



**PROCEDIMIENTO Y METODOLOGÍA CIENTÍFICA DEL
PROGRAMA DE ACREDITACIÓN DE CARBONO DE BOSQUES**



5 - DICIEMBRE – 2.024



INDICE

INTRODUCCIÓN	1-3
1. EL CICLO DEL CARBONO EN EL BOSQUE	4-14
2. CARACTERÍSTICAS DEL INVENTARIO	14-23
2.1. ESTRATIFICACIÓN DE LA MASA	14-15
2.2. RODALIZACIÓN	15-17
2.3. DISEÑO DEL INVENTARIO	17-23
3. INTRODUCCIÓN DE DATOS, MODELOS Y FÓRMULA.....	24-27
3.1. OBTENCIÓN DE ESTADÍSTICOS	24
3.2. OBTENCIÓN DE MODELOS DE REGRESIÓN	24-25
3.3. FÓRMULAS UTILIZADAS	25-27
4. FUENTES DE ORIGEN DE LA METODOLOGÍA CIENTÍFICA DE BOSQUES BIODIVERSOS, SL	28-34
5. CÁLCULO DEL CO₂ Y RESULTADOS	34-38
5.1. CÁLCULO DEL CO ₂ ACUMULADO	34-35
5.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	35-38
ANEXOS Nº 1, 2 Y 3	39-44



INTRODUCCIÓN.

La mercantil “**BOSQUES BIODIVERSOS, SL**” tiene como objeto principal la promoción de proyectos de absorción natural de carbono a través de los bosques, tanto de los existentes como los de nueva creación.

Para nuestra Compañía, un bosque es mucho más que la definición internacionalmente aceptada por los organismos internacionales como Eurostat, utilizando el criterio creado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), que define el bosque como “*una tierra cubierta de copas de árboles superior al 10% (o a una densidad de población equivalente) y una superficie superior a 0,5 Has. Los árboles deben alcanzar en su madurez una altura mínima de 5 metros in situ*”.

El bosque no solo es un conjunto de árboles que dan madera, sombra, y almacenan carbono como reservorios a través de la fotosíntesis, mantienen la fauna y flora de muchas especies, albergan la biodiversidad, conservan el capital natural, y contribuyen a mitigar el cambio climático.

Son espacios naturales que dinamizan las actividades sociales del hombre repercutiendo en su salud y bienestar, creando riqueza en las poblaciones rurales donde se ubica, fija su población y genera actividades cinegéticas.

La intención de la redacción del presente manual que forma parte del “**Programa de Acreditación del carbono en bosques por BOSQUES BIODIVERSOS, SL**” es ilustrar al lector del trabajo previo a la cuantificación del carbono del bosque, tanto del trabajo de campo, como de despacho, usando herramientas informáticas y fórmulas científicas reconocidas internacionalmente para el cálculo de la biomasa seca de los árboles, con el objetivo de cuantificar la fijación de carbono en base a la especie forestal.



Así pues, el manual describe acompañando al texto, ilustraciones y tablas, el procedimiento que parte de una formación del inventario, diseñando los rodales que tienen una misma uniformidad, para posteriormente a través de imágenes satelitales, ortofotos y vuelos de dron con tecnología LIDAR, identificar individualmente cada uno de los pies, con coordenadas geográficas exactas, obtener los datos y poder hacer un muestreo físico en el campo, ratificando la altura del árbol con las lecturas obtenidas, midiendo el diámetro del mismo, y en base a las especies forestales y fórmulas científicamente adoptadas, cuantificar la biomasa viva, para introducir los datos estadísticos, modelos de regresión y fórmulas que determinarán el carbono finalmente fijado en el bosque inventariado a los efectos de generar derechos de carbono, establecer reservorios en caso de fuga, y a través de los compromisos y obligaciones contractuales con el propietario del bosque, generar la seguridad, tanto jurídica como científica, transparencia y trazabilidad de un “*fruto intangible*”, el derecho de carbono fijado en la madera, que se convierte a través de la normativa ambiental, en un derecho mueble, objeto de transacción económica cuyo adquirente la usará para compensar derechos de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) o como activo financiero.

Asimismo, la intención de este manual es crear una seguridad científica y jurídica de la metodología empleada por “**BOSQUES BIODIVERSOS, SL**” para lograr los objetivos de transparencia, trazabilidad, evitando el doble cómputo, cuantificando el carbono existente, sus incrementos anuales para determinar el reservorio, estableciendo en otros apartados del “**Programa de Acreditación del carbono en bosques por BOSQUES BIODIVERSOS, SL**” las garantías establecidas por el promotor de los proyectos para garantizar las fugas de carbono.

En este contexto invertir en soluciones de base natural para el secuestro de carbono es crucial para lograr la neutralidad de carbono, proporcionando simultáneamente importantes beneficios para la protección de la biodiversidad y el capital natural, para la regulación de los diferentes ciclos naturales para el diseño del paisaje y para la intervención en territorios, especialmente los más vulnerables, contribuyendo también a la adaptación al cambio climático aumentando la resiliencia del territorio.



Antes de entrar en metodología, procedimiento de toma de datos, y base científica para el cálculo del carbono, es importante conocer la función del bosque como sumidero y su ciclo de carbono, que no solo está en la **biomasa viva (Cv)** (*raíz, tronco y hojas*), sino también en el **carbono incorporado al suelo (Cs)** y la influencia que el cambio climático está aparejando en las diferentes formaciones vegetales, en la necesidad de estudiar este proceso, seleccionando en las repoblaciones las mejores variedades que se puedan enfrentar actualmente y en un futuro, a las variaciones climáticas a través de modelos predictivos basados en I.A.

Miguel Ángel Gallardo Macías

CEO



1. EL CICLO DEL CARBONO EN EL BOSQUE.

Un reservorio de carbono es un depósito o almacén de carbono que puede funcionar como fuente (liberando carbono) o como sumidero de carbono.

El concepto de sumidero, en relación con el cambio climático, fue adoptado en la *Convención Marco de Cambio Climático de 1992*. Un sumidero de gases de efecto invernadero, según la Convención es:

“Cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe o elimina de la atmósfera uno de estos gases o uno de sus precursores, o bien un aerosol y que lo almacena”

En el ámbito del Protocolo de Kioto, la definición se limita a determinadas actividades de uso del suelo, cambio de uso del suelo y selvicultura (*LULUCF* por sus siglas en inglés) (*creación de nuevos bosques, gestión forestal y gestión de tierras agrícolas entre otras*) que se traducen en una captura del CO₂ presente en la atmósfera y su almacenamiento posterior en forma de materia vegetal.

Esta captura de CO₂ contribuye a reducir la concentración de los Gases de Efecto Invernadero de la atmósfera, y por lo tanto, a mitigar el cambio climático.

El cambio climático es una de las principales amenazas para el desarrollo sostenible, y constituye un importante reto mundial que ya está causando impactos ambientales en la economía global, la salud, la biodiversidad, el medio ambiente y el bienestar humano.

Este cambio climático se produce por la creciente de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, entre los que se encuentra el CO₂.

Para luchar contra este fenómeno, se debe evitar la concentración progresiva de estos gases en la atmósfera, reduciendo las emisiones o aumentando su absorción.

Los principales instrumentos internacionales establecidos para la lucha contra este fenómeno son la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y sus protocolos, el de Kioto y el Acuerdo de París.



El artículo 4 de la Convención Marco (*adoptada en 1992, que entró en vigor en 1994*) establece que los países deben impulsar la gestión sostenible de los bosques (*que permite un aprovechamiento sostenido sin que éstos disminuyan a largo plazo*) y promover y apoyar la conservación y el reforzamiento de los “sumideros”, incluyendo la biomasa y los bosques.

El protocolo de Kioto permitió a los países firmantes que utilizaron parte de las toneladas de carbono absorbido por estos “sumideros” para facilitar el cumplimiento de los compromisos de limitación de emisiones que dichos países adquirieron al ratificar el Protocolo.

A continuación, vamos a desarrollar cuestiones elementales que permitirán entender la contribución de los bosques en la mitigación del cambio climático:

- 1º** El proceso de absorción del CO₂ por las plantas a través de la fotosíntesis.
- 2º** Su almacenamiento.
- 3º** El cálculo de las absorciones producidas por los sumideros.
- 4º** La influencia en la vegetación del cambio climático, y por ende, como puede afectarles como sumideros de carbono.

1º *El proceso de absorción del CO₂ por las plantas a través de la fotosíntesis.*

La vida en la tierra depende fundamentalmente de la energía solar, la cual es atrapada por las plantas mediante el proceso de la fotosíntesis, que es responsable de la producción de toda la materia orgánica que conocemos.

La materia orgánica está presente en los alimentos que, tanto las personas como los animales, consumimos a diario; en los combustibles fósiles (petróleo, gas natural, carbón); así como en la leña, madera, pulpa para papel, etc.

La fotosíntesis es el proceso por el que las plantas son capaces de capturar la energía de la luz del sol y convertirla en energía química y materia orgánica.



La fórmula que resume este proceso sería la siguiente:

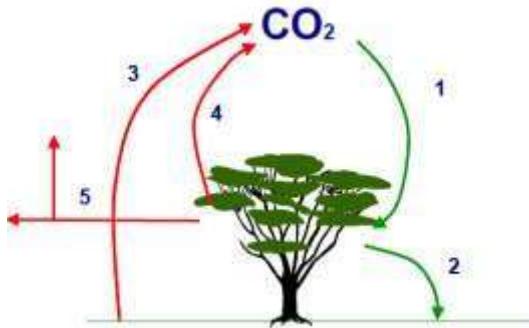


CO_2 = dióxido de carbono , H_2O =agua, (CH_2O) = hidratos de carbono (azúcares) y O_2 = oxígeno

Se trata de un proceso complejo, que se traduce en la captación del dióxido de carbono en la atmósfera y emisión de oxígeno a la atmósfera.

2º Almacenamiento.

El proceso, en el caso de ecosistemas vegetales, es el siguiente:



Donde:

1. Absorción por fotosíntesis
2. Carbono incorporado al suelo desde la vegetación, COS.
3. Pérdida de carbono del suelo (mineralización, respiración heterotrófica, etc.)
4. Emisiones por respiración autotrófica y emisiones de Compuestos orgánicos volátiles (COVs)
5. Retirada de carbono por eliminación de la vegetación (cosecha, explotación forestal, incendio, etc.)



Teniendo en cuenta la **cuestión de la permanencia**, el ciclo que sigue el carbono en los ecosistemas vegetales es el siguiente:

En el **paso 1** se produce la absorción de CO₂, que, a través de la fotosíntesis, entrará a formar parte de la planta en forma de carbono orgánico. Cuando las hojas, ramas, etc., caen al suelo, se produce el **paso 2**, incorporación del carbono al suelo desde la vegetación (COS- Carbono Orgánico del Suelo). Pero también, como parte del ciclo del carbono, se producen emisiones, es decir, pérdidas de carbono acumulado en el suelo por mineralización, actividad de los microorganismos descomponedores del suelo ... (**paso 3**) y también emisiones por la propia respiración de la vegetación (*para mantenimiento y formación de nuevos tejidos por la vegetación*) y emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (**paso 4**). Por último, la mayor fuente de emisiones de las formaciones vegetales se produce por retirada de carbono por eliminación de la vegetación (*cosecha, aprovechamiento forestal, incendio, etc*) (**paso 5**).

Si la cantidad de CO₂ absorbida por las actividades 1 y 2 **es mayor** que la cantidad de CO₂ emitida por las actividades 3, 4 y 5, la formación vegetal (ya sea *bosque, cultivo, matorral, ...*) **será un sumidero de carbono**. **Si ocurre lo contrario**, las emisiones serán mayores que las absorciones y el ecosistema **será una fuente de CO₂**.

Los **reservorios**¹ que se consideran a la hora de medir la capacidad como sumidero de un ecosistema terrestre (forestal o agrícola) son los siguientes:

¹ Los reservorios son almacenes de carbono, es decir, sistemas capaces de acumular o liberar carbono.



Reservorio		Descripción
Biomasa viva	Biomasa sobre tierra	Toda la biomasa viva sobre el suelo, incluyendo tronco, ramas, corcho, semillas, hojas y tocones.
	Biomasa bajo tierra	Toda la biomasa de las raíces vivas. Las raíces finas de menos de 2 mm de diámetro son, a menudo, excluidas por su proceso continuado de degradación-regeneración.
Materia Orgánica Muerta	Madera muerta	Toda la biomasa no viva, aparte de la hojarasca. Incluye madera sobre la superficie, raíces muertas y tocones mayores o iguales a 10 cm. de diámetro.
	Hojarasca (litter)	Incluye toda la biomasa no viva de pequeño tamaño en varios estados de descomposición, sobre el suelo mineral u orgánico.
Suelos	Materia orgánica del suelo	Incluye carbono orgánico en suelos orgánicos y minerales (incluyendo turba).

