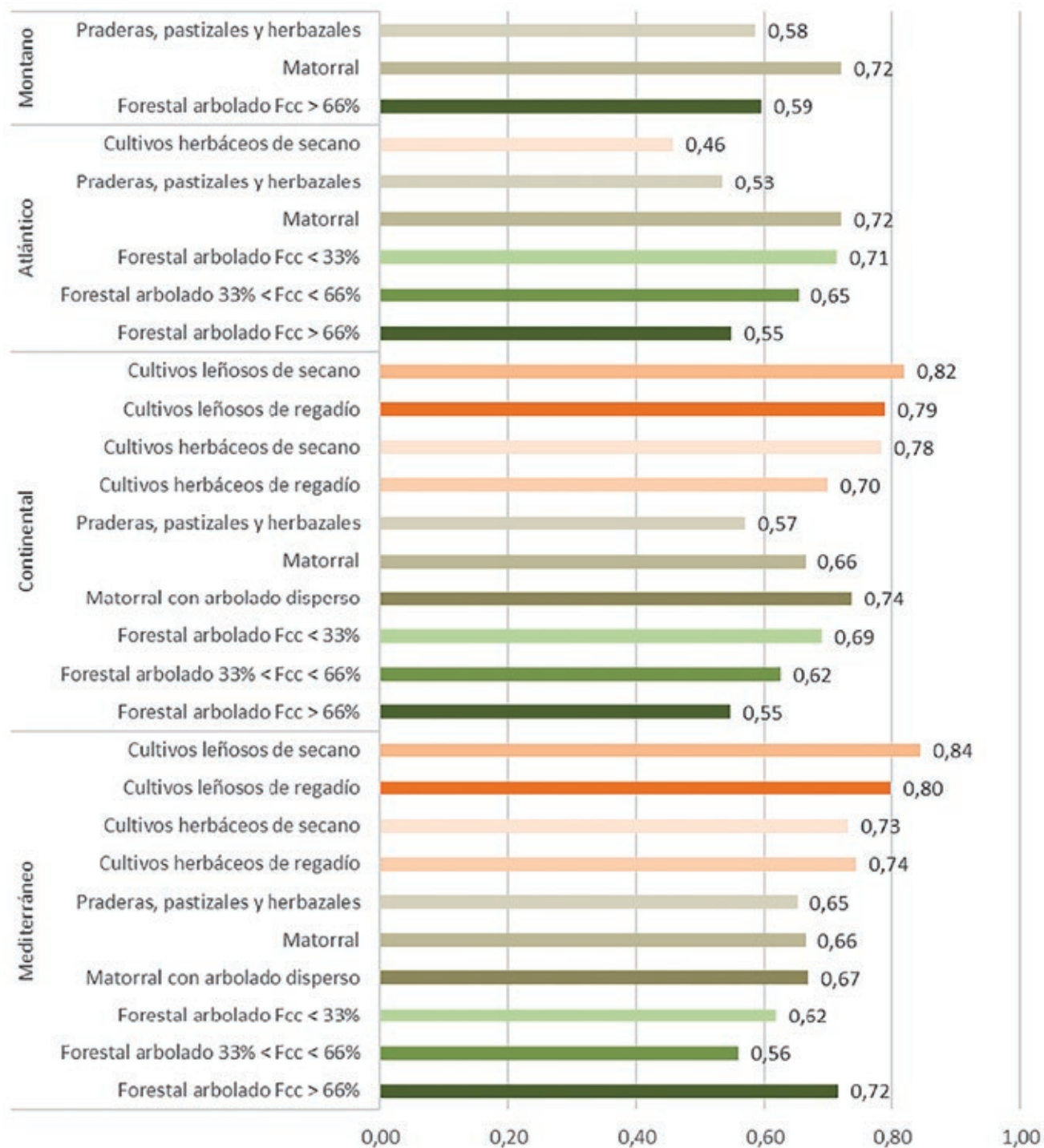


Gráfico 30. Promedio de % C<sub>211</sub> según región climática y tipo de vegetación agrupada del INES.

Aun cuando las conclusiones de los valores medios obtenidos deben tener en cuenta que, lógicamente, el número de muestras en cada combinación es mucho menor, esta clasificación más detallada de tipos estructurales de vegetación permite observar algunas diferencias no apreciables en el análisis por tipos principales de usos del suelo para el caso de la variable % C (no así para el contenido de COS):

- El patrón observado a nivel nacional de una menor velocidad de disminución de % C en las formaciones arbustivas que en los pastizales y herbazales es más marcado en los climas fríos que en los cálidos:
  - Climas fríos y húmedos (montano y atlántico): Matorral << Praderas, pastizales y herbazales.
  - Clima continental: Matorral < Praderas, pastizales y herbazales.
  - Clima mediterráneo: Matorral ≤ Praderas, pastizales y herbazales.
- El patrón general de velocidad de disminución de % C algo mayor en las formaciones arboladas más densas se mantiene en todas las regiones salvo en la mediterránea. Es decir, hay mayor acumulación de C en los primeros cm del suelo en los bosques densos de los climas más fríos y húmedos.

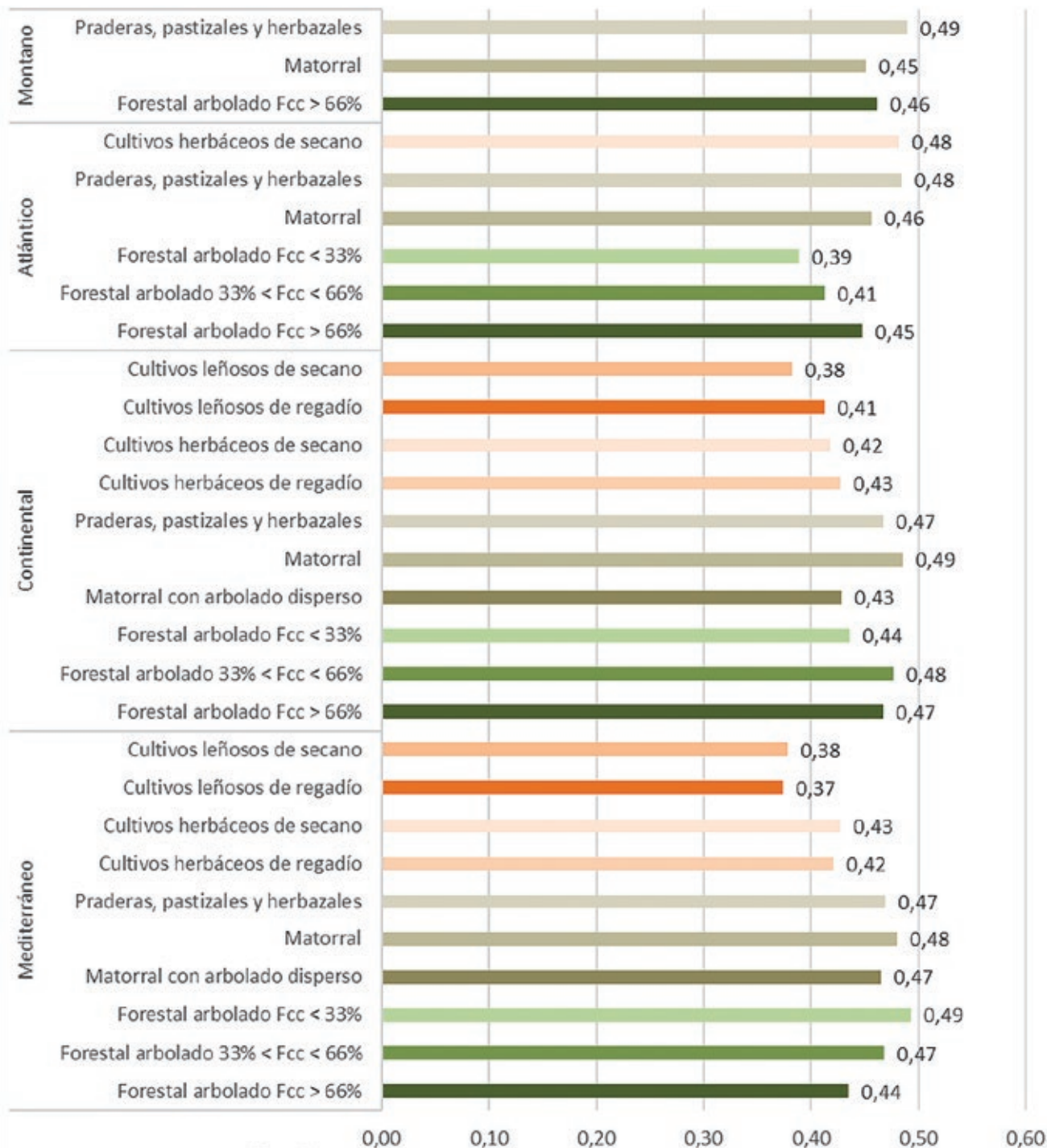
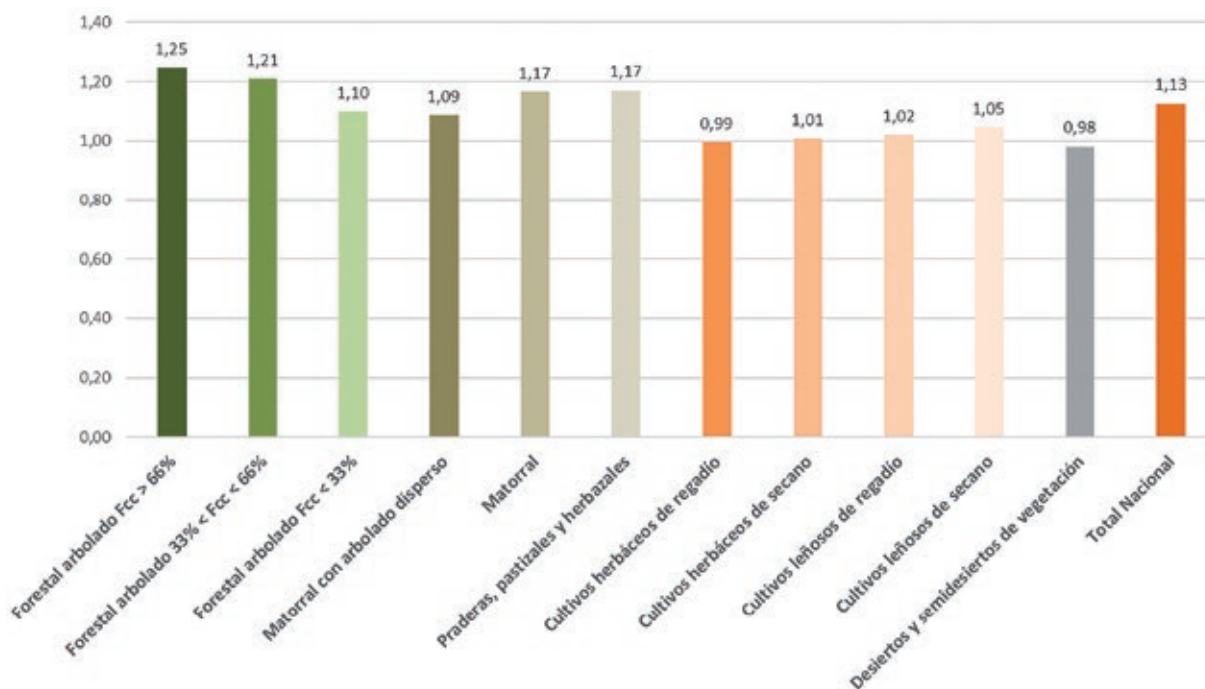


Gráfico 31. Promedio de COS<sub>10-30</sub> según región climática y tipo de vegetación agrupada del INES.

Para completar el estudio de la distribución vertical de las variables que intervienen en el cálculo del COS, se recogen los resultados correspondientes a **la densidad aparente (DA) y la pedregosidad (EG)**, utilizando como variables dependientes la vegetación del INES agrupada y las regiones climáticas.

**Tabla 41.** Estadísticos obtenidos para  $DA_{2/1}$  y  $EG_{2/1}$  según tipo de vegetación agrupada del INES.

Uso UNFCCC	Vegetación INES agrupada	Promedio $DA_{2/1}$	Desvest $DA_{2/1}$	Promedio $EG_{2/1}$	Desvest $EG_{2/1}$
FL	Forestal arbolado Fcc > 66 %	1,25	0,29	1,67	2,72
FL	Forestal arbolado 33 % < Fcc < 66 %	1,21	0,27	2,18	5,10
FL	Forestal arbolado Fcc < 33 %	1,10	0,13	1,26	0,64
GL	Matorral con arbolado disperso	1,09	0,12	1,22	0,58
GL	Matorral	1,17	0,24	2,27	4,57
GL/CL	Praderas, pastizales y herbazales	1,17	0,14	1,97	3,09
CL	Cultivos herbáceos de regadío	0,99	0,09	1,52	1,79
CL	Cultivos herbáceos de secano	1,01	0,11	1,08	0,47
CL	Cultivos leñosos de regadío	1,02	0,08	1,09	0,53
CL	Cultivos leñosos de secano	1,05	0,15	1,11	0,69
OL	Desiertos y semidesiertos de vegetación	0,98	0,12	1,11	0,31
<b>TOTAL NACIONAL</b>		<b>1,13</b>	<b>0,21</b>	<b>1,62</b>	<b>3,02</b>



**Gráfico 32.** Promedio de  $DA_{2/1}$  según tipo de vegetación agrupada del INES.

La densidad aparente en el segundo horizonte aumenta ligeramente en los terrenos forestales, algo más en las formaciones arboladas densas y menos en los bosques poco densos y matorrales. En los cultivos apenas hay diferencia entre las DA de ambos horizontes.

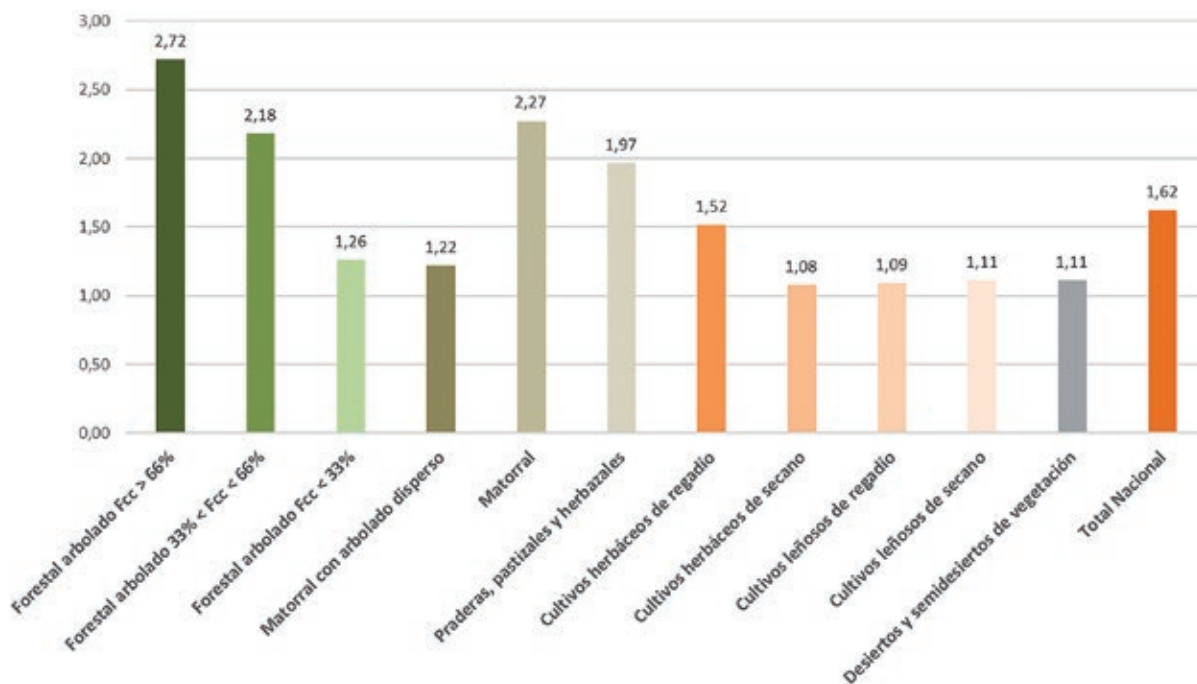


Gráfico 33. Promedio de  $EG_{2/1}$  según tipo de vegetación agrupada del INES.

En el caso del % de **elementos gruesos** (EG) en todos los tipos de vegetación es superior en el segundo horizonte, apreciándose un mayor incremento de pedregosidad con la profundidad en las formaciones arboladas densas, matorrales y pastizales que en las formaciones poco densas y en los cultivos.

Tabla 42. Estadísticos obtenidos para  $DA_{2/1}$  y  $EG_{2/1}$  según regiones climáticas.

Región Climática	Promedio $DA_{2/1}$	Desvest $DA_{2/1}$	Promedio $EG_{2/1}$	Desvest $EG_{2/1}$
Árido	0,98	0,13	1,14	0,31
Mediterráneo	1,06	0,14	1,47	2,71
Continental	1,11	0,19	1,55	3,21
Atlántico	1,26	0,28	1,92	2,46
Montano	1,33	0,36	2,60	4,46
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>1,13</b>	<b>0,21</b>	<b>1,62</b>	<b>3,02</b>

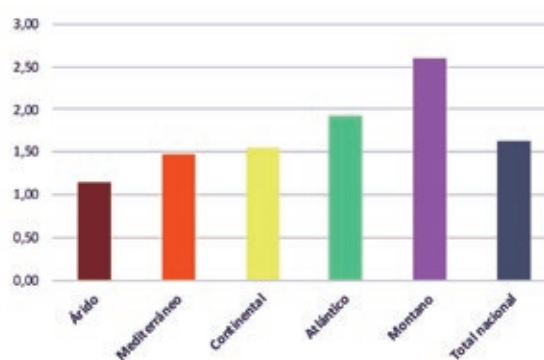
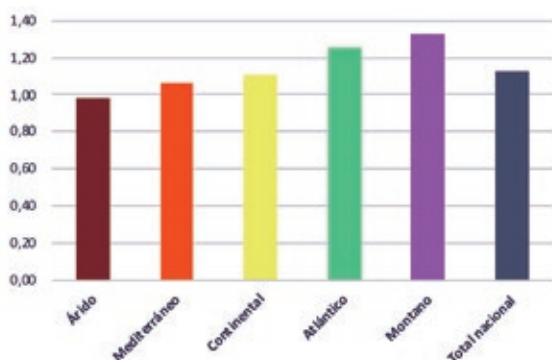


Gráfico 34. Promedio de  $DA_{2/1}$  y  $EG_{2/1}$  según regiones climáticas.

Se aprecia un mayor incremento de la densidad aparente en el segundo horizonte en los climas fríos y húmedos, así como una mayor pedregosidad, si bien en este caso con una elevada variabilidad.

#### 4.3.2. Análisis del grado de dependencia entre la variable de distribución vertical y las variables explicativas.

Los resultados de los modelos individuales, es decir, de los modelos de regresión lineal simple de las variables  $C_{2/1}$  y  $COS_{2/1}$  como variable respuesta y cada una de las variables incluidas en el análisis como variable explicativa, son los siguientes:

**Tabla 43.** Resultados del análisis de regresión de las variables  $C_{2/1}$  y  $COS_{2/1}$ .

VARIABLES	$C_{2/1}$			$COS_{2/1}$		
	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajustado	RMSE	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajustado	RMSE
Uso UNFCCC	0,07	0,06	0,29	0,04	0,04	0,7
Vegetación INES	0,07	0,07	0,29	0,04	0,04	0,7
Fcc total	0,03	0,03	0,3	0	0	0,75
Región Climática	0,01	0,01	0,3	0	0	0,72
Temperatura media anual	0	0	0,3	0	0	0,72
Precipitación media anual	0,01	0,01	0,3	0	0	0,72
Altitud	0	0	0,3	0	0	0,72
Exposición	0	0	0,3	0	0	0,72
Pendiente	0,01	0,01	0,3	0,01	0	0,72

Estos modelos de regresión individuales muestran unos valores de R<sup>2</sup> extremadamente bajos en todos los casos, especialmente para las variables explicativas relacionadas con el clima y la fisiografía.

Estos resultados eran esperables tras las conclusiones obtenidas del análisis de los valores promedio de  $C_{2/1}$  y  $COS_{2/1}$  en función del uso del suelo, el clima y la topografía, que mostraban generalmente escasas diferencias. Además, la obtención de valores bajos del coeficiente de correlación de Pearson es algo muy habitual en los estudios de suelos, por la variabilidad intrínseca de las propiedades de los suelos.

Recordemos que en las regresiones que se hicieron con contenido de carbono en las parcelas del INES (COS10A) los valores de R<sup>2</sup> para la vegetación eran el doble, pero en cualquier caso también muy bajos.

**Tabla 44.** Resultados del análisis de regresión de los valores de COS10 en las parcelas del INES.

VARIABLES	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajustado	RMSE
Uso UNFCCC	0,14	0,14	2,74
Subcategoría Uso UNFCCC	0,15	0,15	2,69
Fcc arbórea	0,07	0,07	3,14
Fcc total	0,15	0,15	2,72
Vegetación INES	0,2	0,2	2,65

Dentro de lo bajos que son todos los valores, parece que las variables relacionadas con la vegetación (Uso y Vegetación INES agrupada) explican algo más que las de clima y fisiografía la distribución vertical del contenido de carbono en los primeros 30 cm de suelo.