Una cuestión clave en los sumideros es la permanencia del carbono almacenado. Las cantidades de CO₂ absorbidas por un sumidero, por ejemplo, un bosque, pueden volver a la atmósfera si esa formación vegetal desaparece por cualquier circunstancia. Las causas más comunes de la disminución de los reservorios en los que se encuentra almacenado el carbono son las plagas, las enfermedades, los aprovechamientos (*extracción de madera o recogida de cosecha, por ejemplo*) y los incendios forestales. Debido a estos eventos, parte del CO₂ previamente absorbido, y almacenado como carbono en los reservorios, sería remitido a la atmósfera.

El conocimiento preciso de la dinámica del flujo neto de carbono entre el bosque y la atmósfera, o lo que es lo mismo, **la cuantificación del balance emisión-captura, es uno de los principales retos que se plantean si se quiere incorporar la fijación de carbono como un objetivo más de la gestión forestal.**

Los procesos de captura-emisión de CO₂ en un bosque constituyen un complejo sistema con **cuatro grupos generales de almacenamiento de carbono:**

- *biomasa aérea,*
- *biomasa radical,*
- *materia orgánica en descomposición y*
- *productos forestales almacenados fuera del bosque.*

Cada uno de estos stocks o reservorios tienen diferentes tiempos de residencia o vida media y diferentes rutas de incorporación como CO₂ atmosférico, lo que hace compleja su gestión a través de la selvicultura (**Montero et al., 2004**).



En definitiva, se puede afirmar que **los bosques actúan como sumideros**, ya que almacenan grandes cantidades de carbono durante periodos prolongados en sus tejidos (madera), al incrementar su biomasa anualmente debido al crecimiento, y también son fuentes de emisión debido a las pequeñas perturbaciones, como la mortalidad natural, a las grandes perturbaciones como los incendios, al desfronde y a otros procesos como la descomposición y oxidación de productos forestales.

Ordóñez y Masera (2001), para estimar la captura unitaria de carbono contenido en los diferentes almacenes del bosque, simplifican el sistema reduciéndolo a cuatro grupos a los que añaden un quinto grupo que hace referencia al carbono que se ahorraría si la biomasa de todos o alguno de los reservorios del bosque fuese utilizada como biocombustible en sustitución de otros combustibles fósiles.

Los mencionados grupos son los siguientes:

- **Carbono fijado en la vegetación (Cv):** Es el carbono contenido en la biomasa viva aérea y radical.
- **Carbono en descomposición (Cd):** Es el contenido en la materia orgánica que se encuentra en proceso de descomposición, producido por las hojas, ramas, troncos y otras fracciones de biomasa muerta y depositada sobre el suelo, pero no incorporada al suelo mineral.
- **Carbono en el suelo (Cs):** Es el carbono contenido en los horizontes que forman el perfil del suelo, originado por la meteorización de la roca madre y por la descomposición de restos vegetales incorporados al complejo arcillo-húmico como humus estable.
- **Carbono en productos (Cp):** Es el carbono contenido en productos forestales durante el tiempo que el producto está en uso (puertas, ventanas, muebles, tableros, palets, madera de encofrados, embalajes, cartones, libros, papel prensa, papel de oficina, publicidad y otros). Cuanto mayor sea la vida media de un producto mayor será el tiempo de almacenamiento de carbono en el mismo, antes de ser reciclado o incorporado nuevamente a la atmósfera.
- **Carbono ahorrado por sustitución de combustibles fósiles (Cf):** Se trata de una alternativa para reducir emisiones por sustitución de combustibles fósiles, utilizando en su lugar biomasa forestal para la producción de energía.



El carbono total (C_t) será la suma del carbono acumulado en estos grupos:

$$C_t \approx Cv + Cd + Cs + Cp + Cf$$

Desde el punto de vista de la selvicultura y la ecología tiene interés el carbono fijado en la vegetación, que es el más susceptible de manipulación a través de la selvicultura, incidiendo apreciablemente sobre el tipo de productos y, por lo tanto, sobre la vida media de los mismos, por ejemplo, turnos cortos darán lugar a un mayor porcentaje de madera de trituración y turnos largos a un mayor porcentaje de madera de sierra, que podrá utilizarse en construcción de viviendas, muebles, etc., con una vida media mayor.

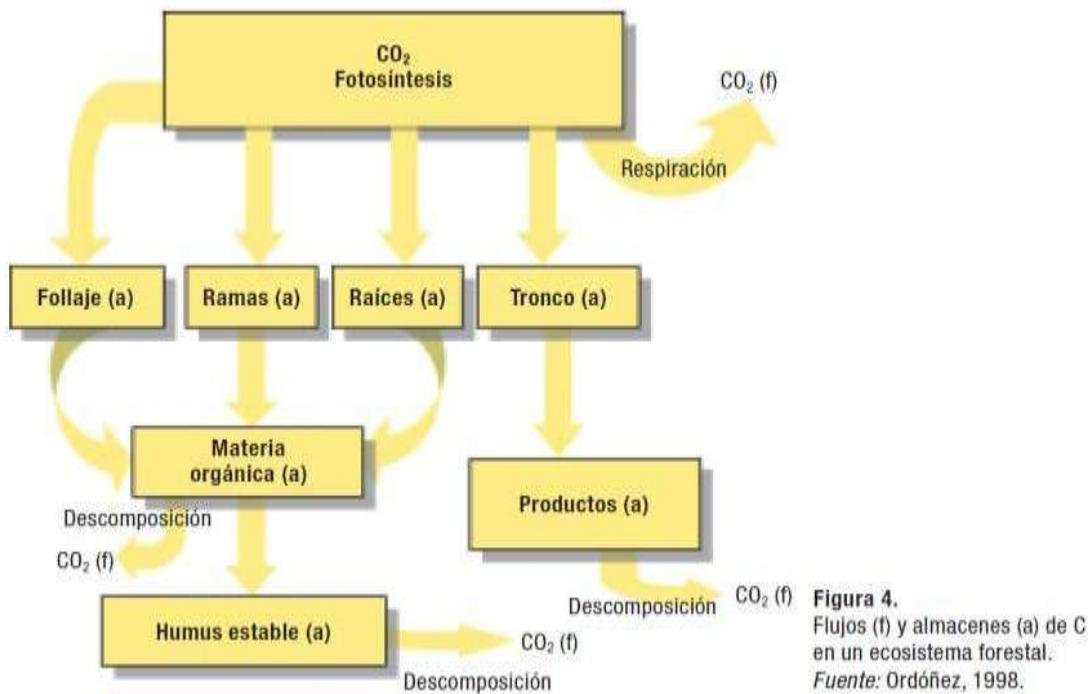


Figura 4.
Flujos (f) y almacenes (a) de C
en un ecosistema forestal.
Fuente: Ordóñez, 1998.



Cada uno de los productos finales, derivados de la madera, tienen un tiempo de uso medio (vida media), después del cual se degradan aportando carbono al suelo y CO₂ a la atmósfera (Ordóñez, 1998). La selvicultura puede influir sobre la vida media de cada uno de los productos, mitigando o retardando más o menos la liberación de CO₂ y su incorporación al ciclo nuevamente. El tiempo durante el cual el carbono se mantiene formando, bien parte del árbol, bien parte de la madera de muebles, construcciones, papel, humus del suelo, etc., se considera que se encuentra almacenado («secuestrado») aunque una parte importante no esté ya en el ecosistema forestal.

3º El cálculo de las absorciones producidas por los sumideros.

El cálculo o estimación de las absorciones de las formaciones vegetales no es tarea fácil. Para facilitar la comprensión del cálculo, como ejemplo, estimaremos el carbono almacenado en un árbol de dos especies distintas. Hemos elegido el pino resinero (*Pinus pinaster*) y la encina (*Quercus ilex*) por ser, respectivamente, la conífera y la frondosa, más abundantes en España.

Los datos necesarios para la estimación del CO₂ retirado de la atmósfera por un árbol son:

- Volumen maderable con corteza (Vcc): es el volumen con corteza del fuste, es decir, del tronco del árbol sin considerar ramas ni raíces.
- Densidad (D): tonelada de materia seca (tms) por metro cúbico de árbol recién cortado.
- Factor de expansión de biomasa (BEF, por sus siglas en inglés): parámetro o función que permite estimar el volumen aéreo del árbol a partir de su volumen maderable, es decir, multiplicando el Vcc por el BEF obtendremos el volumen de todo el árbol.
- Factor R: relación entre biomasa aérea y raíces.
- Factor FC: factor de conversión de tonelada de materia seca (tms) a tonelada de Carbono (tC), fijado en 0,5 tC/1tms.
- 44/12: proporción molecular para pasar de carbono (C) a dióxido de carbono (CO₂).



Para realizar la estimación del carbono almacenado por ambas especies y poder compararlas, tomamos como ejemplo un pie de cada una de estas dos especies (*pino resinero* y *encina*) con un volumen maderable con corteza de 0,2 m³, lo que nos permitirá diferenciar entre las distintas capacidades de absorción de las distintas especies.

La fórmula que se aplica es la siguiente:

$$\text{Cantidad de CO}_2 \text{ acumulada (tCO}_2/\text{árbol}) = (\text{Vcc} \times \text{D} \times \text{BEF}) \times (1+\text{R}) \times \text{FC} \times 44/12$$

Especie	Vcc	D	BEF	R	FC	tC/árbol	TCO ₂ /árbol	kgCO ₂ /árbol
P. pinaster	0,2	0,44	1,3	0,32	0,5	0,0755	0,2768	276,85
Q. ilex	0,2	0,58	1,4	0,35	0,5	0,1096	0,4019	401,94

Fuente de los datos de D, BEF, R, FC: Guía de Buenas Prácticas para LULUCF del IPCC

Como muestra la tabla, la encina, al tener una densidad de la madera más alta, a una misma cantidad de volumen maderable almacena una mayor cantidad de carbono.

En el caso de bosques o masas forestales, ante la imposibilidad de calcular el contenido de carbono árbol a árbol, **se realizan estimaciones dependiendo del volumen maderable por hectárea**, y de la superficie ocupada por cada especie presente en dicha masa forestal. **A esto habrá que añadir el carbono de los otros tres reservorios** (suelo, madera muerta y hojarasca), que se estima de manera similar.

En el caso de otros ecosistemas como, por ejemplo, pastizales y cultivos, el carbono almacenado en la parte aérea de la vegetación es muy bajo (*excepto en los cultivos leñosos*). Además, en muchos casos la producción se retira anualmente (*cosecha de cultivos y siega de los pastos*), por lo que el reservorio más importante en estos casos es el suelo.



Para la estimación del carbono almacenado en suelos agrícolas y en pastizales se utilizan unos índices estimativos por hectárea, que dependen del clima, la actividad agrícola o pastoral que se realice y la especie plantada, entre otros factores, y que multiplicados por el número de hectáreas sometidas a determinadas condiciones de los factores mencionados, nos darán el contenido de carbono del suelo².

4º La influencia en la vegetación del cambio climático, y por ende, como puede afectarles como sumideros de carbono.

Hasta ahora, hemos analizado el papel de las formaciones vegetales en la mitigación del cambio climático. Sin embargo, **hay que tener en cuenta que la persistencia de estas formaciones vegetales también está condicionada por el mismo cambio climático**. Para asegurar esta persistencia es importante la adaptación a los efectos provocados por este fenómeno.

Los vegetales tienen capacidad de adaptación natural a los cambios en las condiciones climáticas, sin embargo, debido a que estos cambios se están produciendo de una manera muy rápida, **es probable que muchas especies no logren adaptarse a tiempo**, lo que puede llevar a su desaparición.

Es posible facilitar la adaptación de los ecosistemas al cambio climático a través de una gestión coherente con las condiciones futuras del clima de cada zona. Por ejemplo, en los sistemas agrícolas, la adaptación a corto plazo puede basarse en sencillas prácticas agrícolas como cambios de fechas de siembra o en las variedades utilizadas. Sin embargo, a largo plazo es necesario adaptar los sistemas a las nuevas condiciones climáticas.

² Es el denominado “carbon farming”, referente al conjunto de prácticas agrícolas que ayudan a almacenar carbono de la atmósfera en los suelos agrícolas, contribuyendo a prevenir el efecto invernadero.



En cuanto a los bosques, es necesario seleccionar las especies que se utilicen en las repoblaciones, así como adaptar sus sistemas de gestión, teniendo en cuenta los cambios previsibles en los recursos hídricos, las temperaturas, la duración y agresividad de plagas y enfermedades, etc. Se trata de utilizar las especies y sistemas de manera que se favorezca la supervivencia y sostenibilidad de la masa forestal bajo las nuevas condiciones.