En definitiva, aun cuando del estudio de las medias se observan ciertas diferencias en el comportamiento de las variables objeto de estudio en función de variables explicativas relacionadas con el uso del suelo, la estructura de la vegetación y, en menor medida, con los tipos de clima, que son consistentes con el conocimiento científico existente sobre la distribución del carbono en profundidad, estas relaciones no son estadísticamente significativas de acuerdo con el análisis de regresión.

Para completar el estudio de los posibles efectos de los factores sobre la varianza de las variables, y una vez descartada la aplicación del análisis de varianza mediante ANOVA pues la distribución de los datos no es normal, se plantea utilizar el método no paramétrico Kruskal-Wallis utilizando como variables COS M2 resp M1 y %C M2 resp M1 y como factor la clasificación de principales usos del suelo y de clima (Uso UNFCCC / Región climática)<sup>27</sup>.

El test de Kruskal-Wallis compara las medianas de los grupos, siendo la hipótesis nula que todas las muestras provienen de la misma población (distribución), y la hipótesis alternativa que al menos una muestra proviene de una población con una distribución distinta. Los p-valores de las pruebas realizadas para las dos variables (%C<sub>2/1</sub> y COS<sub>2/1</sub>) son inferiores a 0,05 (nivel de significancia), por lo que se rechaza la hipótesis nula, y se puede afirmar que las diferencias entre algunas de las medianas son estadísticamente significativas, es decir, que al menos dos grupos de entre los comparados son significativamente diferentes.

Para ver entre qué grupos hay diferencias estadísticamente significativas y determinar los grupos homogéneos, se utiliza el test de comparación post-hoc de Tukey, cuyos resultados se muestran en la tabla adjunta. Los grupos de usos y clima con la misma letra no son distintos, con un nivel de significación de 0,05.

**Tabla 45.** Resultados del test de comparación post-hoc de Tukey según usos del suelo y regiones climáticas.

USO_CLIM	Uso UNFCCC	Clima	Nº Parcelas	Grupo
1	FL	Mediterráneo	69	A
2	FL	Continental	135	A
3	FL	Atlántico	53	AB
4	FL	Montano	13	AB
5	GL	Árido	1	AB
6	GL	Mediterráneo	72	A
7	GL	Continental	83	A
8	GL	Atlántico	51	A
9	GL	Montano	23	AB
10	CL	Mediterráneo	140	B
11	CL	Continental	146	B
12	CL	Atlántico	10	AB
13	OL	Árido	3	AB
14	OL	Montano	1	AB
<b>TOTAL NACIONAL</b>			<b>800</b>	

De la tabla adjunta, en la que se ordenan los grupos según la letra (no se muestran los grupos con poca representación de parcelas), se concluye que hay diferencias estadísticamente significativas entre la distribución vertical

<sup>27</sup> Se ha realizado la comprobación previa de homocedasticidad de los datos, necesaria para aplicar el método Kruskal-Wallis, realizando el test de Levene, siendo la hipótesis nula que las varianzas son iguales. La probabilidad asociada al estadístico de Levene es mayor que 0,05 (nivel de significancia), por lo que no se rechaza la hipótesis nula, y se puede suponer que las varianzas son iguales y se puede aplicar dicho método.



del COS en el grupo formado por los usos forestales en los climas continental y mediterráneo y matorrales atlánticos y el grupo de los cultivos (a excepción de los cultivos atlánticos, por otra parte muy poco representados).

**Tabla 46.** Resultados del test de comparación post-hoc de Tukey según usos del suelo y regiones climáticas ordenados por grupos.

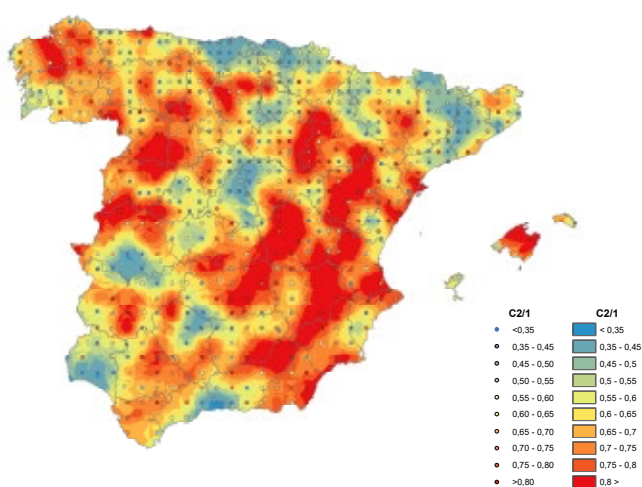
USO_CLIM	Uso UNFCCC	Clima	Nº Parcelas	Grupo	
1	FL	Mediterráneo	69	A	Son distintos de B
2	FL	Continental	135		
6	GL	Mediterráneo	72		
7	GL	Continental	83		
8	GL	Atlántico	51		
3	FL	Atlántico	53	AB	Pueden pertenecer a A o B
4	FL	Montano	13		
9	GL	Montano	23		
12	CL	Atlántico	10		
10	CL	Mediterráneo	140	B	Son distintos de A
11	CL	Continental	146		

#### 4.4. Análisis espacial de las variables de distribución vertical del carbono orgánico del suelo

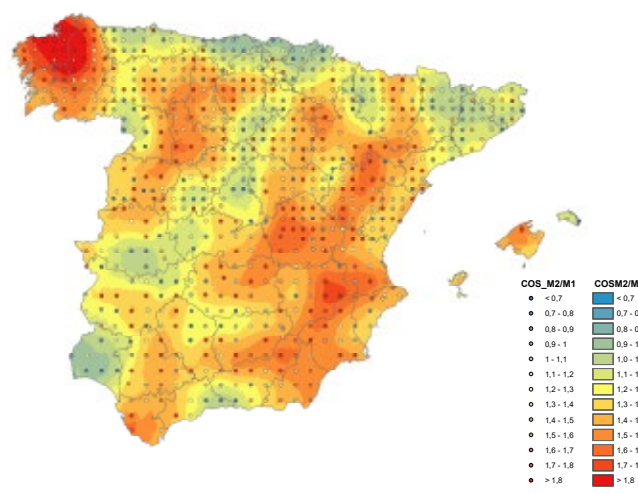
##### 4.4.1. Interpolación de los valores de la relación de contenido de carbono entre los horizontes (distribución vertical)

Como se ha dicho, la interpolación de los valores obtenidos en las parcelas COS de la relación entre el carbono de 10 a 30 cm y el carbono de 0 a 10 cm ( $C_{2/1}$  y  $COS_{2/1}$ ) ha resultado difícil, ya que hay mucha variabilidad de datos entre puntos, pese a haber eliminado outliers globales y locales.

En las páginas siguientes se incluyen los resultados y estadísticos de calidad de la interpolación de la relación  $C_{2/1}$  y  $COS_{2/1}$  utilizando un modelo de Kriging ordinario para la Península y Baleares.



**Figura 19.** Capa de puntos de partida de  $C_{2/1}$  obtenidos en las parcelas COS y mapa interpolado resultante, sin outliers locales ni globales.



**Figura 20.** Capa de puntos de partida de  $COS_{2/1}$  obtenidos en las parcelas COS y mapa interpolado resultante,

**Tabla 47.** Estadísticos de calidad obtenidos de los resultados obtenidos de la interpolación para  $C_{2/1}$  y  $COS_{2/1}$  utilizando el modelo de Kriging. Valores aconsejables: Raíz EMC=Bajo; Err.med.stdd=cercano a 0; RMSEE=cercano a 1.

**$C_{2/1}$  Península y Baleares**

	Meassured	Predicted	Error	ErrorMedioCua	raizEMC	err.med.stdd	err.med.stdd^2	RMSSE
desvest	0,2486	0,1133	<b>0,2467</b>					
promedio	0,6687	0,6686	-0,0001	0,0608	<b>0,2465</b>	-0,0006	0,9837	0,9918
N	762							
MAX	1,3969	0,9744	0,6706					

**$COS_{2/1}$  Península y Baleares**

	Meassured	Predicted	Error	ErrorMedioCua	raizEMC	err.med.stdd	err.med.stdd^2	RMSSE
desvest	0,5262	0,2019	<b>0,5140</b>					
promedio	1,3551	1,3571	0,0021	0,2639	<b>0,5137</b>	0,0039	0,9528	0,9761
N	742							
MAX	2,9879	2,0137	1,4681					

Lo más destacable en ambos casos ( $C_{2/1}$  y  $COS_{2/1}$ ) es la obtención de variogramas en los que el efecto pepita, es decir, el valor de la semivarianza mínima no relacionada con la distancia (nugget) y la meseta parcial (semivarianza máxima alcanzada) son cercanos, lo que da lugar a que el semivariograma sigue una curva bastante plana.

Además, el efecto pepita es muy elevado, lo que significa que en el entorno cercano la media de la varianza es muy alta (0,038 en el caso de  $C_{2/1}$ ), lo que indica que hay mucha variabilidad entre los valores de la variable  $C_{2/1}$  y  $COS_{2/1}$  en puntos cercanos, o sea, hay puntos muy cercanos que se parecen mucho y puntos muy cercanos que se parecen muy poco.

La meseta (valor del eje y cuando se alcanza el punto del valor en el que ya da lo mismo a la distancia a la que estén los puntos, 0,06 en el caso de  $C_{2/1}$ ), se alcanza a muy poca distancia (aproximadamente a 50 km en el caso de  $C_{2/1}$ ), lo que significa que, aunque el error global de la interpolación (o sea, la media de los errores) sea aceptable, no se descarta que los errores puntales puedan ser bastante altos.

Para considerar que una interpolación arroja buenos resultados, la relación entre el efecto pepita y la meseta debe ser al menos entre un 30/40 %. En este caso, es de un 63 % (0,038 / 0,06).

**4.4.2. Interpolación de los valores de COS a 10 cm con los valores obtenidos en las parcelas del INES.**

Tras ensayar varias aproximaciones, se han obtenido los siguientes mapas interpolados de % C y de COS a 10 cm a partir de los valores obtenidos en las parcelas del INES (COS10A). Estos mapas son los que sirven de base para obtener los mapas de % C y de COS a 30 cm combinándolos mediante álgebra de mapas con los mapas obtenidos para las variables de relación de contenido de carbono entre los horizontes.

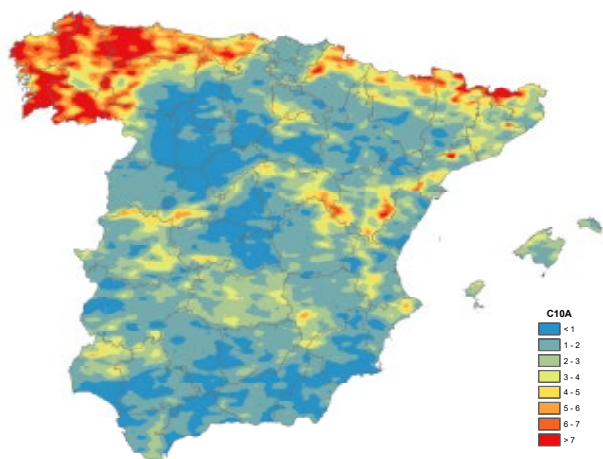


Figura 21. Mapa de % C a 10 cm obtenido por interpolación a partir de los valores en las parcelas del INES (C10A).

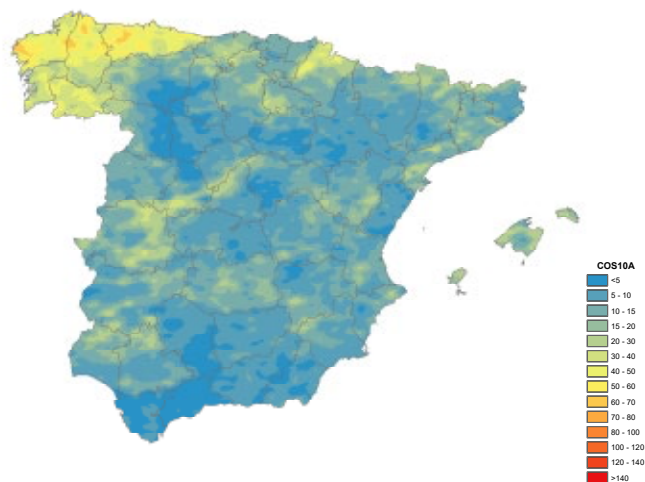


Figura 22. Mapa de COS a 10 cm obtenido por interpolación a partir de los valores en las parcelas del INES (COS10A).

Tabla 48. Estadísticos de calidad obtenidos de los resultados obtenidos de la interpolación para C10A y COS10A utilizando el modelo de Kriging previa transformación logarítmica de las variables..

### C10A Península y Baleares

#### Sobre logC10A

	Measured	Predicted	Error	ErrorMedioCua	raizEMC	err.med.stdd	err.med.stdd^2	RMSSE
desvest	0,9996	0,6821	<b>0,7460</b>					
promedio	0,6178	0,6183	0,0005	0,5562	<b>0,7458</b>	0,0006	0,9995	0,9998
N	20539							
MAX	3,3955	2,5639	4,5422					

#### Sobre C10A

	Measured	Predicted	Error	ErrorMedioCua	raizEMC	err.med.stdd	err.med.stdd^2	RMSSE
desvest	2,922332409	1,825861556	<b>2,144700249</b>					
promedio	2,893214373	2,36303746	-0,530176913	4,880602767	<b>2,209208629</b>	-0,247203269	1,061060768	1,03007804
N	20539							
MAX	29,83	12,98658989	8,973450612					

### COS10A Península y Baleares

#### Sobre logCOS10A

	Measured	Predicted	Error	ErrorMedioCua	raizEMC	err.med.stdd	err.med.stdd^2	RMSSE
desvest	0,974357591	0,654171304	<b>0,729047933</b>					
promedio	2,405709939	2,405893741	0,000183802	0,529204859	<b>0,727464679</b>	-0,000361521	0,995661369	0,997828326
N	20540							
MAX	4,805700527	4,270636851	6,692762388					

#### Sobre COS10A

	Measured	Predicted	Error	ErrorMedioCua	raizEMC	err.med.stdd	err.med.stdd^2	RMSSE
desvest	15,6786	10,7230	<b>10,8493</b>					
promedio	16,6500	13,8800	-2,7701	125,3752	<b>11,1971</b>	-0,2553	1,0651	1,0321
N	20540							
MAX	122,2051	71,5672	54,6669					

Como era de esperar, los estadísticos de calidad de la interpolación de los aproximadamente 22.500 valores de C y COS10 del INES son bastante mejores, no solo por la mayor densidad de puntos si no porque el contenido de carbono es una variable con una mayor correlación espacial que la relación de carbono entre horizontes.

#### 4.4.3. Generación del mapa de carbono a 30 cm.

Una vez obtenidas las capas de los valores de % C y COS a 10 cm de las parcelas INES y de las variables  $C_{2/1}$  y  $COS_{2/1}$  se obtienen las capas de % C y de COS a la profundidad 30 cm, el principal resultado de este trabajo, mediante los siguientes pasos:

- Multiplicación de los valores de C y COS de 0 a 10 cm por la relación  $C_{2/1}$  y  $COS_{2/1}$  para obtener C y COS de 10 a 30 cm.
- Obtención de % C de 0 a 30 cm aplicando la fórmula de la media (ponderada con el espesor del horizonte) del valor de la variable % C en la muestra de 0 a 10 cm (% C1) y la muestra de 10 a 30 cm (% C2).
- Obtención de COS de 0 a 30 cm como suma del COS en la muestra de 0 a 10 cm (COS1) y en la muestra de 10 a 30 cm (COS2).

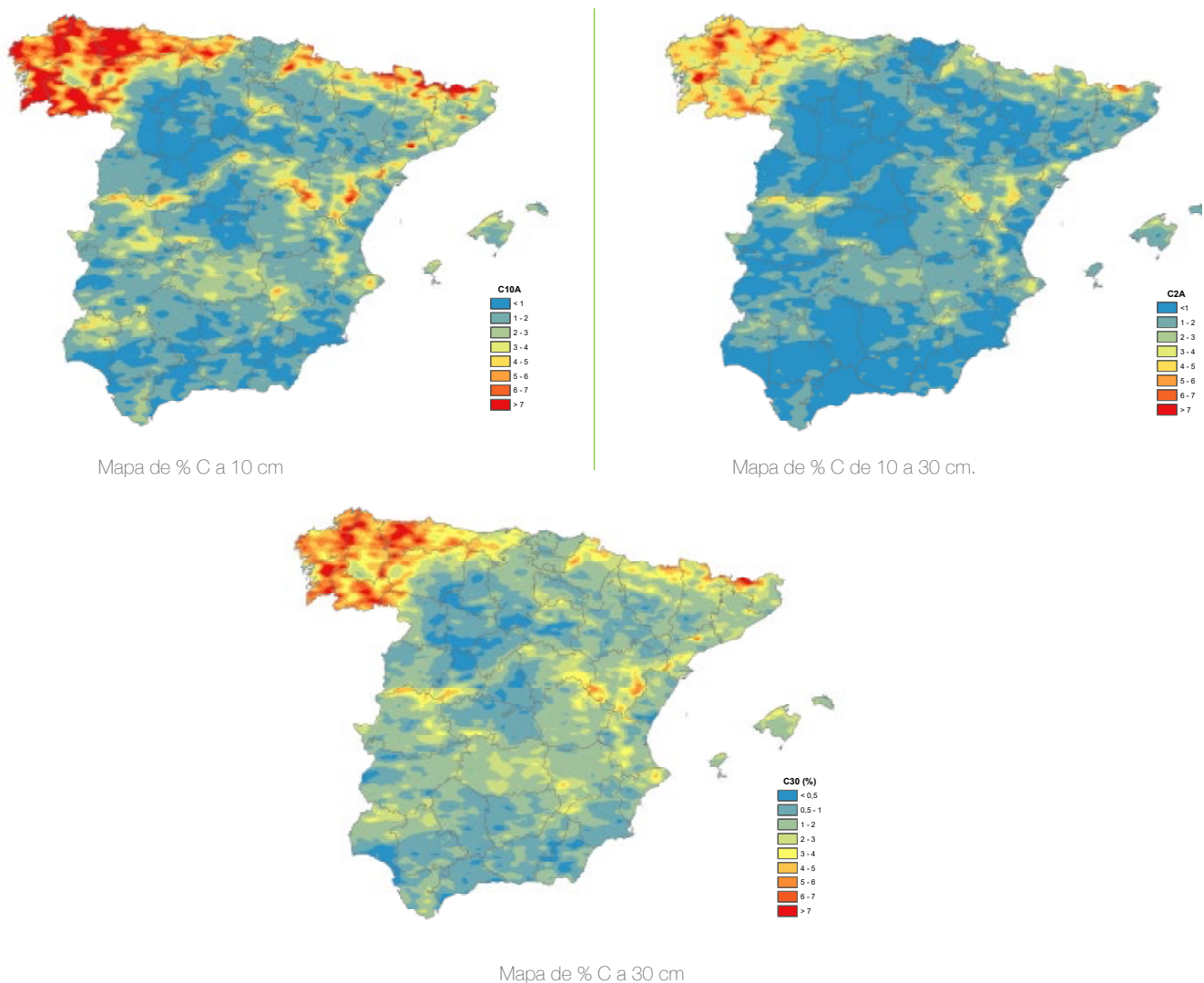


Figura 23. Mapas de los resultados obtenidos de la interpolación del % C en los dos horizontes y en el total a 30 cm.