2. CARACTERÍSTICAS DEL INVENTARIO.

2.1. *Estratificación de la masa*

Como trabajo previo a la división de rodales³, de cara a realizar el diseño previo del inventario, en la futura rodalización, se realizará una estratificación en unidades menores y homogéneas que presenten uniformidad en cuanto a las características de la vegetación, distribución de edades, características fisiográficas⁴, la fracción de cabida de cubierta y el estado vegetativo de la masa.

Esta estratificación se ha realizado previa trabajo de campo, fotointerpretación de las ortofotos del Plan Nacional de Ortografía Aérea (PNOA) (pnoa.ign.es), imágenes de satélite, tratamiento de datos LIDAR, inventario Forestal Nacional, y/o otras metodologías, junto con la necesaria comprobación en campo de los datos previamente obtenidos mediante la fotointerpretación.

³ **Rodal (en silvicultura):** Grupo de árboles lo suficientemente similares en composición, condición y distribución por edad para ser considerado una unidad. Los rodales pueden ser parejos en edad (*árboles con la misma edad relativa*) o dispares en edad.

⁴ **Características fisiográficas:** Aquellas que ofrecen una visión general de las formas de relieve que caracterizan el Territorio Nacional, identificadas y definidas a partir del análisis integral de la información topográfica, geológica, hidrológica y edafológica, para formar unidades relativamente homogéneas.

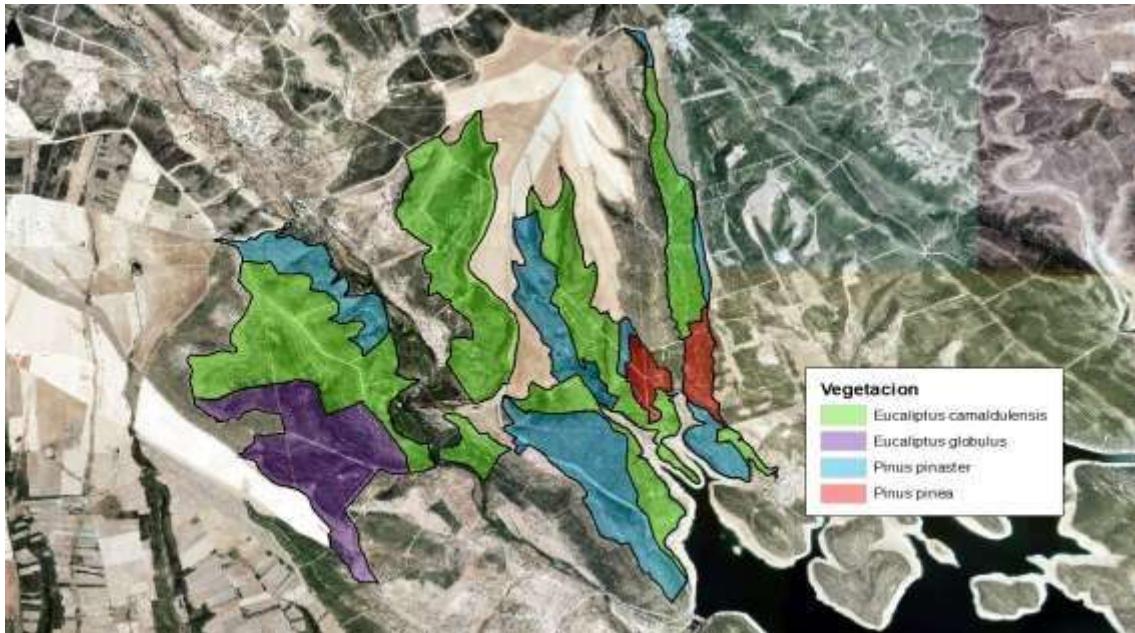


Ilustración 1. Estratificación

2.2. **Rodalización**

La división inventarial tiene como objetivo la formación de unidades homogéneas que faciliten la toma de datos y la obtención de una descripción más detallada de los recursos forestales existentes en la superficie objeto de estudio.

Cuando las formaciones vegetales existentes en una superficie sean heterogéneas, en función de la estratificación previamente realizada, se establecerán unidades de división denominadas rodales que sean homogéneas en cuanto a composición de especies, distribución de edades, densidad y calidad de estación⁵. Estos rodales serán las unidades superficiales para las que se van a definir los diferentes resultados obtenidos.

Para el monte de estudio, se han establecido 48 rodales, que se enumeran a continuación en la siguiente tabla, indicando la superficie correspondiente, a cada uno de los cantones.

⁵ **Calidad de estación:** Capacidad productiva de un área, y comúnmente se refiere al volumen de madera producido por una masa forestal cuando llega a la edad del turno. La estación de una especie forestal describe el conjunto de valores límite, del óptimo y la tolerancia, que los diferentes factores abióticos adquieren en relación con la presencia y el desarrollo.



Rodal	Superficie (ha)
1	41,11
2	26,68
3	44,72
4	54,54
5	53,40
6	24,71
7	31,93
8	54,36
9	51,64
10	28,92
11	47,15
12	24,96
13	47,58
14	42,04
15	23,39
16	33,15
17	45,82
18	53,36
19	22,17
20	44,96
21	11,53
22	35,41
23	36,93
24	49,81
25	54,50
26	38,70
27	60,95
28	30,13
29	32,20
30	59,26
31	25,86
32	43,99
33	33,15
34	28,33
35	32,44
36	38,21
37	64,09
38	23,85
39	24,90
40	2,32
41	22,06
42	44,60
43	30,25
44	53,23
45	24,06
46	48,16
47	40,01
48	31,36
TOTAL	1.816,89

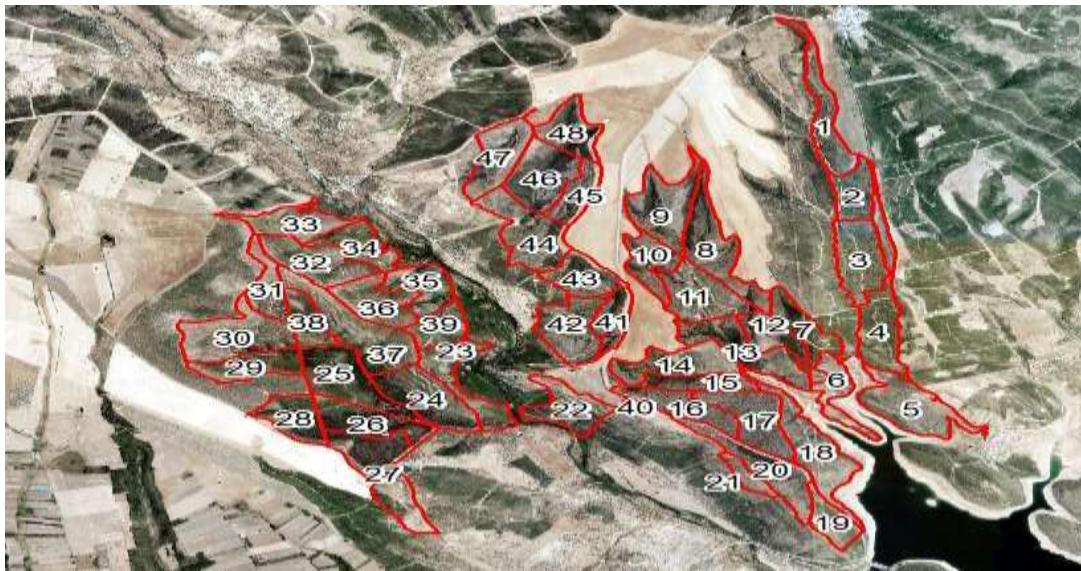


Ilustración 2. Rodalizacion

2.3. *Diseño del inventario*

El inventario es el método utilizado para la toma de datos, que nos permite calcular o estimar el valor que toman determinadas variables en la superficie de estudio, con objeto de analizar la situación actual del monte desde el punto de vista forestal.

El mejor método para el cálculo de carbono verde fijado en el bosque, es realizarlo de forma manual, mediante mediciones y georreferenciación con GPS de todos los árboles del monte. Este método de inventario, resultaría imposible realizarlo, pues habrá zonas prácticamente inaccesibles además de ser un trabajo arduo y costoso económicamente, alargando en el tiempo los resultados obtenidos, siendo esta metodología desechada.

Por ello, el mejor método capaz de poder georreferenciar cada árbol del monte, además de poder calcular sus valores de forma mecánica es mediante *Inventario LiDAR: método de Árbol Individual*.

Para poder obtener valores fiables y con un mínimo error, se deberá realizar un vuelo con cámara LiDAR, que arroje una nube de puntos comprendida entre 100-500 puntos/m², dependiendo del tipo de vegetación que se esté inventariando.



Ilustración 3. Vuelo de dron en finca de Extremadura, para obtención de imágenes LiDAR

Una vez se ha obtenido el archivo LiDAR, se procede a su clasificación (suelo, edificios, vegetación...), su interpretación y obtención de resultados con la siguiente metodología.

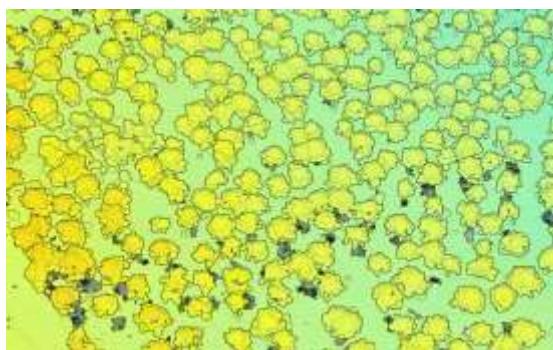


Ilustración 4. Nube de puntos obtenida del vuelo con dron en finca de Extremadura en 2.024

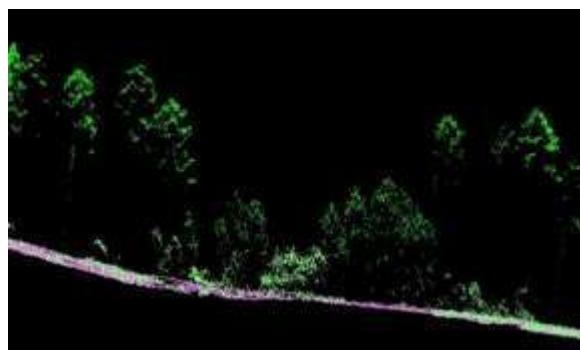


Ilustración 5. Observación de nubes de puntos

El Modelo Digital de Superficies (MDS) representa la superficie topográfica del terreno que incluye todos los puntos LiDAR, esto es, edificios, vegetación, carreteras y demás elementos naturales del terreno. El MDS será la base para la individualización de árboles.



Un MDS normalizado es comúnmente denominado Modelo Digital de Vegetación (MDV) cuando nos encontramos en zonas forestales.

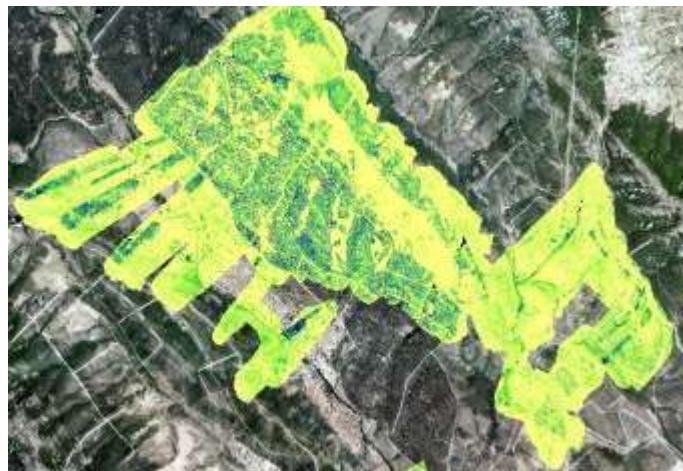


Ilustración 6. Modelo de vegetación

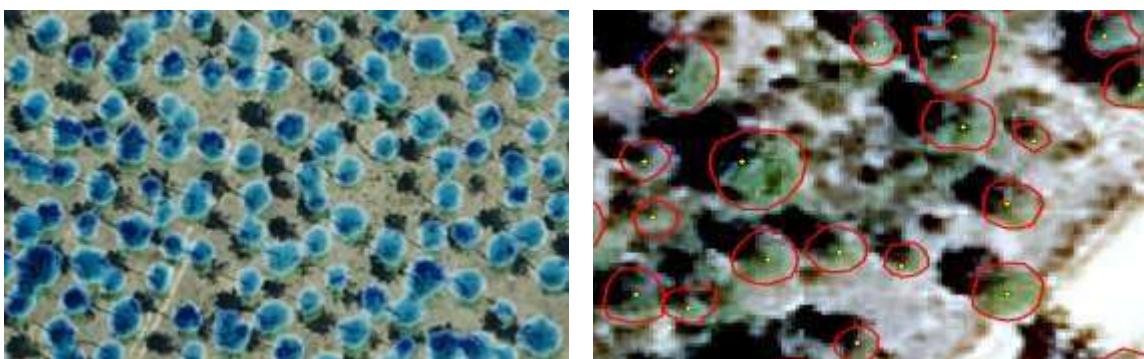


Ilustración 7. Obtención de ápices y área de copa

Aún con las bondades de trabajar con datos LiDAR, siempre vamos a necesitar una muestra de parcelas de campo en la que hayamos medido las variables que queramos estimar (volumen, altura, diámetros, etc.). Las parcelas de campo que sirven de inventario son similares a las del inventario tradicional, normalmente, por comodidad, rapidez y economía, se trabaja con parcelas circulares de radio fijo. La principal diferencia de las parcelas de un inventario LiDAR con las de un inventario tradicional es el levantamiento del centro de la parcela con un GNSS de precisión. Necesitamos conocer con precisión las coordenadas del centro de la parcela para poder extraer la nube de puntos LiDAR que realmente corresponde a cada una de las parcelas de inventario.