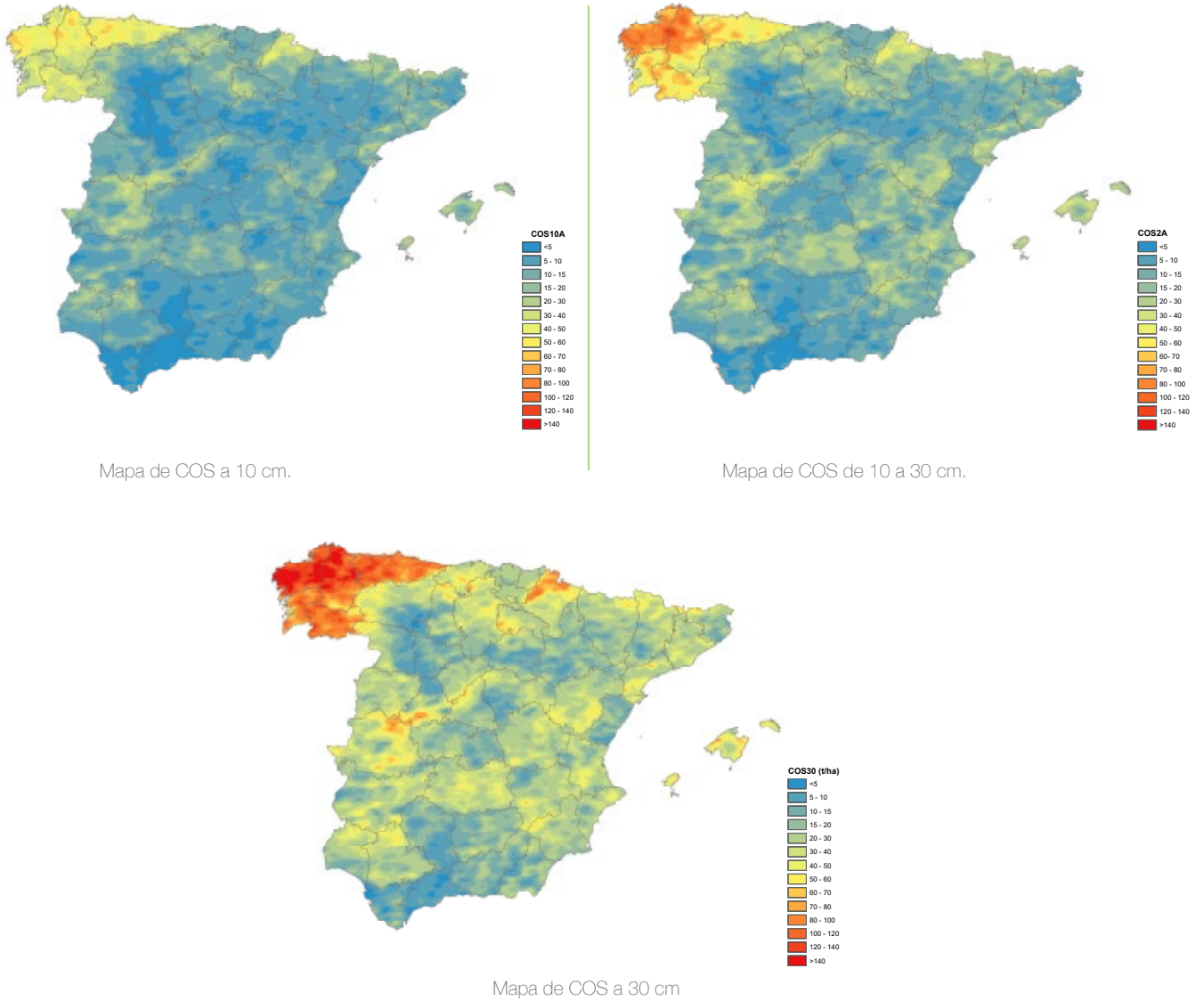


Figura 24. Mapas de los resultados obtenidos de la interpolación de COS en los dos horizontes y en el total a 30 cm.

La interpolación de los datos disponibles de relación de carbono entre horizontes para las islas Canarias no es posible, debido al escaso número de parcelas. Como alternativa, a cada parcela del INES se le ha asignado el valor promedio para toda España, por uso del suelo y clima, de los valores de la relación de %C y de COS entre horizontes, obteniéndose el valor de C30 y COS 30 aplicando dicho promedio a los valores de C10 y COS10 en cada parcela.

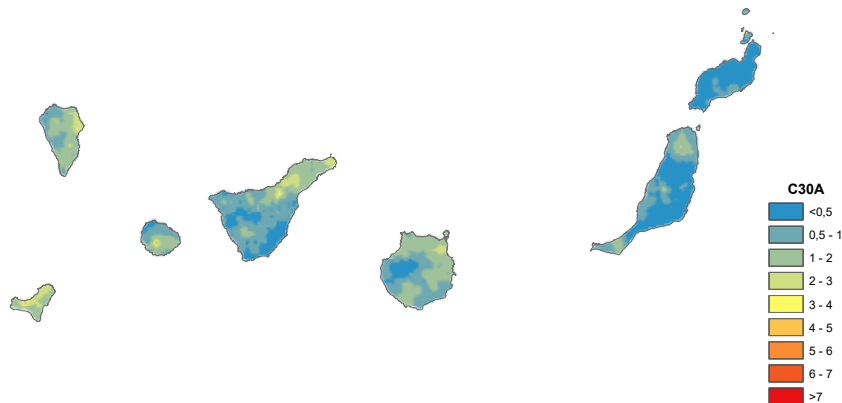


Figura 25. Mapa de los resultados obtenidos de la interpolación del %C para las Islas Canarias.

Por otro lado, la distribución del conjunto de puntos de COS 30 de Canarias no resulta apropiada para la interpolación mediante Kriging, por lo que se han ensayado los métodos de interpolación del inverso del cuadrado de la distancia (IWD) y la herramienta *Spline*, obteniéndose mejores resultados con esta segunda opción.

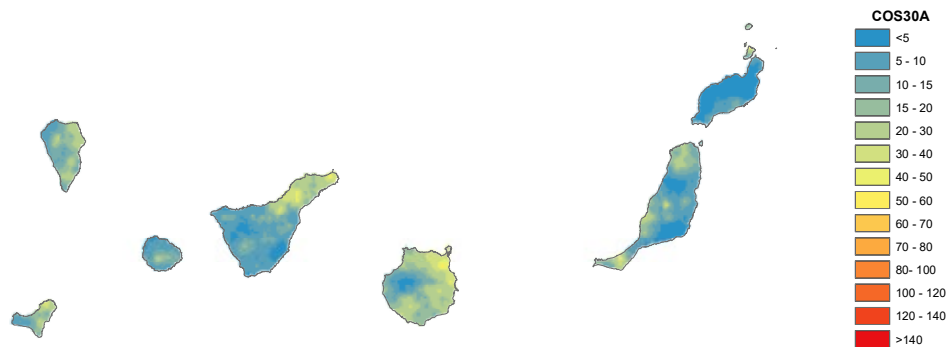


Figura 26. Mapa de los resultados obtenidos de la interpolación de COS30 para las Islas Canarias.

En términos generales **la comparación de los mapas obtenidos en este estudio con los dos mapas nacionales disponibles a la misma profundidad**<sup>28</sup> (el obtenido por Rodríguez-Martín et al (2016) y el del Global Soil Organic Carbon Map (GSOC) a partir de los datos del Proyecto LUCAS de la UE), permite apreciar muchas similitudes y algunas diferencias en la distribución del COS, que deben ser analizadas con detalle a partir del estudio minucioso de las metodologías y datos de partida de dichos estudios, lo que queda fuera del alcance de este trabajo.

## 5. CONCLUSIONES

El contenido de carbono orgánico en la capa superficial del suelo (“topsoil”) considerando como tal los primeros 30 centímetros de profundidad edáfica, es un indicador universalmente aceptado y utilizado como referencia en la Convención de la Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, la Convención Marco para el Cambio Climático y la Agencia Europea de Medio Ambiente, entre otras entidades.

El objetivo de este trabajo ha sido obtener una nueva estimación del COS en España a partir de los valores calculados para los primeros 10 cm con los datos disponibles en la densa red de parcelas del Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES) y del estudio de la relación entre el contenido de COS entre ese primer horizonte y el horizonte hasta los 30 cm.

La mayoría de los trabajos consultados sobre la distribución en profundidad del carbono orgánico del suelo analizan la relación del COS entre los horizontes superficiales (hasta 20 o 30 cm), y los horizontes subsuperficiales o subsuelo, es decir, entre el contenido de los primeros 20-30 cm y el contenido hasta 1 m, o entre el primer metro y el segundo metro, incluso el tercero. Es decir, salvo a escala local, no se han encontrado estudios a escala nacional o internacional que se centren en la distribución vertical en los primeros 30 cm del suelo. En este contexto se considera que los resultados de este trabajo contribuyen a incrementar el conocimiento de la distribución del carbono orgánico en los primeros horizontes del suelo (30 cm), donde reside en su mayor parte la fertilidad de las tierras. Los principales resultados se resumen a continuación.

El análisis estadístico de las dobles muestras recogidas en los 800 puntos de muestreo distribuidos por todo el territorio nacional indica que los valores medios de las variables en estudio son:

- Porcentaje de la concentración de carbono orgánico en la tierra fina (%C) en el horizonte de 10 a 30 cm con respecto al de los primeros 10 cm ( $C_{2/1}$ ): 69 %.

<sup>28</sup> Puesto que estos trabajos no incluyen información para las Islas Canarias, no ha sido posible hacer este contraste para el caso del archipiélago.

- Porcentaje del contenido de carbono orgánico en el suelo (COS) en el horizonte de 10 a 30 cm respecto al de los primeros 10 cm ( $COS_{2/1}$ ): 144 %.

Para facilitar la comparación con los estudios consultados sobre la distribución vertical del COS, se calculó también el porcentaje de COS en la capa superficial de 0 a 10 cm respecto al total de COS acumulado de 0 a 30 cm, cuyo promedio para el conjunto nacional ha resultado ser el 44 %, es decir, en los primeros 10 cm se acumula cerca de la mitad del contenido de COS del total de los primeros 30 cm.

Los valores obtenidos para las categorías principales de **usos del suelo** muestran que existe una clara diferencia entre los usos forestales y los cultivos en el sentido de una disminución más rápida del contenido de carbono orgánico con la profundidad en los terrenos forestales, siendo más marcada dicha diferencia en el %C que en el COS. La variable  $C_{2/1}$  es del 61 % para formaciones arboladas, del 67 % para las desarboladas y del 78 % para las tierras de cultivo. En el caso del COS, el porcentaje en los primeros 10 cm respecto al total a 30 cm es muy similar en formaciones forestales arboladas (46 %) y desarboladas (47 %) e inferior para los cultivos (40 %).

El análisis realizado teniendo en cuenta una mayor desagregación por usos del suelo o tipos de vegetación muestra que:

- La composición específica de las masas forestales no parece afectar a la distribución del carbono en el suelo, ya que los resultados obtenidos para frondosas y coníferas son muy parecidos (61 % y 60 % respectivamente).
- En las formaciones arboladas menos densas la velocidad de disminución según la profundidad resulta ser algo menor que en las más densas, lo que apunta a cierta influencia de la densidad del arbolado en la distribución vertical del % C, no apreciándose esta diferencia en el caso de COS.
- Se observa mayor acumulación de carbono en los primeros 10 cm del suelo en los pastizales que en los matorrales, confirmando el patrón obtenido a nivel global en Jobbágy & Jackson (2000) en cuanto a una menor velocidad de disminución de C en matorrales que en pastizales.
- El promedio de % C y de COS en el segundo horizonte es algo mayor en los cultivos herbáceos que en los leñosos, así como la similitud del valor medio de la variable  $C_{2/1}$  entre las formaciones de matorral con arbolado disperso y los cultivos leñosos, confirma la influencia de la estructura de la vegetación recogida en los estudios consultados sobre distribución vertical de carbono.
- El aporte adicional de agua no parece influir en la distribución vertical del carbono ya que no se han obtenido diferencias entre los cultivos de regadío y de secano, ya sean herbáceos o leñosos.

En cualquier caso, debe hacerse notar que las diferencias en la distribución vertical del carbono en los primeros 30 cm del suelo encontradas en este trabajo entre los distintos usos son de escasa magnitud en general, menores que las encontradas en la bibliografía cuando se comparan los contenidos de carbono de los horizontes superficiales con horizontes más profundos (en torno a 1 m). Lo que sí se ha constatado es que los patrones de dicha distribución entre los distintos tipos de vegetación, sobre todo en lo que se refiere a la influencia de la estructura de la vegetación, coinciden con los obtenidos en dichos estudios.

Del análisis de los valores medios en las cinco grandes **regiones climáticas** representadas en la muestra se concluye que la mayor velocidad de disminución de la concentración de carbono (%C) según la profundidad se produce en la región atlántica, seguida de las regiones continental y montana, de la región mediterránea y, por último, de la región árida, si bien el escaso número de muestras en este clima condiciona su valor medio. De nuevo debe advertirse que las diferencias en torno a la media nacional por tipo de clima son muy pequeñas, lo que es coherente con las conclusiones obtenidas en los estudios consultados sobre la poca influencia del clima en la

distribución del carbono en los horizontes superiores del suelo. En el caso de la variable  $COS_{2/1}$ , estas diferencias entre las grandes regiones climáticas son todavía menos apreciables, de forma que el valor promedio de contenido de carbono en los primeros 10 cm respecto al total de los 30 cm resulta ser prácticamente el mismo en las distintas regiones climáticas.

Del análisis combinando usos y clima se observa que para cada uso principal del suelo no se aprecian apenas diferencias entre los valores medios de  $C_{2/1}$  en función del clima, lo que corrobora la conclusión de que en la distribución vertical del % C en los primeros 30 cm influye bastante más el tipo de vegetación que el clima. Los valores promedio según clima y clases de vegetación desagregadas muestra algunas diferencias, como que la menor velocidad de disminución de % C en las formaciones arbustivas es más marcada que en los pastizales en climas fríos, o que hay mayor acumulación de carbono en el horizonte superficial en los bosques densos de los climas más fríos y húmedos.

Del análisis del grado de dependencia entre la variable de distribución vertical y las variables explicativas (vegetación, clima y variables topográficas), a partir de modelos de regresión lineal simple, se han obtenido valores del coeficiente de correlación de Pearson ( $R^2$ ) extremadamente bajos en todos los casos (algo muy habitual en los estudios de suelos, por la variabilidad intrínseca de las propiedades de los suelos), especialmente para las variables explicativas relacionadas con el clima y la fisiografía. Estos resultados eran esperables tras las conclusiones obtenidas del análisis de los valores promedio de  $C_{2/1}$  y  $COS_{2/1}$  en función de estas variables, que mostraban como se ha dicho, escasas diferencias.

En definitiva, aun cuando del estudio de las medias se observan ciertas diferencias en el comportamiento de las variables objeto de estudio en función de variables explicativas relacionadas con el uso del suelo, la estructura de la vegetación y, en menor medida, con los tipos de clima (coherentes con el conocimiento científico existente sobre la distribución del carbono en profundidad), estas relaciones no son estadísticamente significativas de acuerdo con el análisis de regresión. Del análisis de la varianza realizado con el método no paramétrico Kruskal-Wallis, utilizando como factor la clasificación de principales usos del suelo y de clima, y con el test de comparación *post-hoc* de Tukey, se concluye que hay diferencias estadísticamente significativas entre la distribución vertical del COS en el grupo formado por los usos forestales en los climas continental y mediterráneo y matorrales atlánticos y el grupo de los cultivos (a excepción de los cultivos atlánticos, por otra parte muy poco representados).

Además de los resultados sobre la distribución vertical del carbono en el suelo, este trabajo ha supuesto una oportunidad para profundizar en el **análisis de las relaciones entre el contenido de COS según la vegetación, clima y otras variables**. De los análisis, realizados tanto sobre el conjunto de datos de las más de 22.500 parcelas del INES, cuya profundidad es de 10 cm, como sobre los 800 puntos de muestreo de este estudio, cuyas profundidades son 0-10 y a 10-30 cm, se concluye que los resultados obtenidos son coherentes con otros estudios y análisis previos, tanto en cuanto a los patrones en función de uso del suelo y clima, como en la distribución geográfica en el conjunto del país, así tenemos que:

- Los suelos con mayor valor medio de % de C30 y de COS30 son los de las formaciones forestales arboladas, si bien con escasa diferencia respecto a los matorrales / pastizales.
- En los suelos agrícolas el valor medio del % de C30 es del orden de un tercio del de los suelos forestales. Sin embargo, el contenido de COS30 resulta ser ligeramente superior a la mitad del de los suelos forestales. Esta diferencia se explica por los valores medios de pedregosidad en los 30 primeros cm del suelo, que son bastante mayores en los suelos forestales que en los suelos agrícolas.
- En las formaciones forestales arboladas se observa una disminución tanto de % C como de COS según disminuye la fracción de cabida cubierta (Fcc) del arbolado.



- Los suelos en las zonas de clima atlántico son los que tienen mayores valores medios de % C y de COS30, duplicando la media nacional en el caso del % C y en torno a un 85 % por encima de la media en el caso de COS30, seguidos por los de clima montano y continental.
- El patrón de contenido medio de carbono según climas (Atlántico > Montano > Continental > Mediterráneo) se repite en todos los usos del suelo.
- El patrón de contenido de carbono según usos del suelo (Forestal arbolado > Forestal desarbolado > Agrícola) es el mismo en las tres principales regiones climáticas: mediterránea, continental y atlántica. En el caso de la región de clima montano, son las parcelas en el uso forestal desarbolado las que tienen mayor valor medio, tanto de % C como de COS.
- En conjunto, las formaciones arboladas de climas atlántico y montano son las que tienen los mayores valores medios de contenido de carbono en el suelo con poca diferencia con matorrales y pastos.
- Las parcelas sobre cultivo agrícola en clima mediterráneo son las que tienen menor contenido de carbono, en este caso con muy poca diferencia con las de clima continental.

Por último, se hace notar que como resultado de esta iniciativa puesta en marcha por el MITECO, se cuenta con un nuevo conjunto de datos de 800 muestras coetáneas, distribuidas sistemáticamente en el territorio, analizadas de forma homogénea y para todo tipo de usos y tipos de vegetación, que incrementan el acervo de datos sobre el suelo en España. Esta información, alfanumérica y cartográfica, se pone a disposición de la comunidad científica, de los gestores de la tierra y de los encargados de las políticas para la lucha contra la degradación de las tierras y el cambio climático, para su consideración y explotación.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Allué Andrade, J.L. (1990). Atlas fitoclimático de España: Taxonomías. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Disponible en línea: [https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informaciondisponible/mapa\\_subregiones\\_fitoclim\\_descargas.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informaciondisponible/mapa_subregiones_fitoclim_descargas.aspx)

Artetxe Arrien, A., del Hierro Cerezo, O., Pinto Tobalina, M., Gartzia Bengoetxea, N., Arias González, A. (2014). *Sumideros de carbono de la comunidad autónoma del País Vasco. Capacidad de secuestro y medidas para su promoción*. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.3379.9367>

Álvaro-Fuentes, J., López, M. V., Arrúe, J. L., Moret-Fernández, D., & Paustian, K. (2009). *Tillage and cropping effects on soil organic carbon in Mediterranean semiarid agroecosystems: testing the Century model*. *Agriculture, ecosystems & environment*, 134(3-4), 211-217. <https://doi.org/10.1016%2Fj.agee.2009.07.001>

Álvaro-Fuentes, J., Easter, M., Cantero-Martínez, C., & Paustian, K. (2011). *Modelling soil organic carbon stocks and their changes in the northeast of Spain*. *European Journal of Soil Science*, 62(5), 685-695. <https://doi.org/10.1111%2Fj.1365-2389.2011.01390.x>

Armas, D., Guevara, M., Alcaraz-Segura, D., Vargas, R., Soriano, M.A., Durante, P., Oyonarte, C. (2017). *Mapa digital del perfil del carbono orgánico en los suelos de Andalucía, España*. *Ecosistemas* 26(3):80-88. <http://dx.doi.org/10.7818/ECOS.2017.26-3.10>

- Calvo de Anta, R. M., Luís, E., Matilla, N., Casás, F., Macías, F., Camps, M., Vázquez, N., Galiñanes, J.M. (2014). *Mapa digital de carbono en suelos del norte de España (Galicia y Cornisa Cantábrica)*. VI Congreso Ibérico de la Ciencia del Suelo. Retos y oportunidades en la Ciencia del Suelo, 65-68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114365>
- De Brogniez, D., Ballabio, C., Stevens, A., Jones, R.J.A., Montanarella L., van Wesemael, B. (2015). *A map of the topsoil organic carbon content of Europe generated by a generalized additive model*. *European Journal of Soil Science* 66, 121–134. <https://doi.org/10.1111/ejss.12193>
- Doblas-Miranda, E., Rovira, P., Brotons, L., Martínez-Vilalta, J., Retana, J., Pla, M., Vayreda, J. (2013). *Soil carbon stocks and their variability across the forests, shrublands and grasslands of peninsular Spain*. *Biogeosciences Discussions* 10,10913-10936. <http://dx.doi.org/10.5194/bgd-10-10913-2013>
- FAO. (2017). *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Roma, Italia.
- FAO and ITPS. (2018). *Global Soil Organic Carbon Map (GSOCmap) Technical Report*. Rome.162 pp.
- FAO. (2018). *Soil Organic Carbon Mapping Cookbook*. Yigini, Y., Olmedo, G.F., Reiter, S., Baritz, R., Viatkin, K., Vargas, R.R. (Eds). 2nd edition. Roma.
- González, P., Ruiz, P., Astirraga, J., Cruz, V., Moreno, D., Herrero, A., Gosálbez, J., de Zavala, M.A. (2020). *Los bosques españoles como soluciones naturales frente al cambio climático: herramientas de análisis y modelización*. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.
- Heng, T. (2009). *A Practical Guide to Geostatistical Mapping. Vol. 52*, University of Amsterdam, Amsterdam.
- Hengl, T., Heuvelink, G., Rossiter, D.G. (2007). *About regression-kriging: From equations to case studies*. *Computers & Geosciences* 33(10):1301-1315. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2007.05.001>
- Hiederer, R. (2009). *Distribution of Organic Carbon in Soil Profile Data*. EUR 23980 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 126 pp.
- Hontoria, C., Murillo, J.C., Saa, A. (2004). *Contenido de carbono orgánico en el suelo y factores de control en la España Peninsular*. *Edafología*, Vol. 11(2), pp 149-157.
- IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds). Published: IGES, Japón.
- Jobbágy, E. G., Jackson R. B. (2000). *The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation*. *Ecological Applications*, 10 (2), pp 423–436.
- Lal, R. (2008). *Sequestration of atmospheric CO<sub>2</sub> in global carbon pools*. *Energy & Environmental Science*, 1 (1): 86-100. <http://dx.doi.org/10.1039/B809492F>
- Lugato, E., Panagos, P., Bampa, F., Jones, A., Montanarella, L. (2014). *A new baseline of organic carbon stock in European agricultural soils using a modelling approach*. *Global Change Biology*. 20(1):313-26. <https://doi.org/10.1111/gcb.12292>

MAGRAMA. *Inventario Nacional de Erosión Suelos 2002-2012. Publicaciones provinciales.*

MAGRAMA, 2014. *Inventario General de Gases de Efecto Invernadero de España 1990-2012 (GEI 1990-2012).*

MAGRAMA, 2015. *Inventario General de Gases de Efecto Invernadero de España 1990-2013 (GEI 1990-2013).*

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 Discuss. 4, pp 1095–1128. <http://dx.doi.org/10.5194/se-3-375-2012>

Paz, F., Etchevers, J. (2016). *Distribución a profundidad del carbono orgánico en los suelos de México*. Revista Terra Latinoamericana. 34: 339-355.