Los valores a obtener de cada parcela son:

- Centro de la parcela medido con GPS de precisión centimétrica.
- Rumbo y distancia con respecto al centro de la parcela de cada árbol medido.
- Diámetro a la altura del pecho (1,30 m)
- Altura total del árbol



Ilustración 8. Inventario de campo en masa de eucalipto de Extremadura

❖ ***Inventario mediante tecnología LiDAR***

El láser escáner aerotransportado, también denominado como LiDAR (Light Detection and Ranging) es un sistema de teledetección que, estando acoplado a un avión, helicóptero o vehículo aéreo no tripulado (dron), emite pulsos láser que retornan una o varias veces con diferente intensidad creando una nube de puntos tridimensional con abundante información sobre la estructura vertical de la vegetación. La forma y la intensidad en la que el conjunto de los pulsos láser llega a la vegetación y retornan al sistema LiDAR permiten estimar distintas variables dasométricas⁶ descriptivas de la masa forestal sin necesidad de recurrir necesariamente a los inventarios forestales por muestreo.

❖ ***Inventario con tecnología LiDAR mediante métodos de árbol individual***

Esta metodología consiste en la individualización de cada uno de los pies y la obtención de su altura correspondiente mediante la localización de máximos relativos correspondientes con los ápices de las copas. Posteriormente se aplicarán modelos de

⁶ **La Dasometría:** Trata de la medición de los árboles y las masas forestales, tanto desde el punto de vista estático como desde el punto de vista dinámico (su crecimiento). También estudia las relaciones métricas y las que rigen el desarrollo de árboles y montes.



regresión previamente obtenidos que relacionen los valores de altura o el área de copa obtenidos mediante el LiDAR con otras variables dasométricas, como el volumen con corteza (VCC) y diámetro. Este tipo de inventario debe identificar árboles de forma clara como mínimo el 90% de los pies, una vez estudiados los árboles detectados como “árboles positivos”, “árboles no detectados” y “falsos positivos”.

La estimación de variables dasométricas como el área basal, la biomasa, área total, la cobertura arbórea y el volumen total maderable, se puede generar a partir de datos LIDAR con buena precisión, y con la ventaja de crear mapas que exponen la variabilidad espacial para cada una de las variables.

Para la obtención de los modelos de regresión para cada una de las especies principales consideradas, se ha realizado el levantamiento de 20 parcelas LiDAR para cada uno de los estratos de vegetación definidos (*Eucaliptus globulus*, *Eucaliptus camaldulensis*, *Pinus pinea* y *Pinus pinaster*), y **se tomará en campo valores de altura máxima y diámetro de todos los árboles de cada parcela clasificándolos por especies**. Estando representados en la regresión en la medida de lo posible todas las clases diamétricas de edad.

Una vez estimada la altura y el diámetro de cada árbol se obtendrá el volumen o cualquier otra variable de todos los pies de cada estrato del monte mediante la **aplicación de tarifas de cubicación que relacionen los valores de altura y diámetro anteriormente obtenidos**.

La forma de parcela elegida es la circular, por tener menor número de árboles dudosos en el límite de la parcela que las de forma poligonal, la forma es objetiva ya que la simetría radial del círculo hace que no tenga direcciones privilegiadas, y la identificación de la parcela en inventarios sucesivos, requiere exclusivamente encontrar su centro.

Se elige el tamaño de la parcela circular, de tal forma que el número medio de pies por parcela sea superior a 10.

En cada parcela de inventario, se mide el diámetro normal de cada árbol con la forcípula, y la altura con el Vertex IV (un hipsómetro láser que usa ultrasonidos para medir distancias), además de tomar las coordenadas de cada árbol.



Además en cada parcela se levanta un estadillo, que se describe en el siguiente punto.

➤ **Parámetros determinados. Variables obtenidas.**

Los datos tomados en cada parcela constan de dos bloques:

Características generales

-Coordenadas del centro de la parcela.

-Formación vegetal.

Bloque dendrométrico

-Diámetro normal de todos los pies.

-Altura total de todos los pies.

-Coordenada de todos los pies.

➤ **Cálculo de existencias.**

De cada parcela de muestreo se ha levantado el estadillo descrito anteriormente, por parte del personal de campo, para su posterior procesado.

Una vez estudiados los distintos modelos estadísticos posibles se obtiene un modelo definitivo para el cálculo del diámetro de cada árbol en función de parámetros como el menor coeficiente de determinación ajustado y el error cuadrático medio (ECM)⁷ relativo o el mayor coeficiente de eficiencia del modelo.

Para los valores de altura, con el procesado de imágenes LiDAR, se obtiene la altura de los ápices de cada pie.

Una vez obtenidos los modelos predictivos de diámetro para cada uno de los pies de cada estrato de vegetación LiDAR definidos, se procederá a realizar la expansión continua de esos modelos a cada uno de los pies obtenidos.

⁷ En Estadística, el **error cuadrático medio** de un estimador, mide el promedio de errores al cuadrado, es decir, la diferencia entre el estimador y lo que se estima. El ECM es una función de riesgo, correspondiente al valor esperado de la pérdida del error al cuadrado o pérdida cuadrática.



Los modelos utilizados para el **cálculo de los diámetros de cada uno de los pies de las formaciones vegetales es el siguiente:**

Eucalipto camaldulensis:

$$d = 1,57638 + 2,36174 * \text{Perc_95}$$

d= diámetro normal

Perc_95= percentil 95 (estadístico obtenido de la nube de puntos)

Eucalipto globulus:

$$d = 1,45367 + 2,91746 * h_{\text{max}}$$

d= diámetro normal

h_max= altura máxima de ápice (obtenido de la nube de puntos)

Pinus pinaster:

$$d = 2,40884 + 2,17447 * h_{\text{max}}$$

d= diámetro normal

h_max= altura máxima de ápice (obtenido de la nube de puntos)

Pinus pinea:

$$d = 2,80884 + 2,87447 * \text{Perc_99}$$

d= diámetro normal

h_max= percentil 99 (estadístico obtenido de la nube de puntos)



3. INTRODUCCIÓN DE DATOS, MODELOS Y FÓRMULA.

3.1. **Obtención de estadísticos.**

Una vez tenemos las copas delineadas que hemos medido en campo, procedemos a obtener los estadísticos de las mismas. (100 en total).

FileTitle	Total return	Total return 1cou	Return 1cou	Return 2cou	Return 3cou	Return 4cou	Return 5cou	Return 6cou	Return 7cou	Return 8cou	Return 9cou	Other return	Elev minmum	Elev maxm	Elev mean	Elev mode	Elev stdev	Elev varianc	Elev CV	Elev IQ	Elev skewne
1	1000	242	125	121	1	1	1	0	0	0	1	1	3,98	10,94	7,35572	6,632428	1,53481	1,355942	0,208627	2,13	-0,073277
1	10000	53	19	15	1	1	1	0	0	0	1	1	245	462	1,921579	1,096667	0,9468	0,353525	0,151617	0,75	-0,03887
1	10001	501	41	41	1	1	1	0	0	0	1	1	392	533	4,671637	4,038524	0,36574	0,36701	0,079129	0,47	-0,315271
1	10002	261	45	45	1	1	1	0	0	0	1	1	3,75	5,08	5,112222	5,088825	1,506534	1,266777	0,099083	0,57	-1,201374
1	10004	120	283	283	1	1	1	0	0	0	1	1	2,02	5,14	3,369735	1,251095	1,786927	1,619254	0,213524	1,25	0,066394
1	10005	236	137	111	2	1	1	0	0	0	1	1	2,02	11,41	6,686725	1,266048	1,044932	0,811705	0,405409	4,41	-0,580275
1	10006	402	246	238	1	1	1	0	0	0	1	1	2,01	12,69	8,071719	7,773805	1,279131	5,29444	0,312358	2,65	-0,077138
1	10007	46	15	15	1	1	1	0	0	0	1	1	5,29	5,9	5,49	5,051507	1,28554	0,03313	0,03313	0,25	-0,357104
1	10008	74	74	74	1	1	1	0	0	0	1	1	2,93	5,3	4,47297	1,05238	1,330791	0,890225	0,205772	1,755	-0,216046
1	10009	511	115	115	1	1	1	0	0	0	1	1	2,32	5,43	3,578216	1,568025	1,317131	1,040945	0,256035	1,17	0,2344

Ilustración 9. Estadísticos del recorte de la nube de puntos

Estos estadísticos los usaremos para relacionar la nube de puntos LiDAR con la información recogida en campo de las variables deseadas (Ht, Vcc, Dn, w, CO2,etc.).

En general, los estadísticos recogidos nos van a informar sobre dos cuestiones:

- Alrededor de qué valor se agrupan los datos.
- Concentración o dispersión de los datos en torno a ese valor.

3.2. **Obtención de modelos de regresión.**

Mediante métodos estadísticos y relacionando los valores de la nube de puntos LiDAR con la información recogida en campo, obtenemos unos modelos que nos describen las variables que más nos interesan, pudiendo incorporar a todos los árboles de nuestro monte o zona de estudio.



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	S	T	U	V
Árbol	MASA	POINT_X	POINT_Y	Rodal	Dth	MaxHt	dn_mm	VCC_m3	IAVC_m3	W (kg)	W (tn)	Carbono_tn	CO2_2023
1	Eucalyptus camald	315125.25	4377230.25	1	3,241	3,013	32,41940438	0,02272	0,00009	3,77	0,0038	0,001789212	0,006560444
2	Eucalyptus camald	314669.75	4377331.25	1	3,243	3,014	32,42546627	0,02272	0,00009	3,77	0,0038	0,001790443	0,006564957
3	Eucalyptus camald	314633.25	4377334.25	1	3,245	3,016	32,44782034	0,02272	0,00009	3,77	0,0038	0,001793049	0,006574513
4	Eucalyptus camald	314849.25	4377201.75	1	3,248	3,019	32,47763097	0,02272	0,00009	3,78	0,0038	0,001793528	0,006587269
5	Eucalyptus camald	314811.75	4377323.75	1	3,262	3,033	32,5241865	0,02273	0,00009	3,82	0,0038	0,001813685	0,006650178
6	Eucalyptus camald	314632.25	4377335.75	1	3,265	3,036	32,6502737	0,02273	0,00009	3,82	0,0038	0,001815748	0,00666141
7	Eucalyptus camald	314863.75	4377178.75	1	3,272	3,048	32,72355605	0,02274	0,00009	3,84	0,0038	0,001815368	0,006693017
8	Eucalyptus camald	315079.75	4377134.25	1	3,273	3,043	32,75541328	0,02274	0,00009	3,84	0,0038	0,001825588	0,006693822
9	Eucalyptus camald	314915.25	4377411.75	1	3,274	3,044	32,7403199	0,02274	0,00009	3,85	0,0038	0,001827344	0,006700262
10	Eucalyptus camald	314642.75	4377302.75	1	3,278	3,048	32,77757798	0,02274	0,00009	3,86	0,0039	0,001831738	0,006716374
11	Eucalyptus camald	314871.25	4377096.75	1	3,294	3,064	32,94214275	0,02276	0,00010	3,90	0,0039	0,001815217	0,006787795
12	Eucalyptus camald	314889.75	4377205.75	1	3,300	3,070	33,00235757	0,02276	0,00010	3,91	0,0039	0,001858374	0,00681404
13	Eucalyptus camald	314895.75	4377072.75	1	3,312	3,082	33,12409576	0,02277	0,00010	3,94	0,0039	0,001872885	0,006857246
14	Eucalyptus camald	315114.75	4377173.25	1	3,314	3,083	33,13651835	0,02277	0,00010	3,95	0,0039	0,00187437	0,006872689
15	Eucalyptus camald	314952.75	4377081.75	1	3,334	3,104	33,34145551	0,02279	0,00010	4,00	0,0040	0,001888953	0,006952326
16	Eucalyptus camald	314806.25	4377278.25	1	3,338	3,108	33,38243763	0,02279	0,00010	4,01	0,0040	0,00190389	0,00698009
17	Eucalyptus camald	315149.75	4377179.75	1	3,345	3,114	33,44826694	0,02280	0,00010	4,02	0,0040	0,001911835	0,007010065
18	Eucalyptus camald	314917.75	4377360.25	1	3,377	3,145	33,7668442	0,02282	0,00010	4,11	0,0041	0,001956544	0,007151996
19	Eucalyptus camald	314799.25	4377324.25	1	3,378	3,146	33,77801507	0,02283	0,00010	4,11	0,0041	0,001953809	0,007157001
20	Eucalyptus camald	314794.25	4377237.25	1	3,402	3,170	34,01710832	0,02285	0,00010	4,17	0,0042	0,001981253	0,007264595
21	Eucalyptus camald	314911.25	4377097.75	1	3,403	3,171	34,02579738	0,02285	0,00010	4,17	0,0042	0,001982324	0,007268552
22	Eucalyptus camald	314812.75	4377365.25	1	3,403	3,171	34,0270394	0,02285	0,00010	4,17	0,0042	0,001982477	0,007269084

Ilustración 10. Cálculo de variable de cada árbol

3.3. **Formulas utilizadas.**

Una vez definido el tipo de inventario a realizar, el siguiente paso es definir los valores que se desean obtener y las ecuaciones/tarifas que se utilizarán para tal fin.

Los valores y ecuaciones dasometricos que se utilizan para los cálculos de sumidero de carbono son:

- **Volumen con corteza:** Se utilizan las tarifas del “4 *Inventario Forestal Nacional (2.020)*”. *Ministerio Para La Transición Ecológica y El Reto Democrático*.
- **Incremento Anual del Volumen con Corteza:** Tarifas del “4 *Inventario Forestal Nacional (2.020)*”. *Ministerio Para La Transición Ecológica y El Reto Democrático*.
- **Biomasa seca:** Metodología basada en las tarifas de “Producción de Biomasa y Fijación de Co2 por los Bosques Españoles”, (*Gregorio Montero et al, 2.005*). CIFOR-INIA and EGMASA
- **Carbono:** porcentaje respecto a la biomasa seca obtenida según “Producción de Biomasa y Fijación de Co2 por los Bosques Españoles”, (*Gregorio Montero et al, 2.005*). CIFOR-INIA y EGMASA.
- **Co2 almacenado:** La cantidad de Dióxido de Carbono (CO₂) almacenado se calcula aplicando la relación entre la masa atómica del CO₂ y la del Carbono (44/12).



Una vez obtenido los datos de diámetro y altura de cada pie, se realizan los cálculos de **VCC** (*Volumen con Corteza*), **IAVC** (*Crecimiento corriente de volumen con corteza*), y **Biomasa seca**.

Para el cálculo del VCC y del IAVCC, se han utilizado las supertarifas del “CUARTO INVENTARIO FORESTAL NACIONAL, EXTREMADURA (IFN4)” (2.020) manual proveniente del “*Ministerio Para La Transición Ecológica y El Reto Democrático*”.

Las mencionadas tarifas, relacionan el volumen con corteza (VCC) e incremento volumen anual (IAVC) con el diámetro y la altura, junto con las mediciones de los árboles tipo del inventario.

Espeie	Vcc (m3)	IAVC (m3)
Eucalyptus camaldulensis	$21,9 + (0,0002577 * (d^2 * h))$	$0,0000802 * d^2 + 0,00000023326 * d^3$
Pinus pinaster	$23,37 + (0,0003167 * (d^2 * h))$	$0,0002765 * d^2 - 0,00000016895 * d^3$
Eucalyptus globulus	$18,93 + (0,0002748 * (d^2 * h))$	$0,0000802 * d^2 + 0,00000023326 * d^3$
Pinus pinea	$31,22 + (0,0002903 * (d^2 * h))$	$0,0002358 * d^2 - 0,00000022072 * d^3$

Tabla 1. Formulas utilizadas para Volumen con corteza (m3) y Incremento de volumen anual (m3)

Para las estimaciones de CO₂, las fórmulas utilizadas se han obtenido de las tarifas referenciadas en el MITECO en su “*Guía para la Estimación de Absorciones de Dióxido de Carbono*” (Versión 5, Marzo de 2024), en los trabajos realizados por *Gregorio Montero, Ricardo Ruiz-Peinado y Marta Muñoz* (2.005), manual realizado por CIFOR-INIA y EGMASA bajo la denominación “**Producción de Biomasa y Fijación de CO₂ por los Bosques Españoles**”.

$$\text{Biomasa (b)} = \exp^{(SEE^2)/2} \exp^{a * d^b}$$

A continuación, se indica los valores de los parámetros de la función (*a* y *b*), del coeficiente de determinación ajustado (*R* 2) y el error estándar de la estimación (SEE) para cada especie y fracción de biomasa.



Leyenda de símbolos usados en las tablas que se presentan a continuación, expresados en kg de materia seca:

BT = biomasa aérea total del árbol.

BR 2 = biomasa de las ramas de diámetro menor de 2 cm.

BF = biomasa del fuste⁸.

BA = biomasa de las acículas⁹.

BR 7 = biomasa de las ramas de diámetro mayor de 7 cm.

BH = biomasa de las hojas.

BR 2-7 = biomasa de las ramas de diámetro entre 2 y 7 cm.

Br = biomasa de la raíz.

Y	Parámetros		R ² _{adj}	SEE
	a	b		
<i>Eucalyptus spp.</i>				
BT	-1,33002	2,19404	0,980	0,157850
BF + BR ₇	-2,20421	2,38196	0,974	0,196830
BR ₂₋₇	-2,67562	1,87183	0,822	0,442402
BR ₂	-2,64825	1,61429	0,858	0,333087
BH	-2,05864	1,61762	0,859	0,333319

Tabla 1. Parámetros utilizados para *Eucaliptus camaldulensis* y *E. globulus*

Y	Parámetros		R ² _{adj}	SEE
	a	b		
<i>Pinus pinaster</i> Alt.				
BT	-3,00347	2,49641	0,969	0,173491
BF	-3,43957	2,56636	0,964	0,191593
BR ₇	-23,0418	6,52359	0,927	0,324283
BR ₂₋₇	-6,66264	2,63946	0,651	0,744427
BR ₂	-4,66658	2,38009	0,752	0,527572
BA	—	—	—	—
Br	-3,85184	2,37592	0,985	0,160225
<i>Pinus pinea</i> L.				
BT	-2,18117	2,42414	0,960	0,264856
BF	-3,36491	2,52494	0,979	0,199641
BR ₇	-4,33663	2,59988	0,871	0,537318
BR ₂₋₇	-4,18552	2,39692	0,877	0,483518
BR ₂	-2,55308	1,93944	0,824	0,482010
BA	-4,03904	2,15862	0,937	0,300442
Br	-4,01758	2,47024	0,984	0,196073

Tabla 2. Parámetros utilizados para *Pinus pinea* y *Pinus pinaster*

⁸ **Fuste:** La porción mayormente utilizable de las especies es el pie o fuste principal del árbol, de manera que el cálculo individual del volumen maderable sale a partir de la medición del tamaño de dicho fuste.

(HC) Es la altura que existe entre el suelo y las ramas de las copias del árbol o también conocida como altura del fuste.

⁹ **Acículas:** Hojas en forma de aguja (pino, el cedro y el abeto)



4. FUENTES DE ORIGEN DE LA METODOLOGÍA CIENTÍFICA DE BOSQUES BIODIVERSOS, SL.

BOSQUES BIODIVERSOS,SL emplea como metodología científica, las fórmulas de cálculo del carbono en bosques que el *Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO)* recoge en su “**Guía para la Estimación de Absorciones de Dióxido de Carbono**” (publicada en Marzo de 2024 - Versión 5), y en la cual se plantea la posibilidad de realizar los cálculos en base a **dos metodologías distintas**.

La utilización de una u otra metodología dependerá del momento en el que se realice el cálculo. Éstas son las siguientes:

A. Cálculo EX POST: cálculo en base a los datos reales de la repoblación en un momento concreto de un **bosque existente**, metodología utilizada por BOSQUES BIODIVERSOS, SL (*tras descontar el carbono acumulado en el bosque hasta 1.990, fecha de referencia de reducción de emisiones para los Estados Miembros que ratificaron el Protocolo de Kioto (1.997), de conformidad con su artículo 3*) debiendo comprobar que se ha adicionado la masa forestal para generar los derechos de carbono equivalentes a las toneladas fijadas en la biomasa seca de las diferentes especies forestales que componen el bosque.

El Programa de Acreditación de carbono de **BOSQUES BIODIVERSOS, SL** para los bosques existentes, la **adicionalidad** consiste en **plantar un 10% de la masa arbórea existente** que ha sido previamente datada y cuantificada.

B. Cálculo EX ANTE: cálculo en base a **estimaciones del crecimiento de las especies para el periodo de permanencia del proyecto**. Este dato permite a los promotores de los proyectos conocer de manera aproximada cuáles serán las absorciones que conseguirá su proyecto en el plazo establecido, como mínimo de 30 años.

En **ESPAÑA**, la singularidad del Registro del MITECO radica, que en **Proyectos de nueva plantación forestal** que reúnan los requisitos (*establecidos en el Real Decreto 163/2014, de 14 de marzo, por el que se crea el Registro de Huella de Carbono y Proyectos de Absorción de dióxido de carbono*), **podrán asignarse anticipadamente al promotor del bosque un 20% de los derechos de carbono**



proyectados¹⁰ -tras descontar un 10% de la Bolsa de Garantía- una vez ejecutada la plantación, aunque no se haya fijado biológicamente el citado carbono, a los efectos de incentivar las inversiones forestales de nuevos bosques.

En ambos casos, el cálculo del carbono de bosques existentes (EX POST) como de nuevos bosques (EX ANTE) se considerará únicamente la biomasa viva (tanto aérea como subterránea) excluyendo de la contabilización la materia orgánica muerta y el carbono orgánico del suelo.

Como a continuación se describe y define del ciclo de carbono de un bosque¹¹, **BOSQUES BIODIVERSOS, SL** al igual que el MITECO, **solo computa el Carbono fijado en la vegetación (Cv)**, a diferencia del IPCC, que computa además del anterior, el **Carbono en descomposición (Cd)** y el **Carbono en el suelo (Cs)**.

Por consiguiente, se desprende de los textos publicados por la GUÍA del MITECO, **las fórmulas de cálculo del carbono son más conservadoras que las recomendaciones de los expertos del IPCC de 1.996** por dos motivos:

- 1º** Por no incluir en el cálculo del carbono la biomasa muerta (**Cd**) y el carbono fijado en el suelo (**Cs**).

- 2º** Las tablas dasométricas de los Inventarios Forestales Nacionales son más precisas y específicas, validadas internacionalmente a través de Accion Cost E21.

¹⁰ Se adjunta como **Anexo Nº 1** copia del **Proyecto de Absorción de Nuevo Bosque (EX ANTE)** inscrito en el Registro de Huella de Carbono, Compensación y Proyectos de Absorción de Dióxido de Carbono del MITECO.

¹¹ Especies forestales que constituyen **bosque a efectos del MITECO**: Se adjunta las Estimaciones de absorciones de dióxido de carbono de las especies forestales de la *Guía del Miteco (como Anexo Nº 2)* y el *Anexo Nº 2 de la Clasificación Según Catastro* recogido en la *Información sobre la Sección de Proyectos de Absorción del Miteco* (como **Anexo Nº 3**).



A continuación, relacionamos las fórmulas empleadas por **BOSQUES BIODIVERSOS, SL:**

- Las adoptadas y publicadas por el MITECO para el cálculo de carbono de “nuevos bosques”: **CÁLCULO EX ANTE**.
- Las adoptadas para el cálculo de carbono de los “bosques existentes”, donde el carbono está fijado: **CÁLCULO EX POST**.

CÁLCULO EX –ANTE

La **GUIA del MITECO** recoge:

No ha sido objeto del presente estudio, el cálculo **EX ANTE**, y es de reseñar que se aplica la fórmula de la *Orientación sobre Buenas Prácticas en el Sector Cambio de Uso de la Tierra y la Selvicultura de 2003 del IPCC*¹² (en adelante, *GPG-LULUCF 2003*), como punto de partida para el cálculo de las absorciones de dióxido de carbono.

$$\Delta C = \Delta C_{BV}$$

Como se explicará posteriormente, para los cálculos se tendrá en cuenta únicamente la variación de las reservas de carbono en la biomasa viva (ΔC_{BV}), incluyendo biomasa sobre el suelo y bajo el suelo. Ésta será función del crecimiento y de las pérdidas, es decir:

$$\Delta C = \Delta C_{BV} = \Delta C_{CRECIMIENTO} + \Delta C_{PERDIDAS}$$

Donde:

- $\Delta C_{CRECIMIENTO}$: aumento de las reservas de carbono en la biomasa viva sobre el suelo y bajo el suelo por efecto del crecimiento, en t C.
- $\Delta C_{PERDIDA}$: disminución de las reservas de carbono en la biomasa viva por efecto de las pérdidas derivadas de la recolección, de la recogida de leña y de las perturbaciones, en t C (*signo negativo*).