Rodríguez-Lado, L., Martínez-Cortizas, A. (2015). *Modelling and mapping organic carbon content of topsoils in an Atlantic area of southwestern Europe (Galicia, NW-Spain)*. Geoderma, 245-246: 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.01.015>

Rodríguez Martín, J. A., Álvaro-Fuentes, J., Gonzalo, J., Gil, C., Ramos-Miras, J. J., Grau, J. M., Boluda, R. (2016). *Assessment of the soil organic carbon stock in Spain*. Geoderma, 264, 117-125. <https://doi.org/10.1016%2Fj.geoderma.2015.10.010>

Rovira, P., Romanyà, J., Rubio, A., Roca, N., Alloza, J.A., Vallejo, R. (2007). *Estimación del carbono orgánico en los suelos peninsulares españoles*.

## AGRADECIMIENTOS

La campaña de campo para la recogida de toma de muestras de suelo ha sido la piedra angular en la que se ha sustentado este trabajo. Durante algo más de un año (entre julio de 2019 y septiembre de 2020), dos equipos han recorrido toda la geografía española de punta a punta, recogiendo las muestras y caracterizando las parcelas con un cuidado y rigor excepcionales. El trabajo, ya duro y sacrificado de por sí, se complicó con la pandemia y el post-confinamiento, con toda la hostelería cerrada y los pueblos vacíos... Por todo ello, los responsables de este proyecto quieren agradecer a los jefes de equipo (Elena Verdú Esteban y José Alberto Herrero Pastor) y a los ayudantes de campo (Fernando Mafé Huertas, Jesús Jiménez Hervás y Pablo Fernández Roldán) su buen hacer, su magnífico temple y el excelente ánimo con el que han ejecutado sus tareas.

Asimismo, ha sido también fundamental la colaboración de los técnicos responsables del Inventario Nacional de Erosión de Suelos de la Subdirección General de Política Forestal y Lucha contra la Desertificación y de Tragsatec, sin cuya disponibilidad y orientación este trabajo hubiera sido mucho más complicado, por no decir imposible.

El apoyo de los servicios provinciales forestales y de agricultura, y su guardería ha sido fundamental. Han facilitado la labor tramitando permisos, facilitando accesos y dando siempre facilidades, además de mostrar un sincero interés por el trabajo y sus resultados.

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.	Definiciones adoptadas sobre las categorías generales de usos de la tierra (Extracto de la Tabla 6.1.3. GEI 1990-2019).....	7
Tabla 2.	Usos y subusos contemplados en UNFCCC .....	8
Tabla 3.	Agrupación de las clases de vegetación utilizadas en el INES .....	8
Tabla 4.	Campos de información incluidos en la base de datos de parcelas del INES .....	9
Tabla 5.	Correspondencia de código Allué y Orden con Región Climática .....	11
Tabla 6.	Ejemplos de valores de contenido de COS para España. Fuente: Elaboración propia a partir de la bibliografía consultada.....	13
Tabla 7.	Distribución proporcional de COS según Jobbágy & Jackson (2000).....	15
Tabla 8.	Distribución proporcional de COS según Hiederer (2009) y Jobbágy & Jackson (2000) .....	15
Tabla 9.	Distribución proporcional de COS según Muñoz-Rojas (2012).....	16
Tabla 10.	Caracterización de los estratos y los estadísticos de COS10 en las parcelas del INES.....	20
Tabla 11.	Resultados obtenidos en función de la fijación y tipo de estratos.....	20
Tabla 12.	Número de parcelas en cada tipo de malla .....	20
Tabla 13.	Procedimientos utilizados en los análisis de las muestras en laboratorio.....	28
Tabla 14.	Conjunto de datos analizados .....	30
Tabla 15.	Relación de variables consideradas .....	30
Tabla 16.	Estadísticos de porcentaje de carbono orgánico (%C) a 10 cm en las parcelas INES .....	33
Tabla 17.	Distribución de los valores % C a 10 cm según el uso y subcategoría de uso del suelo en las parcelas INES .....	33
Tabla 18.	Distribución de los valores % C a 10 cm según el clima en las parcelas INES .....	35
Tabla 19.	Resultados de los modelos de regresión para el % C .....	38
Tabla 20.	Resultados de los modelos de regresión para las distintas combinaciones.....	39
Tabla 21.	Comparación de resultados nacionales .....	40
Tabla 22.	Comparación de resultados por usos UNFCCC .....	41
Tabla 23.	Comparación de resultados por Región climática .....	42
Tabla 24.	Comparación de resultados por usos UNFCCC y Región climática.....	42
Tabla 25.	Estadísticos obtenidos para % C y COS a 30 cm según usos de suelo UNFCCC .....	46
Tabla 26.	Estadísticos obtenidos para % C y COS a 30 cm según subcategorías UNFCCC .....	48
Tabla 27.	Estadísticos obtenidos para % C y COS a 30 cm según vegetación del INES agrupada .....	48
Tabla 28.	% C y COS a 30 cm según código Allué y orden con región climática .....	51
Tabla 29.	% C, COS, DA y EG a 30 cm según uso y clima.....	52
Tabla 30.	% C, COS, DA y EG a 30 cm según Región climática y vegetación INES agrupada .....	54
Tabla 31.	Comparativa con los valores de la mediana por uso y clima utilizados en el Informe GEI .....	56
Tabla 32.	Comparativa con estudios de contenido de carbono (COS) en el suelo para España .....	57
Tabla 33.	Comparativa con valores obtenidos para los parámetros de cálculo del COS en otros estudios...	58
Tabla 34.	Estadísticos obtenidos para $C_{2/1}$ y $COS_{2/1}$ según uso UNFCCC .....	65
Tabla 35.	Distribución vertical de carbono según subusos UNFCCC .....	68
Tabla 36.	Distribución vertical de carbono según vegetación agrupada del INES .....	69
Tabla 37.	Estadísticos obtenidos para $C_{2/1}$ y $COS_{2/1}$ según regiones climáticas .....	77
Tabla 38.	Promedio de $C_{2/1}$ , $COS_{2/1}$ y $COS_{10/30}$ según tipos fitoclimáticos de Allué .....	78
Tabla 39.	Promedio de $C_{2/1}$ y $COS_{2/1}$ según usos del suelo y regiones climáticas.....	80
Tabla 40.	Resultados obtenidos para el promedio de $C_{2/1}$ , $COS_{10-30}$ según región climática y tipo de vegetación agrupada del INES.....	81
Tabla 41.	Estadísticos obtenidos para $DA_{2/1}$ y $EG_{2/1}$ según tipo de vegetación agrupada del INES.....	85
Tabla 42.	Estadísticos obtenidos para $DA_{2/1}$ y $EG_{2/1}$ según regiones climáticas.....	86
Tabla 43.	Resultados del análisis de regresión de las variables $C_{2/1}$ y $COS_{2/1}$ .....	87
Tabla 44.	Resultados del análisis de regresión de los valores de COS10 en las parcelas del INES .....	87

Tabla 45. Resultados del test de comparación post-hoc de Tukey según usos del suelo y regiones climáticas.	88
Tabla 46. Resultados del test de comparación post-hoc de Tukey según usos del suelo y regiones climáticas ordenados por grupos .....	89
Tabla 47. Estadísticos de calidad obtenidos de los resultados obtenidos de la interpolación para $C_{2/1}$ y $COS_{2/1}$ utilizando el modelo de Kriging.....	90
Tabla 48. Estadísticos de calidad obtenidos de los resultados obtenidos de la interpolación para $C_{2/1}$ y $COS_{2/1}$ utilizando el modelo de Kriging.....	91

## LISTADO DE FOTOS

Foto 1. Delimitación de la superficie para toma de datos y recogida de muestras. ....	23
Foto 2. Retirada de restos vegetales del horizonte superficial para apertura de calicata.....	23
Foto 3. Momento en el que el equipo se dispone a tomar las muestras (izquierda). En ocasiones la densidad y altura de vegetación dificultan la preparación del terreno para la toma de muestras. ....	23
Foto 4. Detalle de apertura de perfil completo (0-30 cm) para la toma de datos previo a la toma de muestras.....	25
Foto 5. Detalle del prisma superior para la toma de muestra de 0-10 cm (a la izquierda). A la derecha se muestra detalle del prisma inferior para toma de muestra 10-30 cm. ....	25
Foto 6. Perfil completo, prisma superior (0-10 cm) y prisma inferior (10-30 cm) para toma de muestras en parcela prácticamente sin pedregosidad , situación poco habitual.....	25
Foto 7. La abundancia de pedregosidad a lo largo del perfil dificulta la realización de los prismas de recogida de muestras. ....	25
Foto 8. Las muestras han sido recogidas en un proceso minucioso para evitar la mezcla entre los dos horizontes, recogiendo y pesando ambas muestras por separado. ....	26
Foto 9. Una vez tomada las muestras de suelo, se identifica la pedregosidad de las muestras, se retira de las mismas y se anotan datos de humedad, textura y estructura de las dos muestras tomadas, así como el resto de datos de los perfiles 0-10 cm y 10-30 cm.....	26
Foto 10. Las muestras se etiquetan y se envían a laboratorio para su correspondiente análisis. ....	26
Foto 11. Colocación de rejón metálico para localización futura de la parcela. Adicionalmente al rejón metálico, se señala con pintura un lugar visible sobre el terreno y fácilmente identificable para facilitar la localización futura de la parcela, desde donde se referencia el punto de muestreo. ....	27
Foto 12. Resultado de analítica del laboratorio de las dos muestras tomadas en campo en cada parcela...	29
Foto 13. Ejemplo de perfil que refleja la media nacional tanto de % de $C_{2/1}$ como de % de $COS_{2/1}$ (Parcela 347-Tipo CL, en Cantabria). ....	64
Foto 14. En este ejemplo se observa que tanto el % C COMO EL % $COS_{2/1}$ son bastante superiores en el estrato inferior, superando claramente tanto % $C_{2/1}$ como % $COS_{1030_{2/1}}$ la media nacional (Parcela 109-Tipo GL, en Pontevedra).....	64
Foto 15. Ejemplo de perfil con mayor proporción de % C y COS en el perfil superior, estando tanto el % $C_{2/1}$ como % de $COS_{2/1}$ claramente por debajo de la media nacional (Parcela 125-Tipo FL, en Cantabria). ....	65
Foto 16. Ejemplo en el que se observa una menor disminución en profundidad tanto de % C como de COS en parcelas FL que en parcelas CL. El ejemplo muestra los datos de las parcelas 1 (FI) y 15 (CI), ambas en A Coruña. ....	67
Foto 17. No existen grandes diferencias entre cultivos leñosos (CLp) y herbáceas (CLa) tanto en distribución de % C como de COS. En el ejemplo se presentan los datos de las parcelas 655 (CLp) y 656 (CLa), ambas en la provincia de Toledo. ....	72
Foto 18. La velocidad de disminución del % C según la profundidad resulta ser algo menor en las masas arboladas más densas. En el ejemplo se presentan los datos de las parcelas 167, con una Fcc arbórea del 100 % y la parcela 502, con una Fcc arbórea del 25 %. ....	73