¹² **IPCC:** Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático



Las pérdidas quedarán incluidas en la fórmula de forma implícita ya que los cálculos se hacen en función del número de pies que previsiblemente permanecerán transcurrido un número determinado de años.

Así, la fórmula que expresa la variación de las reservas de carbono por pie, y que **será la fórmula utilizada para realizar los cálculos ex ante**, queda de la siguiente manera:

$$\Delta C_{pie} = \Delta C_{BV} = \Delta C_{CRECIMIENTO} = \sum [Vn_{CC} \cdot FC \cdot FEB \cdot D \cdot (1+R)]$$

Donde:

- n : nº de años (edad del ejemplar)
- Vn_{CC} : volumen maderable con corteza según especie para el año n en m^3
- FC : fracción de carbono de la materia seca, en $t\text{ C} / t\text{ m.s.}$
- FEB : factor de expansión de biomasa para convertir el incremento neto anual (incluida la corteza) en incremento de biomasa arbórea sobre el suelo, sin dimensiones.
- D : densidad madera básica, en $t\text{ m.s.} / m^3$
- R : relación raíz-vástago, sin dimensiones

A continuación, se indican las fuentes de información a las que se ha recurrido para obtener los valores según especies de los parámetros de la fórmula anterior:

- **El producto $FEB \cdot D$** se obtiene, para cada especie, a partir de los datos incluidos en el Informe de Inventarios de GEI de España 1990-2012 (2014). En el Informe, este producto se obtiene de los cálculos realizados por el CREAF (Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales) para cada especie, valores que han sido validados intencionalmente a través de Accion Cost E21, por referirse



específicamente a especies forestales en territorio español, siendo así más ajustados a la realidad nacional que los factores por defecto del IPCC y por considerarse conservadores. Los valores de los FEB-D que no han sido calculados por el CREAF, se obtienen por medio de comparación con especies similares, o se le asigna el valor por defecto 0,8 (1,6·0,5), de acuerdo con la publicación IPCC-1996.

- El valor de la **fracción de carbono de la materia seca** (FC) es el que se toma por defecto en el IPCC, 0,5 t C / t m.s.
- Los valores del **factor de expansión de las raíces** (R), se obtienen a partir de los datos aportados en el siguiente artículo: R.-Ruiz Peinado, G. Montero, M. del Río, Modelos para estimar las reservas de carbono en la biomasa de especies de coníferas y de frondosas en España, 2014.

Para las especies no incluidas en el estudio, se han hecho asimilaciones entre especies consideradas como similares en cuanto a esta variable.

El caso del **volumen maderable con corteza** (V_{ncc}) merece un tratamiento especial debido a la complejidad de su determinación.

Como se ha comentado, el objetivo es obtener el valor del volumen esperado de un ejemplar al final del periodo de permanencia del proyecto o bien, al final del turno en caso de que éste sea de una duración inferior a dicho periodo. Sin embargo, debido a la cantidad de variables que influyen en el crecimiento de un ejemplar de una misma especie (tipo de suelo, clima, exposición, etc.), ha sido difícil encontrar ecuaciones que relacionasen el crecimiento en volumen o en diámetro, con el tiempo y, en algunos casos, ha sido necesario asimilar el crecimiento de unas especies al de otras.



CÁLCULO EX POST.

Transcribimos literalmente las manifestaciones recogidas en el GUIA del MITECO que sirven de base científica para el cálculo del carbono en bosques existentes, y que a su vez es la empleada como cálculo de carbono por nuestra Compañía.

1 Características del cálculo ex post.

Se trata de estimaciones en el momento en que las absorciones están teniendo lugar. Así, los cálculos se realizan en base a modelos que estiman el peso de la biomasa seca de los árboles según especies a partir de datos reales de la repoblación en un momento concreto (especie, diámetro y altura).

2 Metodología de cálculo.

Se plantea utilizar una metodología basada en **modelos que estiman el peso de la biomasa de los árboles** para las distintas especies.

Una vez se ha determinado el peso de la biomasa seca a partir de estas ecuaciones, el peso del carbono fijado se calculará en función del valor de FC (fracción de carbono contenido en la materia seca) que, de forma genérica, es de 0,5 kg C /kg m.s. (IPCC, 2003). Por último, como se explicaba anteriormente, la conversión de C fijado a CO₂, se realizará a partir de la relación de los pesos moleculares, es decir, multiplicando el valor del C fijado por 44/12.

Los modelos de estimación de biomasa se confeccionan a partir de datos obtenidos en campo mediante el apeo, desramado, pesado de fracciones de biomasa en campo, y la determinación de la materia seca en el laboratorio, y se estructuran de la siguiente manera:

- ⇒ Variables explicadas: Peso seco de las distintas fracciones de biomasa del árbol.
- ⇒ Variables independientes: Diámetro norma y altura total del árbol.
- ⇒ Análisis estadístico: Ajuste de sistemas de ecuaciones mediante distintos procedimientos



Como ejemplo, se presenta el modelo de obtención de biomasa que se presenta para el *Abies alba* en la publicación de Gregorio Montero, Ricardo Ruiz-Peinado y Miren Muñoz, “*Modelos de biomasa para estimar los stocks de carbono para coníferas y frondosas en España*”(2014):

Fuste	$W_s = 0,0189 \cdot d^2 \cdot h$
Ramas mayores de 2 cm Ø	$W_{b7} + W_{b27} = 0,0584 \cdot d^2$
Ramas menores de 2 cm Ø + acículas	$W_{b2+n} = 0,0371 \cdot d^2 + 0,968 \cdot h$
Raíces	$W_r = 0,101 \cdot d^2$
Biomasa total aérea	$W_t = \sum W_s + W_{b7} + W_{b2-7} + W_{b2+n}$

En las ecuaciones, ***d*** representa el diámetro normal y ***h*** la altura del pie (en este caso, de la especie *Abies alba*) para el que se desea calcular la biomasa total (suma de la biomasa aérea y la de las raíces). Estas dimensiones serán función de los años que tenga el ejemplar y deberán obtenerse a partir de inventarios realizados en campo.

Es de destacar que las ***fórmulas de cálculo de absorciones del dióxido de carbono realizada por el MITECO*** para las ***nuevas plantaciones*** (cálculo *EX ANTE*) - que se beneficiarán del anticipo del 20% una vez ejecutadas, cumpliendo con los requisitos establecidos en el *Real Decreto 163/2014, de 14 de marzo, por el que se crea el Registro de Huella de Carbono y Proyectos de Absorción de dióxido de carbono*- como para el cálculo en especies forestales que han fijado carbono (*EX POST*), ***en ningún caso se computa la materia orgánica muerta, ni el carbono orgánico del suelo, a diferencia de las prácticas del IPCC-1996.***

5. CÁLCULO DE CO₂ Y RESULTADOS.

5.1. Cálculo del CO₂ acumulado.

A partir de la cuantificación de biomasa seca de una especie arbórea, se calcula la cantidad de dióxido de carbono que almacena. Según Kollmann (1959) la composición de la madera es similar en las distintas especies leñosas, así como también dentro de un mismo árbol, en sus diversas partes, tronco y ramas. Este autor nos indica que todas las maderas contienen, aproximadamente, un 50% de



carbono. El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 1996) recomienda, en el caso de no existir datos específicos, considerar también este porcentaje. Utilizando los datos sobre porcentaje de carbono en la madera que ofrece el CREAF (*Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales*) (Ibáñez et al., 2001), completados para las especies sin datos con el valor que adelanta Kollmann, se obtiene el peso de carbono acumulado en cada especie forestal. **En la siguiente tabla se muestran los porcentajes de carbono aplicados a cada especie.**

Especie	% carbono	Especie	% carbono
<i>Abies alba</i> Mill.	50,6	<i>Pinus halepensis</i> Mill.	49,9
<i>Abies pinsapo</i> Boiss.	50,0	<i>Pinus nigra</i> Arn.	50,9
<i>Alnus glutinosa</i> L.	50,0	<i>Pinus pinaster</i> Alt.	51,1
<i>Betula</i> spp.	48,5	<i>Pinus pinea</i> L.	50,8
<i>Castanea sativa</i> Mill.	48,4	<i>Pinus radiata</i> D. Don	49,7
<i>Ceratonia siliqua</i> L.	50,0	<i>Pinus sylvestris</i> L.	50,9
<i>Erica arborea</i> L.	50,0	<i>Pinus uncinata</i> Mill.	50,9
<i>Eucalyptus</i> spp.	47,5	<i>Populus x euramericana</i> (Dode) Guinier	48,3
<i>Fagus sylvatica</i> L.	48,6	<i>Quercus canariensis</i> Willd.	48,6
<i>Fraxinus</i> spp.	47,8	<i>Quercus faginea</i> Lamk.	48,0
<i>Ilex canariensis</i> Poir.	50,0	<i>Quercus ilex</i> L.	47,5
<i>Juniperus oxycedrus</i> L./ <i>J. communis</i> L.	50,0	<i>Quercus pyrenaica</i> Willd.	47,5
<i>Juniperus phoenicea</i> L./ <i>J. sabina</i> L.	50,0	<i>Quercus robur</i> L./ <i>Q. petraea</i> Liebl.	48,4
<i>Juniperus thurifera</i> L.	47,5	<i>Quercus suber</i> L.	47,2
<i>Laurus azorica</i> (Seub.) Franco	50,0	Otras coníferas	50,0
<i>Myrica faya</i> Ait.	50,0	Otras frondosas	50,0
<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i> Brot.	47,3	Otras laurisilvas	50,0
<i>Pinus canariensis</i> Sweet ex Spreng.	50,0		

Tabla 3. Porcentaje en peso de carbono contenido en la materia seca aplicado a cada especie

Mediante la proporción entre el peso de la molécula de CO₂ y el peso del átomo de C que la compone se halla la relación que se utilizará para obtener los kg de CO₂ equivalente a partir de la cantidad de carbono presente en la biomasa (44/12 = 3,67).

Así, multiplicando los valores modulares de biomasa por el contenido en carbono y por la relación molécula de CO₂-peso átomo C se obtiene los valores modulares de CO₂ acumulado, por diámetro y fracciones de biomasa para cada especie.

5.2. Presentación de resultados.

A continuación, se presentan los datos obtenidos para cada especie según el *rodal*.



Rodal	Superficie (ha)	Especies	Nº pies	VCC (m3)	IAVC (m3)	Biomasa (Tn)	Carbono (Tn)	Total CO2-eq (Tn)
1	41,114	<i>Eucalyptus camaldulensis / Pinus pinaster</i>	11.953	899,94	40,81	1.608,35	766,23	2.809,51
2	26,675	<i>Eucalyptus camaldulensis / Pinus pinaster</i>	11.799	822,04	37,07	1.492,56	709,5	2.601,50
3	44,72	<i>Eucalyptus camaldulensis / Pinus pinaster</i>	11.878	730,19	32,82	1.329,52	631,88	2.316,89
4	54,542	<i>Eucalyptus camaldulensis / Pinus pinaster / Pinus pinea</i>	9.255	3.263,31	124,96	4.785,04	2.431,25	8.914,60
5	53,403	<i>Eucalyptus camaldulensis / Pinus pinaster / Pinus pinea</i>	9.142	2.741,43	87,37	2.425,75	1.221,01	4.477,02
6	24,713	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	7.113	728,25	28,6	1.071,96	516,8	1.894,95
7	31,933	<i>Pinus pinaster / Pinus pinea</i>	6.131	2.015,92	72,61	2.563,54	1.303,31	4.778,80
8	54,355	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	15.969	2.126,90	88,45	3.394,80	1.613,13	5.914,79
9	51,645	<i>Eucalyptus camaldulensis / Pinus pinaster</i>	25.201	4.811,69	177,39	5.787,55	2.801,63	10.272,65
10	28,919	<i>Pinus pinaster</i>	5.316	2.903,94	88,21	2.061,84	1.054,06	3.864,90
11	47,152	<i>Eucalyptus camaldulensis / Pinus pinaster</i>	9.232	2.139,34	67,34	1.828,71	912,48	3.345,74
12	24,964	<i>Eucalyptus camaldulensis / Pinus pinaster / Pinus pinea</i>	7.760	1.367,75	57,18	2.093,69	1.036,55	3.800,69
13	47,581	<i>Eucalyptus camaldulensis / Pinus pinaster / Pinus pinea</i>	11.953	2.200,43	77,69	2.175,78	1.085,26	3.979,28
14	42,044	<i>Eucalyptus camaldulensis / Pinus pinaster</i>	10.359	2.016,23	76,55	2.676,96	1.281,75	4.699,74
15	23,391	<i>Pinus pinaster</i>	4.259	1.258,74	40,64	944,9	482,07	1.767,60
16	33,148	<i>Pinus pinaster</i>	3.822	2.909,03	86,76	2.029,56	1.040,10	3.813,68
17	45,822	<i>Pinus pinaster</i>	4.778	4.693,01	138,75	3.250,51	1.667,04	6.112,49
18	53,365	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	13.906	991,77	43,35	1.745,80	823,78	3.020,54
19	22,168	<i>Pinus pinaster</i>	3.701	1.009,97	31,83	728,9	377,44	1.383,94
20	44,962	<i>Pinus pinaster</i>	4.605	1.655,57	53,81	1.254,81	643,18	2.358,31
21	11,528	<i>Pinus pinaster</i>	574	46,93	1,61	38,33	18,28	67,01
22	35,412	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	10.443	2.459,09	96,54	3.584,24	1.701,38	6.238,38
23	36,928	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	7.715	810,95	33,47	1.291,30	614,7	2.253,90
24	49,807	<i>Eucalyptus globulus</i>	9.689	4.048,22	174,53	6.032,25	2.863,68	10.500,16



Rodal	Superficie (ha)	Especies	Nº pies	VCC (m3)	IAVC (m3)	Biomasa (Tn)	Carbono (Tn)	Total CO2-eq (Tn)
25	54,497	<i>Eucalyptus globulus</i>	11.469	6.829,43	287,42	9.712,63	4.611,44	16.908,60
26	38,703	<i>Eucalyptus globulus</i>	7.329	4.588,89	197,47	6.799,49	3.223,61	11.819,92
27	60,954	<i>Eucalyptus globulus / Eucalyptus camaldulensis</i>	11.227	8.278,72	347,89	11.787,37	5.611,09	20.574,01
28	30,13	<i>Eucalyptus globulus</i>	6.340	2.028,75	94,33	3.407,40	1.621,71	5.946,27
29	32,2	<i>Eucalyptus globulus</i>	8.245	1.882,96	87,48	3.185,99	1.511,10	5.540,71
30	59,26	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	7.839	2.154,28	87,38	3.277,05	1.556,23	5.706,19
31	25,863	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	3.050	680,88	28,45	1.074,81	514,63	1.886,98
32	43,988	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	5.534	393,92	17,63	707,88	337,12	1.236,10
33	33,151	<i>Pinus pinaster</i>	815	84	2,88	65,7	32,87	120,51
34	28,331	<i>Pinus pinaster</i>	1.433	143,17	4,9	113,08	55,98	205,26
35	32,444	<i>Pinus pinaster</i>	5.387	862,08	28,33	649,08	331,53	1.215,62
36	38,205	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	5.839	442,85	19,51	784,95	370,89	1.359,92
37	64,086	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	12.480	1.369,73	59,33	2.326,86	1.106,07	4.055,60
38	23,853	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	8.158	985,2	43,11	1.688,72	803,59	2.946,51
39	24,896	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	5.081	509,63	21,89	862,03	408,2	1.496,72
40	2,315	<i>Pinus pinaster</i>	226	60,28	2,16	45,19	25,64	94
41	22,059	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	5.429	610,33	25,34	970,48	465,24	1.705,87
42	44,597	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	8.795	380,25	15,56	642,22	302,7	1.109,90
43	30,254	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	7.370	808,35	34,01	1.323,69	628,53	2.304,63
44	53,227	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	11.558	729,4	30,83	1.234,30	586,44	2.150,29
45	24,057	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	6.162	367,05	16,24	662,29	313,03	1.147,76
46	48,156	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	14.290	1.712,98	72,24	2.805,55	1.331,39	4.881,77
47	40,011	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	11.664	920,23	40,82	1.629,17	775,51	2.843,52
48	31,364	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	9.325	1.866,78	77,68	2.966,58	1.404,54	5.149,96
TOTAL	1.816,89		391.598	87.340,78	3.401,22	114.919,15	55.525,56	203.593,72



Rodal	Superficie (ha)	Especies	Nº pies	VCC (m3)	IAVC (m3)	Biomasa (Tn)	Carbono (Tn)	Total CO2-eq (Tn)
48	1.816,893	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> <i>Eucalyptus globulus</i> <i>Pinus pinaster / Pinus pinea</i>	391.598	87.340,78	3.401,22	114.919,15	55.525,56	203.593,72

Tabla Resumen del carbono datado del Proyecto

De los Resultados obtenidos se **concluye** que el bosque objeto de estudio, con una superficie de **1.816,89 Has** (*plantado de eucalipto camaldulensis, eucalipto globulus, pinus pinaster y pinus pinea*), tras una división inventarial en 48 rodales constituido por árboles de similares características en composición, condición y distribución, en los que se han datado y georeferenciado con sus correspondientes coordenadas X e E individuales, **391.598 árboles**, han datado **87.340 m³** de **volumen con corteza (VCC)**, que representa en base a la densidad de las diferentes especies y unidades, **114.919 Tn de biomasa seca**, que a una media de fijación de Carbono en la misma de **48,31 %**, supone un reservorio de **55.525 Tn CO₂**.

Extrapolando los datos, a la fórmula del peso molecular del dióxido de carbono (CO₂ equivalente) (**44/12= 3,67**), da como resultado en equivalencia de derechos de emisión **203.593 Tn de CO₂ eq.**

Para generar los citados derechos, y de conformidad con los *artículos 3 y 6 del Protocolo de Kioto*, el promotor adiciona el **10%** de la masa arbórea existente, es decir, el 10% de 391.598 árboles, dando como resultado **39.159 árboles¹³**.

Lo que se informa a efectos de la transparencia, trazabilidad del procedimiento y metodología científica del Programa de Acreditación del Carbono en bosques de la Compañía **BOSQUES BIODIVERSOS, SL**, y en su calidad de CEO, firmo el presente documento en Madrid, a 3 de Diciembre de 2024.

Fdo. Miguel Ángel Gallardo Macías

¹³ En el caso concreto, se ha adicionado 150.515 árboles de diferentes especies forestales en unas 150 Has.



BIO DIVERSE FORESTS
CREATED BY NATURE
SUPPORTED BY SCIENCE

ANEXOS ADJUNTOS



ANEXO N° 1



REGISTRO DE HUELLA DE CARBONO, COMPENSACIÓN Y PROYECTOS DE ABSORCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO

PROYECTO DE ABSORCIÓN

AmicosZeroCO2

TITULAR: ASOCIACIÓN AMICOS

Código: 2021-b149

Tipo de proyecto: Terreno incendiado

Breve descripción:	Plantación de <i>Pinus pinaster</i> y <i>Castanea sativa</i> en monte vecinal.		
Localización:	Rianxo (A Coruña)	Superficie de la parcela:	10,08 ha
Fecha de inicio de proyecto:	05/04/2021	Período de permanencia:	30 años
Uso del suelo en 1990:	Bosque	Uso del suelo al inicio del proyecto:	Matorral
Absorción prevista en todo el período de permanencia	4.043 t CO ₂	Absorciones retiradas del proyecto¹	0 t CO ₂
			Absorciones cedidas a bolsa de garantía
			74 t CO ₂
Absorciones disponibles² 735 t CO₂			
Otros beneficios ambientales y/o sociales:	Mejora de la biodiversidad, adaptación al cambio climático, reducción de riesgos o efectos negativos, aspectos socioeconómicos.		

¹Absorciones empleadas en compensar huellas de carbono y que por tanto se ha restado al total de absorciones disponibles del proyecto.

²Esta cifra resulta de aplicar el 20% a la absorción prevista para todo el período de permanencia, descontando la parte que se destinará a la bolsa de garantía y las absorciones ya cedidas.

La limitación del 20% se debe a que hasta que no se demuestre el secuestro de carbono que produce el proyecto y, por tanto, haya absorciones reales con las que compensar, sólo se podrá utilizar una cantidad limitada de absorciones "futuras" en compensaciones, cantidad que se ha fijado en un 20% del total previsto. Por otra parte, un 10% de estas absorciones se almacenarán en la bolsa de garantía.



ANEXO N° 2

GUÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE ABSORCIONES DE DIOXIDO DE CARBONO
B. CÁLCULO DE LAS ABSORCIONES

B 12

ANEXO

Especie	Absorciones estimadas (t CO ₂ /pie)					Fuente
	20 años	25 años	30 años	35 años	40 años	
<i>Abies alba</i>	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (Coníferas) IFN 1 (1)
<i>Abies pinsapo</i>	0,22	0,27	0,33	0,38	0,44	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (Coníferas) IFN 1 (1)
<i>Acacia spp.</i>	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN 1 (2)
<i>Acer spp.</i>	0,15	0,19	0,22	0,26	0,30	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN 1 (2)
<i>Alnus alnifolia</i>	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	Asimilación
<i>Alnus spp.</i>	0,05	0,10	0,16	0,24	0,32	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN 1 (2)
<i>Amelanchier ovalis</i>	0,04	0,11	0,21	0,35	0,40	Asimilación
<i>Arbutus unedo</i>	0,06	0,07	0,09	0,10	0,12	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN 1 (2)
<i>Betula spp.</i>	0,06	0,08	0,09	0,11	0,12	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN 1 (2)
<i>Carpinus betulus</i>	0,06	0,08	0,09	0,11	0,12	Asimilación
<i>Castanea sativa</i>	0,12	0,16	0,19	0,22	0,25	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN 1 (2)
<i>Ceratonia siliqua</i>	0,06	0,08	0,09	0,11	0,12	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN 1 (2)
<i>Cedrus atlantica</i>	0,35	0,63	1,30	2,88	3,40	Asimilación
<i>Celtis australis</i>	0,29	0,72	1,01	1,44	1,90	Asimilación
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN 1 (2)
<i>Comus sanguinea</i>	0,04	0,11	0,21	0,35	0,40	Asimilación
<i>Corylus avellana</i>	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN 1 (2)
<i>Crataegus spp.</i>	0,04	0,11	0,21	0,35	0,40	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN 1 (2)
<i>Cupressus arizonica</i>	0,03	0,05	0,06	0,12	0,15	Asimilación
<i>Cupressus macrocarpa</i>	0,03	0,05	0,06	0,12	0,15	Asimilación
<i>Cupressus sempervirens</i>	0,03	0,05	0,06	0,12	0,15	Asimilación
<i>Erica arborea</i>	0,04	0,11	0,21	0,35	0,40	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN 1 (2)
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0,40	1,00	1,57	2,23	3,53	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN 1 (2)
<i>Eucalyptus globulus</i>	0,57	1,39	2,04	3,00	4,87	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN 1 (2)
<i>Fagus sylvatica</i>	0,00	0,02	0,03	0,07	0,23	Tablas producción Madrigal (3)
<i>Fraxinus spp.</i>	0,09	0,11	0,18	0,29	0,33	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN 1 (2)
<i>Ilex aquifolium</i>	0,03	0,04	0,05	0,08	0,10	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN 1 (2)
<i>Ilex canariensis</i>	0,04	0,04	0,05	0,12	0,14	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN 1 (2)
<i>Juglans regia</i>	0,12	0,16	0,19	0,22	0,25	Asimilación
<i>Juniperus oxycedrus, J. communis</i>	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (Coníferas) IFN 1 (1)
<i>Juniperus phoenicea</i>	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (Coníferas) IFN 1 (1)
<i>Juniperus thunberga</i>	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (Coníferas) IFN 1 (1)
<i>Larix spp.</i>	0,34	0,43	0,52	0,60	0,69	Tabla 201 e inventario de emisiones 1990-2012
<i>Laurus azorica</i>	0,04	0,11	0,21	0,35	0,40	Asimilación
<i>Laurus nobilis</i>	0,04	0,11	0,21	0,35	0,40	Asimilación
<i>Malus sylvestris</i>	0,15	0,19	0,22	0,26	0,30	Asimilación
<i>Myrica faya</i>	0,04	0,11	0,21	0,35	0,40	Asimilación
<i>Myrtus communis</i>	0,04	0,11	0,21	0,35	0,40	Asimilación
<i>Olea europaea</i>	0,04	0,05	0,08	0,10	0,11	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN 1 (2)
<i>Phillyrea latifolia</i>	0,03	0,03	0,09	0,17	0,20	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN 1 (2)
<i>Phoenix spp.</i>	0,31	0,57	0,90	1,24	1,37	Asimilación
<i>Picea abies</i>	0,35	0,63	1,30	2,88	3,40	Asimilación

(1) Tabla 201 del Inventario Forestal Nacional 3 y Anexo 2 de la publicación "Las Coníferas en el primer Inventario Forestal Nacional".
(2) Tabla 201 del Inventario Forestal Nacional 3 y Anexo 2 de la publicación "Las Frondosas en el primer Inventario Forestal Nacional".
(3) Madrigal Collazo, J.G. et al., Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid, 1999. Tablas de producción para los montes españoles.
(4) Tabla 201 del Inventario Forestal Nacional 3 e Informe de emisiones de gases de efecto invernadero en España 1990-2012.



Especie	Absorciones estimadas (t CO ₂ /pie)					Fuente
	20 años	25 años	30 años	35 años	40 años	
<i>Pinus canariensis</i>	0,03	0,07	0,14	0,16	0,18	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (Coníferas) IFN1 (1)
<i>Pinus halepensis</i>	0,03	0,04	0,06	0,07	0,16	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (Coníferas) IFN1 (1)
<i>Pinus nigra</i> Sistema Ibérico	0,03	0,04	0,05	0,11	0,13	Tablas producción Madrigal (3)
<i>Pinus nigra</i> (Resto)	0,03	0,02	0,03	0,05	0,08	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (Coníferas) IFN1 (1)
<i>Pinus pinaster</i> ssp. <i>atlantica</i> Zona Norte interior	0,23	0,41	0,58	0,74	0,91	Tablas producción Madrigal (3)
<i>Pinus pinaster</i> ssp. <i>atlantica</i> Zona Norte costera	0,33	0,54	0,69	0,81	0,92	Tablas producción Madrigal (3)
<i>Pinus pinaster</i> ssp. <i>mesoamericanus</i> Sistema Central	0,12	0,15	0,18	0,26	0,36	Tablas producción Madrigal (3)
<i>Pinus pinaster</i> (Resto)	0,02	0,03	0,03	0,08	0,09	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (Coníferas) IFN1 (1)
<i>Pinus pinea</i>	0,06	0,10	0,17	0,20	0,29	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (Coníferas) IFN1 (1)
<i>Pinus radiata</i>	0,46	0,79	1,17	1,56	1,78	Tablas producción Madrigal (3)
<i>Pinus sylvestris</i> Sistema Central	0,02	0,05	0,06	0,15	0,17	Tablas producción Madrigal (3)
<i>Pinus sylvestris</i> Sistema Ibérico	0,03	0,04	0,05	0,09	0,11	Tablas producción Madrigal (3)
<i>Pinus sylvestris</i> Pirineos	0,04	0,05	0,07	0,11	0,17	Tablas producción Madrigal (3)
<i>Pinus sylvestris</i> (Resto)	0,03	0,05	0,06	0,12	0,15	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (Coníferas) IFN1 (1)
<i>Pinus uncinata</i>	0,04	0,05	0,09	0,11	0,12	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (Coníferas) IFN1 (1)
<i>Pistacia lentiscus</i>	0,04	0,11	0,21	0,35	0,40	Asimilación
<i>Platanus hispanica</i>	0,21	0,46	0,67	0,92	1,26	Asimilación
<i>Populus alba</i>	0,21	0,46	0,67	0,92	1,26	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN1 (2)
<i>Populus nigra</i>	0,29	0,72	1,01	1,44	1,90	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN1 (2)
<i>Populus x canadensis</i>	0,34	0,81	1,18	1,55	2,02	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN1 (2)
<i>Prunus</i> spp.	0,15	0,19	0,22	0,26	0,30	Asimilación
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0,35	0,63	1,30	2,88	3,40	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (Coníferas) IFN1 (1)
<i>Pyrus</i> spp.	0,15	0,19	0,22	0,26	0,30	Asimilación
<i>Quercus canariensis</i>	0,05	0,06	0,13	0,15	0,17	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN1 (2)
<i>Quercus faginea</i>	0,04	0,05	0,10	0,11	0,13	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN1 (2)
<i>Quercus ilex</i>	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	Tabla 201 e inventario de emisiones 1990-2012
<i>Quercus petraea</i>	0,06	0,07	0,18	0,21	0,24	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN1 (2)
<i>Quercus pubescens</i>	0,07	0,12	0,15	0,23	0,26	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN1 (2)
<i>Quercus pyrenaica</i>	0,05	0,07	0,15	0,17	0,20	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN1 (2)
<i>Quercus robur</i>	0,07	0,16	0,19	0,22	0,34	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN1 (2)
<i>Quercus rubra</i>	0,07	0,18	0,22	0,35	0,40	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN1 (2)
<i>Quercus suber</i>	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	Tabla 201 e inventario de emisiones 1990-2012
<i>Rhamnus alaternus</i>	0,04	0,11	0,21	0,35	0,40	Asimilación
<i>Robinia pseudoacacia</i>	0,06	0,16	0,19	0,34	0,39	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN1 (2)
<i>Salix</i> spp.	0,31	0,57	0,90	1,24	1,37	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN1 (2)
<i>Sorbus</i> spp.	0,17	0,21	0,25	0,29	0,33	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN1 (2)
<i>Tamarix</i> spp.	0,03	0,07	0,08	0,14	0,16	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN1 (2)
<i>Taxus baccata</i>	0,03	0,05	0,06	0,12	0,15	Asimilación
<i>Tetradiandra articulata</i>	0,03	0,07	0,08	0,14	0,16	Asimilación
<i>Thuja</i> spp.	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	Asimilación
<i>Tilia</i> spp.	0,05	0,06	0,09	0,12	0,13	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN1 (2)
<i>Ulmus</i> spp.	0,18	0,23	0,27	0,50	0,58	Tabla 201 del IFN3 y Anexo 2 (frondosas) IFN1 (2)

(1) Tabla 201 del Inventario Forestal Nacional 3 y Anexo 2 de la publicación "Las Coníferas en el primer Inventario Forestal Nacional"

(2) Tabla 201 del Inventario Forestal Nacional 3 y Anexo 2 de la publicación "Las Frondosas en el primer Inventario Forestal Nacional"

(3) Madrigal Collazo, J.G. et al., Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid, 1999, Tablas de producción para los montes españoles

(4) Tabla 201 del Inventario Forestal Nacional 3 e Informe de emisiones de gases de efecto invernadero en España 1990-2012



ANEXO N° 3

ANEXO 2

CLASIFICACIÓN SEGÚN CATASTRO		CLASIF REGISTRO	CLASIFICACIÓN SEGÚN CATASTRO	CLASIF REGISTRO	
SIGLAS	NOMBRE		SIGLAS	NOMBRE	
A-	Arrozales regadio	CULTIVO	PG	Robledal	BOSQUE
AB	Huerta nego arenada agua elevada	CULTIVO	FH	Haya	BOSQUE
AK	Huerta nego arenada agua comprada	CULTIVO	PK	Frutales nego agua comprada	CULTIVO
AM	Almendro secano	CULTIVO	FM	Melocotón regadio	CULTIVO
AQ	Avellanos secano	CULTIVO	FN	Manzano regadio	CULTIVO
AP	Vita oliver -suelo-	CULTIVO	PP	Peral regadio	CULTIVO
AR	Almendro regadio	CULTIVO	FR	Frutales regadio	CULTIVO
AT	Espartal o atocher	PASTIZAL	PS	Alcornocal	BOSQUE
AV	Avellano regadio	CULTIVO	G-	Algarrobo secano	CULTIVO
BC	Ganado bovino carne	PASTIZAL	GB	Graveras y andos	ASENTAMIENTO
BI	Superficie mínima BICE eólico solar	ASENTAMIENTO	GR	Algarrobos de regadio	CULTIVO
BL	Ganado bovino leche	PASTIZAL	HB	Huerta riego agua elevada	CULTIVO
BM	Ganado bovino mixto	PASTIZAL	HC	Hidrografía construida (embalse, canal...)	HUMEDAL
C-	Labor o labrado secano	CULTIVO	HE	Huerta especial	CULTIVO
CA	Centra	ASENTAMIENTO	HG	Hidrografía natural (río, laguna, arroyo...)	HUMEDAL
CB	Cereal riego agua elevada	CULTIVO	HK	Huerta riego agua comprada	CULTIVO
CC	Labor o labrado con castaños secano	CULTIVO	HR	Huerta regadio	CULTIVO
CE	Labor o labrado con encinas secano	CULTIVO	HS	Huerta secano	CULTIVO
CF	Labor o labrado con frutales regadio	CULTIVO	I-	Improductivo	OTROS USOS
CG	Labor o labrado con robles secano	CULTIVO	IF	Invernaderos flores	CULTIVO
CH	Chumberas secano	CULTIVO	IH	Invernaderos hortalizas	CULTIVO
CK	Cereal riego agua comprada	CULTIVO	IN	Invernaderos en general	CULTIVO
CM	Ganado cabrío carne	PASTIZAL	IO	Invernaderos ornamentación	CULTIVO
CN	Cereal secano abonado	CULTIVO	IR	Plantas industriales regadio	CULTIVO
CO	Cereal secano boquera	CULTIVO	KB	Sabinar pies sueltos	PASTIZAL
CR	Labor o labrado regadio	CULTIVO	KC	Castaños pies sueltos	PASTIZAL
CS	Labor o labrado con alcornoques secano	CULTIVO	KE	Encinar pies sueltos	PASTIZAL
E-	Pastos	PASTIZAL	KG	Robles pies sueltos	PASTIZAL
EA	Edificaciones agrarias	ASENTAMIENTO	KF	Pinos pies sueltos	PASTIZAL
EE	Pastos con encinas	PASTIZAL	KR	Arboles de ribera pies sueltos	PASTIZAL
EG	Edificaciones Ganaderas	ASENTAMIENTO	KS	Alcornocales pies sueltos	PASTIZAL
EO	Pastos con Olivos	PASTIZAL	LE	Ganado lanar entrevero	PASTIZAL
ES	Eral -suelo-	PASTIZAL	LG	Ganado lanar alcudia	PASTIZAL
EU	Eucaliptus	BOSQUE	LM	Ganado lanar manchego	PASTIZAL
EX	Cultivo EX	CULTIVO	LP	Ganado lanar monte	PASTIZAL
F-	Frutales secano	CULTIVO	MA	Abeto	BOSQUE
FA	Cultivo FA	CULTIVO	MB	Monte bajo	BOSQUE
FC	Castañar	BOSQUE	ME	Enebro	BOSQUE
FE	Enchar	BOSQUE	MF	Especies mezcladas	BOSQUE



ANEXO 2

CLASIFICACIÓN SEGÚN CATASTRO		CLASIF REGISTRO
SIGLAS	NOMBRE	
MI	Mimbreras o cañaverales	PASTIZAL
MM	Pinar maderable	BOSQUE
MP	Pinar pínea o de fruto	BOSQUE
MR	Pinar resinable	BOSQUE
MS	Sabina	BOSQUE
MT	Matomai	PASTIZAL
MX	Pinsapós	BOSQUE
NB	Agnos riego agua elevada	CULTIVO
NJ	Naranja	CULTIVO
NK	Agnos riego agua comprada	CULTIVO
NL	Limonero	CULTIVO
NM	Mandarino	CULTIVO
NR	Agnos regadio	CULTIVO
NS	Agnos secano	CULTIVO
O-	Olivos secano	CULTIVO
OK	Olivos riego agua comprada	CULTIVO
OR	Olivos regadio	CULTIVO
OY	Olivar -suelo-	CULTIVO
OZ	Olivar secano -suelo-	CULTIVO
PA	Plantas aromáticas	CULTIVO
PC	Ganado porcino cebo	PASTIZAL
PD	Prados o praderas	PASTIZAL
PF	Piscifactorias	ASENTAMIENTO
PL	Palmar	CULTIVO
PM	Palmera secano	CULTIVO
PR	Prado o Praderas de regadio	PASTIZAL
PT	Plátanos regadio	CULTIVO
PV	Ganado porcino reproductor	PASTIZAL
PZ	Pozos, Balsas, Charcas, Sondeos	HUMEDAL
R-	Higueras secano	CULTIVO
RI	Arboles de ribera	BOSQUE
RR	Higueras regadio	CULTIVO
SM	Salinas marítimas	HUMEDAL
ST	Salines continentales	HUMEDAL
TF	Frutales pies sueltos	CULTIVO
TO	Olivos pies sueltos	CULTIVO
TR	Tierras	OL
U-	Zona urbana y diseminado urbano	ASENTAMIENTO

CLASIFICACIÓN SEGÚN CATASTRO		CLASIF REGISTRO
SIGLAS	NOMBRE	
V-	Villa secano	CULTIVO
VB	Parami negro agua elevada	CULTIVO
VC	Caza	CULTIVO/BOSQUE
VK	Parami negro agua comprada	CULTIVO
VO	Villa olivar secano	CULTIVO
VP	Parrales regadio	CULTIVO
VR	Vifedos regadio	CULTIVO
VS	Villa suelo	CULTIVO
VT	Via de comunicación de dominio público	ASENTAMIENTO
Z-	Zumaque secano	CULTIVO