Foto 19. El contenido de % de C en el horizonte 2 en parcelas desarboladas de matorral es ligeramente superior al que presentan las parcelas desarboladas herbáceas. En este ejemplo se muestran los datos de las parcelas 462 (matorral) y 501 (herbazal).....	74
---	----

## LISTADO DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Media, mediana y desviación estándar de los valores de COS10 en las parcelas del INES según Uso UNFCCC y fitoclimas.....	18
Gráfico 2. Contenido de COS10 en las parcelas del INES según subregiones climáticas. ....	19
Gráfico 3. % C en función de las variables explicativas relacionadas con la vegetación. ....	34
Gráfico 4. % C en función de las variables explicativas relacionadas con el clima. ....	36
Gráfico 5. % C en función de otras variables topográficas y edáficas. ....	37
Gráfico 6. Distribución del % C y COS en los 10 primeros cm del suelo.....	40
Gráfico 7. % C y COS en función del uso de suelo.....	41
Gráfico 8. Distribución de % C y de COS a 30 cm según usos UNFCCC. ....	45
Gráfico 9. Distribución de % C y de COS a 30 cm según subcategorías UNFCCC. ....	47
Gráfico 10. Distribución de % C y del COS a 30 cm según vegetación del INES agrupada. ....	49
Gráfico 11. Distribución de DA y EG a 30 cm según vegetación del INES agrupada. ....	49
Gráfico 12. Distribución de % C a 30 cm según tipos fitoclimáticos (Allué), ordenados de mayor a menor. .	51
Gráfico 13. Distribución de COS a 30 cm según uso y clima.....	53
Gráfico 14. Distribución de % C y de COS a 30 cm según Uso UNFCCC y Región climática.....	53
Gráfico 15. Distribución de % C y de COS a 30 cm según Región climática y Uso UNFCCC.....	53
Gráfico 16. Distribución de % C y de COS a 30 cm según Región climática y vegetación INES agrupada. .	55
Gráfico 17. Curvas de densidad de las variables $C_{2/1}$ (izquierda) y $COS_{2/1}$ (derecha).....	61
Gráfico 18. Comparativa de valores obtenidos para %C en los dos horizontes y el total a 30 cm según uso UNFCCC. ....	66
Gráfico 19. Promedio de % C 10-30 cm respecto a % C 0-10 cm según vegetación INES agrupada.....	68
Gráfico 20. Promedio de % COS 10-30 cm respecto a % C 0-10 cm.....	69
Gráfico 21. $C_{2/1}$ según agrupación de la vegetación INES. ....	70
Gráfico 22. $COS_{2/1}$ según agrupación de la vegetación INES. ....	70
Gráfico 23. Promedio de % C 10-30 cm respecto a % C 0-10 cm según vegetación agrupada del INES. ...	71
Gráfico 24. Promedio de % COS 10-30 cm respecto a % C 0-10 cm según vegetación agrupada del INES. ....	71
Gráfico 25. Diagrama de dispersión en función de la temperatura media anual A la izquierda % C 10-30 respecto a % C 0-10 ( $C_{2/1}$ ) y a la derecha $COS_{10-30}$ respecto a $COS_{0-10}$ ( $COS_{2/1}$ ) en las 800 parcelas COS1030. ....	76
Gráfico 26. Diagrama de dispersión en función de la precipitación media anual. A la izquierda % C 10-30 respecto a % C 0-10 ( $C_{2/1}$ ) y a la derecha $COS_{10-30}$ respecto a $COS_{0-10}$ ( $COS_{2/1}$ ) en las 800 parcelas COS1030. ....	76
Gráfico 27. Promedio % de $C_{2/1}$ y $COS_{2/1}$ según regiones climáticas. ....	77
Gráfico 28. Gráficos de caja y bigotes en función de Tipos fitoclimáticos de Allué. Arriba del % C 10-30 respecto a % C 0-10 ( $C_{2/1}$ ) y abajo del $COS_{10-30}$ respecto a $COS_{0-10}$ ( $COS_{2/1}$ ) en las 800 parcelas COS1030. Los colores representan la Región climática.....	79
Gráfico 29. Promedio de $C_{2/1}$ , $COS_{2/1}$ y $COS_{10-30}$ según región climática y tipo de vegetación agrupada del INES. ....	81
Gráfico 30. Promedio de % $C_{2/1}$ según región climática y tipo de vegetación agrupada del INES.....	83
Gráfico 31. Promedio de $COS_{10-30}$ según región climática y tipo de vegetación agrupada del INES.....	84
Gráfico 32. Promedio de $DA_{2/1}$ según tipo de vegetación agrupada del INES. ....	85
Gráfico 33. Promedio de $EG_{2/1}$ según tipo de vegetación agrupada del INES. ....	86
Gráfico 34. Promedio de $DA_{2/1}$ y $EG_{2/1}$ según regiones climáticas.....	86

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Distribución vertical del COS en función del tipo de vegetación. Fuente: Jobbágy & Jackson (2000).....	14
Figura 2. Mapa de fitoclimas de Allué.....	21
Figura 3. Regionalización resultante de la agrupación de estratos.....	21
Figura 4. Mapa de distribución teórica de parcelas según el diseño del muestreo.....	22
Figura 5. Proceso de recogida de muestras.....	24
Figura 6. Árbol de decisión para la elección de un modelo espacial de predicción para generar mapas de COS. Fuente: Soil Organic Carbon Mapping Cookbook. 2nd edition (FAO, 2018).....	31
Figura 7. Histograma del % C a 10 cm en las 22.545 parcelas del INES.....	33
Figura 8. Distribución de residuos del ajuste de regresión del % C a 10 cm en las parcelas del INES. ....	39
Figura 9. Mapa de distribución del contenido de COS30.....	43
Figura 10. Mapa de distribución del % COS30.....	44
Figura 11. Mapa de distribución de la DA.....	44
Figura 12. Mapa de distribución de % EG.....	45
Figura 13. Mapa de fitoclimas de Allué y de usos del suelo.....	50
Figura 14. Recopilación de mapas de distribución de COS a 30 cm encontrados en la bibliografía.....	60
Figura 15. Mapa de distribución de % C (M2 respecto a M1).....	62
Figura 16. Mapa de distribución de DA (M2 respecto a M1).....	62
Figura 17. Mapa de distribución de EG (M2 respecto a M1).....	63
Figura 18. Mapa de distribución de COS (M2 respecto a M1).....	63
Figura 19. Variable % $C_{2/1}$ , factor USO_CLIM.....	89
Figura 20. Mapa de distribución de los resultados obtenidos de la interpolación para $C_{2/1}$ y $COS_{2/1}$ utilizando el modelo de Kriging.....	89
Figura 21. Mapa de distribución de los resultados obtenidos de la interpolación para C10A y COS10A utilizando el modelo de Kriging.....	91
Figura 22. Mapa de COS a 10 cm obtenido por interpolación a partir de los valores en las parcelas del INES (COS10A).....	91
Figura 23. Mapas de los resultados obtenidos de la interpolación del % C en los dos horizontes y en el total a 30 cm.....	92
Figura 24. Mapa de distribución de los resultados de la interpolación de COS30A para las Islas Canarias. .	93
Figura 25. Mapa de los resultados obtenidos de la interpolación del %C para las Islas Canarias.....	93
Figura 26. Mapa de los resultados obtenidos de la interpolación de COS30 para las Islas Canarias.....	94

## LISTADO DE ACRÓNIMOS

**AMS** - Alianza Mundial por el suelo

**C** - Contenido de carbono, en tanto por uno

**C10A** - % carbono medido a 10 cm obtenido en las parcelas del INES

**C10B** - % carbono medido a 10 cm obtenido en las parcelas COS1030

**$C_{2/1}$**  - % C 10-30 respecto a % C 0-10

**CMNUCC/UNFCCC** - Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

**CNULD** - Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación

**COS** - Carbono orgánico del suelo

**COS10** - Carbono medido en los primeros 10 cm del suelo

**COS1030** - Parcelas donde se recogen dos muestras, una hasta 10 cm de profundidad y otra entre 10 y 30 cm

**COS10/30** - Porcentaje de COS en la capa superficial de 0 a 10 cm respecto al total de COS acumulado de 0 a 30 cm

**COS10A** - COS medido a 10 cm obtenido en las parcelas del INES

- COS10B** - COS medido a 10 cm obtenido en las parcelas COS1030
- COS<sub>2/1</sub>** - COS 10-30 respecto a COS 0-10
- COS30** - Carbono medido en los primeros 30 cm del suelo
- CREAF** - Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales
- DA** - Densidad aparente
- EG** - Elementos gruesos
- Fcc** - Fracción de cabida cubierta
- FEADER** - Fondo Europeo Agrario de Desarrollo Rural
- FEGA** - Fondo Español de Garantía Agraria
- GEI** - Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de España
- GTIS** - Grupo Técnico Intergubernamental de Suelos
- ICC** - Indicadores Comunes de Contexto
- IFN** - Inventario Forestal Nacional
- INES** - Inventario Nacional de Erosión de suelos
- INIA** - Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria
- LULUCF** - Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura, por sus siglas en inglés
- MAPA** - Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
- MDT** - Modelo Digital del Terreno
- MFE** - Mapa Forestal Español
- MITECO** - Ministerio para la transición Ecológica y el Reto Demográfico
- NDT** - Neutralidad en la Degradación de la Tierra
- RUSLE** - en inglés, "Revised universal Soil Loss Equation"
- SGPFLD** - Subdirección General de Política Forestal y Lucha contra la Desertificación
- SIGA** - Sistema de Información Geográfica de Datos Agrarios
- SIGPAC** - Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas