

INFORME FINAL SOBRE LOS TRABAJOS REALIZADOS DENTRO DEL CONTRATO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA “FIJACIÓN DE CARBONO POR LAS ESPECIES FORESTALES Y DE MATORRAL EN EL PARQUE NATURAL DEL ALTO TAJO”



INTRODUCCIÓN

El objeto del contrato entre la Dirección General de Política Forestal y Espacios Naturales de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) es la estimación del carbono fijado por las distintas especies forestales arbóreas y de matorral en los ecosistemas del Parque Natural del Alto Tajo.

La mitigación del cambio climático por medio de los sistemas forestales al actuar como fijadores de CO₂ acumulando el carbono en su biomasa, ofrece una oportunidad desde el sector forestal para contribuir a la lucha contra el cambio climático global. Pero no sólo es suficiente con conocer que los bosques realizan esta función fundamental, es necesario conocer las cantidades que tienen almacenadas y su potencial de almacenamiento futuro, con el fin que la gestión forestal disponga de esa información no sólo para su conservación, sino también para permitir su aumento por medio de la aplicación de las técnicas selvícolas adecuadas. Con estos antecedentes, la estimación del carbono que está fijado por la vegetación arbórea y de matorral en los ecosistemas forestales del Parque Natural del Alto Tajo aparece como punto primordial para considerar la magnitud de este importante servicio ecosistémico que prestan.

El Parque Natural del Alto Tajo cuenta dentro de su superficie protegida con una gran área poblada por especies forestales, formando tanto densos bosques como formaciones más abiertas, estando alguna de ellas dominadas por especies de matorral o arbustos. A partir de los datos cartográficos de las agrupaciones de vegetación dominante existentes en el Parque, los montes arbolados ocupan un 77,2% del territorio y las formaciones de matorral un 14,4%. Estas últimas formaciones también aparecen en un gran número de hectáreas bajo el estrato arbóreo o cuando la espesura de la masa es defectiva en los claros, aumentando su importancia no sólo a nivel superficial sino también a nivel ecológico.

Con estos trabajos de cuantificación del carbono almacenado en los sistemas forestales se da un paso importante para dar a conocer, comparar y valorar en su medida la función sumidero del Parque Natural del Alto Tajo.

ACTUACIONES

El estudio que se lleva a cabo se ha dividido en tres fases operativas (Figura 1), en función de la información requerida y del tipo de vegetación donde se va a cuantificar el carbono fijado (especies arbóreas y especies arbustivas), ya que van a necesitar un enfoque diferente por la disponibilidad de información de partida, ya sean modelos o valores medios a utilizar para llegar a la estimación final.



Figura 1. Fases operativas del proceso de estimación del carbono fijado por las especies forestales en el Parque Natural del Alto Tajo.

Fase 1. Identificación de la información existente para la realización de la estimación de carbono

En función del tipo de vegetación de la que se va a realizar la estimación de carbono se han identificado diferentes fuentes de información que van a condicionar la metodología a seguir. A continuación se hace un resumen de todas ellas, enumerando los condicionantes de usar una u otra aproximación para la estimación de carbono.

Los diferentes usos del suelo que se han considerado en este estudio han sido identificados a partir de la cartografía del Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN) del Parque Natural del Alto Tajo, realizándose diferentes agrupaciones para realizar una clasificación adaptada a la metodología a utilizar y la presentación de resultados.

En la Tabla 1 se muestra la distribución principal de la superficie en función del uso del suelo.

Tabla 1. Clasificación general de las superficies dentro del Parque Natural del Alto Tajo

Tipología	Descripción	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Forestal arbolada	<i>Bosques arbolados</i>	133.283,1	77,2
Matorral/arbustedos	<i>Terrenos no arbolados</i>	24.938,3	14,4
Cultivos	<i>Agricultura</i>	11.698,3	6,8
Pastos	<i>Pastos, majadales</i>	2.045,6	1,2
Poblaciones	<i>Urbano</i>	467,8	0,3
Láminas de agua	<i>Ríos, embalses, lagunas</i>	176,5	0,1
TOTAL		172.609,5	

Fuente: Modificado de la cartografía del PORN del PN Alto Tajo

Vegetación arbórea

- *Superficie de ecosistemas forestales arbolados en el Parque Natural del Alto Tajo*

A partir de la cartografía de formaciones arboladas, se ha identificado que los pinares de pino laricio (*Pinus nigra* Arn.) son la formación forestal dominante en el Parque Natural con más de un 40% de la superficie forestal, seguida por pinares de pino silvestre (*P. sylvestris* L.) y los sabinars (*Juniperus thurifera* L.). La Tabla 2 presenta las diferentes formaciones arboladas en orden de importancia superficial.

Tabla 2. Formaciones arboladas en el Parque Natural del Alto Tajo.

Formación arbórea	Especie principal	Superficie (ha)	Porcentaje
Pinar de laricio	<i>Pinus nigra</i>	53.389,6	40,1
Pinar albar	<i>Pinus sylvestris</i>	25.112,4	18,8
Sabinar	<i>Juniperus thurifera</i>	23.192,6	17,4
Pinar de negral	<i>Pinus pinaster</i>	12.558,3	9,4
Pinar de carrasco	<i>Pinus halepensis</i>	6.305,4	4,7
Encinar	<i>Quercus ilex</i>	5.261,5	3,9
Cultivos abandonados con sabina	<i>Juniperus thurifera</i>	3.399,0	2,6
Quejigar	<i>Quercus faginea</i>	2.054,3	1,5
Sabinars negros	<i>Juniperus phoenicea</i>	1.258,6	0,9
Melojar	<i>Quercus pyrenaica</i>	411,5	0,3
Tileda-avellaneda	<i>Tilia -Corylus</i>	272,1	0,2
Plantaciones ribera	<i>Populus- Salix</i>	67,8	0,1
TOTAL		133.283,1	100,0

Fuente: Modificado de la cartografía del PORN del PN Alto Tajo

- *Datos LIDAR*

Una de las principales fuentes de información sobre existencias vegetales son aquellas que tienen su origen en vuelos con tecnología LIDAR (*Light Detection and Ranging*). La Consejería de Agricultura, Medio Ambiente y Desarrollo Rural cuenta con un sistema para la gestión de la información forestal de Castilla La Mancha denominado GINFOR (<http://visores.castillalamanca.es/ginfor>) del cual se puede extraer información para diferentes estratos arbolados, utilizando como base la información LIDAR. A partir de este sistema es posible descargar datos regionales para una zona de interés, por ejemplo datos para el Parque Natural del Alto Tajo, que es posible utilizar en un Sistema de Información Geográfica.

Las variables de interés a descargar que van ser utilizadas en este proyecto son el volumen con corteza (fuste maderable), la biomasa de copa y raíces que comprenden las fracciones de ramas de distintos tamaños, hojas/acículas y raíces, el incremento anual del volumen con corteza y el número de pies por hectárea, que servirán de ayuda al cálculo de las cantidades de carbono existentes en los sistemas forestales.

La información no está disponible para toda la superficie forestal del Parque Natural, así, solamente está disponible para una serie de estratos definidos en función de la vegetación, tanto de la especie principal como de la composición específica. Por tanto, existe información disponible para diferentes tipos de pinares tanto monoespecíficos como mezclados:

- Pinares de *Pinus nigra*
- Pinares de *P. pinaster*
- Pinares de *P. sylvestris*
- Pinares de *P. halepensis*
- Pinares de *P. pinea*
- Encinares (*Quercus ilex*)
- Melojares (*Q. pyrenaica*)
- Mezclas de especies del género *Quercus*

En cómputo de área o superficie esto supone casi un 61% de la superficie del Parque Natural, quedando un 21% de superficie arbolada y un 14% con vegetación de matorral sin datos a partir de esta fuente de información. La superficie restante (4%) se reparte entre cultivos puros (2%) y otros usos (2%) como pastizales, poblaciones, y láminas de agua.

- *Ordenaciones de montes arbolados*

Las ordenaciones son una de las fuentes de datos de inventario más importantes que se han encontrado. Los datos de inventario proceden parcelas realizadas en un muestreo adecuado para la estimación del volumen maderable, con un error concreto y conocido. Una de las mayores limitaciones para el uso de esta información es que solamente existen ordenaciones disponibles en algunos montes públicos (Tabla 3). Y, además, la gran mayoría de las ordenaciones que se disponen han sido realizadas en montes de utilidad pública donde la formación arbolada más importante era el pinar dada la importancia tradicional del producto principal (madera), cuantificándose posibilidades de aprovechamiento a partir de tratamientos selvícolas (fundamentalmente claras) y/o cortas de regeneración (cortas finales). Otras formaciones arboladas distintas de estos pinares, por ejemplo sabinares, quejigares o encinares, se encuentran muy poco representados dentro de estos inventarios.

A partir de los datos de esta fuente se dispondría de información para un 56% del territorio forestal (74.920 ha), si toda la superficie ordenada hubiese sido inventariada. Sin embargo, como la superficie sobre la que se realizó el inventario forestal fue casi en exclusiva pinar (no existen casi inventarios en esos montes ordenados de zonas que no sean pinar) ya que es la superficie sobre la que se planea la gestión en las ordenaciones, la superficie forestal sobre la que existe información es menor. Se ha estimado que algo más de un 45% de la superficie ordenada es la que unta con información de inventario (~60.000 ha) dejando el otro 55% de la superficie ordenada en Montes Públicos sin información.

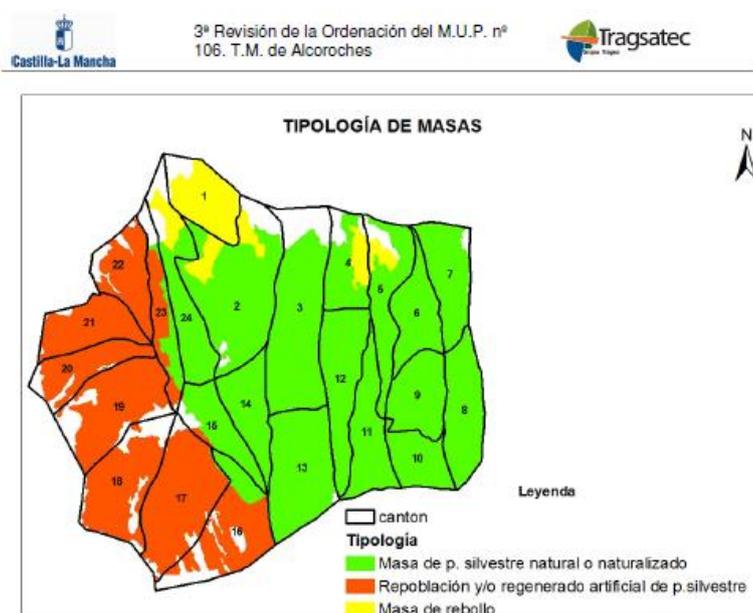


Figura 2. Zonas de vegetación en el Monte de UP 106 (TM Alcoroches) en el Parque Natural del Alto

Tabla 3. Ordenaciones de montes arbolados disponibles para el cálculo de biomasa y carbono.

Montes Utilidad Pública (MUP)	Término Municipal
56	Arbeteta
57, 58	Armallones
63, 64, 87, 88, 89, 215, 216	Zaoreias
66, 67, 68	Ocentejo
80, 81	Valtablado del Río
83, 234	Villanueva de Alcorón
106	Alcoroches
109, 303	Alustante
117, 118	Fuembellida
124, 125, 126, 239, 240	Cobeta
128, 144, 145, 146, 148, 197, 198, 241	Corduente
133, 135, 304	Checa
134	Sierra Molina
136, 137	Chequilla
151	Megina
154, 155, 156, 302	Olmeda de Cobeta
157, 158, 159, 305	Orea
162	Peñalén
163, 164, 165, 166, 167	Peralejo de las Truchas
168	Pinilla de Molina
179, 180, 181, 182, 183, 184	Poveda de la Sierra
190, 191	Selas
194, 195, 196	Taravilla
200	Terzaga
206	Torremocha del Pinar
212, 213, 214	Valhermoso
283	Buenafuente
292, 293, 294	Ánguita
297	Riba de Saelices
298	Ablanque

- *Parcelas del Inventario Forestal Nacional*

La Base de Datos del Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3), disponible en la web del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación – MAPA, cuenta con una serie de parcelas de inventario dispuestas en una malla de 1 km² en terrenos forestales arbolados. En el Parque Natural del Alto Tajo (provincias de Cuenca y Guadalajara) hay ubicadas 626 parcelas (34 en Cuenca y 592 en Guadalajara) (Figura 3). Esta base de datos cuenta con la ventaja de disponer de parcelas en otras formaciones arboladas distintas de pinares o encinares (datos GINFOR). Esto es muy importante para disponer de valores de inventario en otros sistemas forestales, como por ejemplo en sabinares, formación forestal tan ampliamente representada dentro del Parque Natural del Alto Tajo.

Con la distribución espacial se asegura que, en principio, todas las formaciones arboladas existentes en el Parque Natural del Alto Tajo tengan parcelas del IFN3, pudiendo realizarse la estimación del carbono fijado en los sistemas forestales arbolados mediante esta metodología.

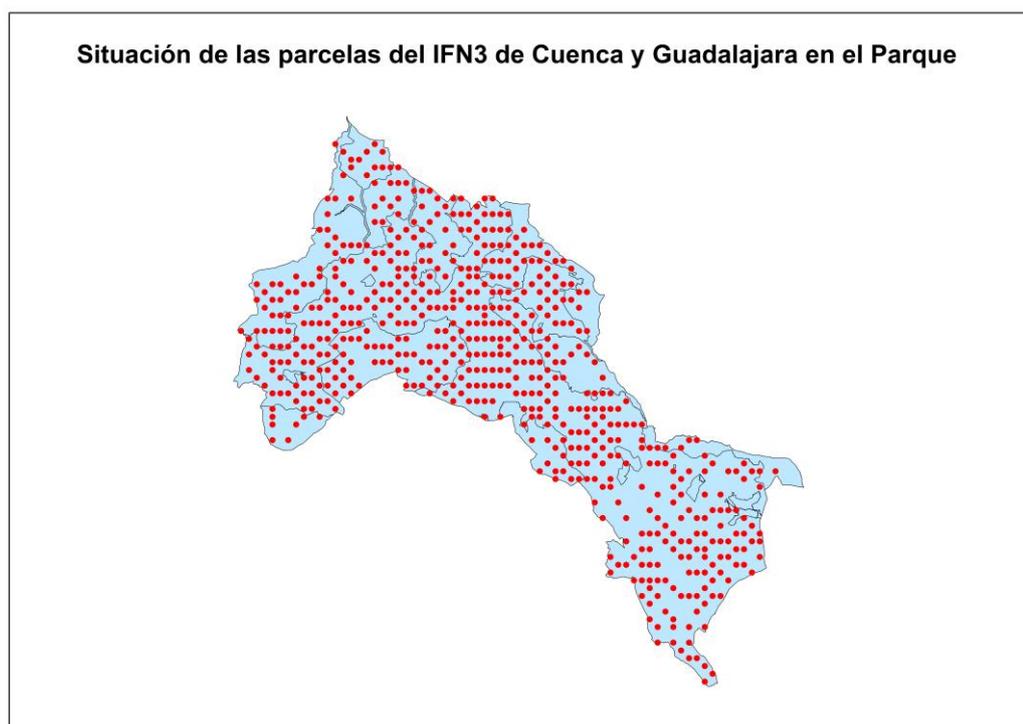


Figura 3. Localización de las parcelas del Tercer Inventario Forestal Nacional en el Parque Natural del Alto Tajo.

El reparto de parcelas del IFN3 en cada formación arbolada del PORN es la que se presenta a continuación:

- ✓ 106 parcelas en pinares de *Pinus sylvestris*
- ✓ 242 en pinares de *P. nigra*
- ✓ 25 en pinares de *P. halepensis*
- ✓ 63 en pinares de *P. pinaster*
- ✓ 84 en sabinares (*Juniperus thurifera*)
- ✓ 20 en encinares (*Quercus ilex*)
- ✓ 20 en quejigares (*Q. faginea*)
- ✓ 81 en otras formaciones, como formaciones abiertas o mixtas de *Juniperus*, *Quercus*, choperas,...

Vegetación arbustiva

- *Superficie de ecosistemas forestales de matorral en el Parque Natural del Alto Tajo*

Dentro de las superficies pobladas por las diferentes formaciones de matorral (Tabla 4), a partir de la información de la cartografía del PORN del Alto Tajo, se ha identificado como agrupaciones arbustivas más importantes los sabinares rastreros, seguido de los espinares mixtos y el aulagar-espliegar. La Tabla 4 muestra la importancia superficial de cada tipo de uso del suelo.

Tabla 4. Formaciones de matorral en el Parque Natural del Alto Tajo.

Formación matorral	Especie principal	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Sabinares rastreros	<i>Juniperus sabina</i>	9.598,2	38,5
Espinar mixto	<i>Prunus spp. / Rubus ulmifolius</i>	3.831,7	15,4
Aulagar-espliegar	<i>Genista scorpius - Lavandula angustifolia</i>	3.673,9	14,7
Cultivos aband. colonizados	<i>Prunus spp. / Rosa spp.</i>	2.813,2	11,3
Jarales de estepa	<i>Cistus laurifolius</i>	2.363,5	9,5
Tomillares	<i>Thymus spp.</i>	1.687,0	6,8
Bojedas	<i>Buxus sempervirens</i>	423,7	1,7
Cambronales	<i>Genista pumila</i>	327,8	1,3
Escobonales	<i>Genista florida - Cytisus purgans</i>	174,2	0,7
Romerales	<i>Rosmarinus officinalis</i>	33,2	0,1
Astrágalo	<i>Astragalus granatensis</i>	11,8	0,0
TOTAL		24.938,3	100,0

Fuente: Modificado de la cartografía del PORN del PN Alto Tajo

Fase 2. Estimación de la biomasa de la parte aérea y radical de las especies forestales arbóreas a partir de la información obtenida en la fase anterior

A partir de la aplicación GINFOR donde se puede obtener información proporcionada por los datos LIDAR, es posible obtener diferentes capas con datos del volumen con corteza del fuste maderable (obtenido mediante ecuaciones de cubicación), también del incremento de volumen del fuste maderable, o de la biomasa de ramas, hojas/acículas y raíces (obtenido mediante el empleo de modelos de biomasa) para una superficie determinada (monte, comarca, provincia o región). La información del volumen del fuste y del incremento de volumen puede convertirse a peso seco de biomasa de fuste utilizando la densidad básica de la madera, datos obtenidos en los trabajos de Gutierrez-Oliva y Plaza Pulgar (1967) y Gutierrez-Oliva y Fernández-Golfín (1997).

Si la fuente de información son los datos de inventario, tanto procedente de ordenaciones como del IFN, se pueden utilizar directamente modelos de estimación de biomasa. Así, en España existen modelos de estimación de biomasa para un gran número de especies forestales, que cuantifican la biomasa de la parte aérea y la de la parte radical. Estos modelos estiman la biomasa del árbol, realizándose por agregación la estimación de biomasa para una unidad de superficie. La información de partida (variables independientes) de estos modelos es el diámetro o la combinación del diámetro y la altura total del árbol. Así, para las especies más importantes encontradas en el Parque Natural del Alto Tajo se podrán utilizar los modelos de Montero *et al.* (2005) y los de Ruiz-Peinado *et al.* (2011; 2012). Esta metodología ya ha sido utilizada también con anterioridad para obtener stocks de carbono y crecimientos tanto a nivel monte, por ejemplo en el Pinar de Valsaín (Segovia) (Montero *et al.*, 2004) o los montes de Peñalén (Guadalajara) (Montero y Ruiz-Peinado, 2016); para zonas geográficas amplias como el estudio para la especie *Pinus pinea* en Andalucía (Montero *et al.*, 2004) o para los pinares de *Pinus nigra* en España (Montero *et al.*, 2005). Además, estos modelos anteriormente citados se están utilizando en la actualidad para la estimación de biomasa y carbono en el Cuarto Inventario Forestal Nacional de España (IFN4).

El paso desde la estimación de biomasa a la estimación de carbono se realiza utilizando el porcentaje de carbono que existe en la madera, estimado a partir de un análisis químico. Aunque en muchas ocasiones se recomienda el valor medio del 50% de carbono existente en la madera, existen datos para las especies que pueblan los montes en España. En este trabajo se van a utilizar los valores presentados por Ibáñez *et al.* (2002). Los valores medios observados para las diferentes especies se sitúan alrededor del valor medio recomendado (50%), aunque las coníferas presentan un valor menor y las frondosas un valor mayor. Por ello se utilizarán los valores específicos, ya que al disponer de información para cada especie arbórea, las cuantificaciones resultarán más precisas.

Hay que tener en cuenta la existencia de grandes incendios, como el de Riba de Saelices en el año 2005 (12.698 ha, aunque dentro del Parque la superficie afectó a 4.549 ha) o el de Chequilla en el año 2012 (1.182 ha), que implican una reducción en el stock de carbono sobre todo en las formaciones arboladas y que puede no haberse visto reflejado en las cartografías (mapas/LIDAR) y/o las bases de datos de inventario (ordenaciones/IFN) por haberse realizado con anterioridad. Así, estas zonas de bosque han pasado de estar pobladas por especies arbóreas (*Pinus pinaster* Ait. mayoritariamente en la zona de Riba de Saelices y *Pinus nigra* Arn. en la zona de Chequilla), a existir fundamentalmente en ambas zonas una mezcla de especies arbustivas (predominantemente *Cistus laurifolius* L.). En estas mismas zonas incendiadas, existen una regeneración en las zonas más húmedas con mezclas de especies arbustivas y especies de frondosas arbóreas que no presentan en la actualidad dicho porte (mayoritariamente *Quercus pyrenaica* Willd.). Estas zonas incendiadas no han sido contabilizadas dentro de esta fase y sí bajo la siguiente.

Fase 3. Estimación de la biomasa aérea de las especies arbustivas y de matorral a partir de la información disponible

El Centro de Investigación Forestal (CIFOR) del INIA cuenta con una gran base de datos de biomasa arbustiva y de matorral realizada dentro de varios proyectos de investigación y que sirven de base para la estimación que se realizarán en esta fase. Los estudios de Montero *et al.* (2013) y Pasalodos-Tato *et al.* (2015) donde se presentaron ecuaciones de predicción de biomasa en matorrales y arbustados, son el germen de esta base de datos de matorral. Hay que indicar que la biomasa sobre la que existe información es biomasa aérea, careciendo de información para la biomasa radical.

En esta base de datos figuran tanto las especies principales como la agrupación o formación principal en la que se pueden integrar, utilizando la clasificación realizada por López-Leiva (2017) en la “Tipología de cubiertas forestales no arboladas”. Esta clasificación de tipologías se ha realizado a partir de la información que suministra el Mapa Forestal Español (MFE) a escala 1:200.000, que es la única cartografía realizada hasta el momento que cubre la totalidad del territorio nacional con información de la composición de las cubiertas forestales no arboladas. La tipología propuesta por López-Leiva (2017) se basa en dos criterios principales a la hora de definir una agrupación. Así, el primer criterio de clasificación está basado en su estructura genérica para su diferenciación: arbustado, matorral o cubierta herbácea. El segundo criterio se basa en la composición y fisionomía dentro de la clase genérica, mediante la mención a la especie dominante, el grupo taxonómico de especies, el grupo fisionómico o la relación con características del sustrato.

A partir de los datos medios de peso de biomasa por hectárea o de modelos de estimación de biomasa de matorrales existentes en el Centro de Investigación Forestal (CIFOR) del INIA para distintas especies y formaciones de matorral, se podrá realizar una estimación de la biomasa existente en estas superficies.

Sin embargo, se ha detectado que algunas agrupaciones existentes en el Parque Natural del Alto Tajo no estaban bien representadas en esta base de datos del INIA-CIFOR, tras cotejar las agrupaciones propuestas por López-Leiva (2017) y las agrupaciones de matorral incluidas en la cartografía del PORN del Parque Natural del Alto Tajo.

Por ello se ha propuesto un muestreo dirigido hacia estas agrupaciones para realizar una estimación de biomasa más adecuada a las características de las formaciones encontradas, recogiendo mucho mejor la variabilidad de estos ecosistemas. Así, se han identificado las formaciones “Setos, bardas, orlas” donde se han muestreado zonas de *Berberis vulgaris* L. (arbo), “Arbustados de *Quercus ilex*” donde se han muestreado zonas de chaparras (encinas, pero ejemplares no arbóreos), “Jarales y matorrales de Cistáceas” donde se han muestreado zonas de *Cistus laurifolius* L. (jara estepa), dentro de la formación “Bujedos” se ha realizado un muestreo en esta agrupación (*Buxus sempervirens* L.), y en “Matorrales de leguminosas aulagoideas” en aquellas zonas de aulagar-espliegar (*Genista scorpius/Lavandula angustifolia* Mill.) para una mejor caracterización de las mismas.

En las zonas a muestrear se realizó una localización y replanteo de parcelas, medición de variables consideradas importantes para la cuantificación de biomasa, y posterior corta y pesado del material vegetal existente, junto con la recogida de muestras para su posterior tratamiento en laboratorio (secado en cámara para obtención del peso seco de biomasa) (Figuras 4, 5 y 6).

Para el paso de peso de biomasa a peso de carbono en las formaciones arbustivas y de matorral se puede utilizar, de nuevo (como en el caso de las especies arbóreas), el dato medio recomendado del 50% de carbono en la madera. Sin embargo, también existen valores específicos para un gran número de especies arbustivas y de matorral. Los valores aportados por Montero *et al.* (2013) van a ser utilizados en esta transformación.

En las zonas donde los matorrales han pasado a ser la formación vegetal dominante tras un incendio forestal (Riba de Saelices y Chequilla), se ha realizado un muestreo de biomasa del matorral dirigido para la identificación de las cantidades de biomasa existentes, ya que se trata de situaciones donde la vegetación arbustiva cuenta con una gran importancia, al desarrollarse más o menos rápidamente. Siguiendo lo presentado en el apartado anterior, se ha identificado como especie principal la jara estepa (*Cistus laurifolius*) aunque también aparecen otras especies arbustivas en menor medida en estas zonas, como por ejemplo el espliego (*Lavandula angustifolia*) o el tomillo (*Thymus* spp.). También hay que mencionar que en las zonas de vaguadas, con suelos más frescos por la presencia de humedad, aparecen especies frondosas arbóreas (*Quercus pyrenaica*, predominantemente, y también *Q. faginea*) aunque aún no tienen porte arbóreo, rodales que han sido también muestreados para su cuantificación de biomasa.



Figura 4. Replanteo de parcelas de matorral para la estimación de biomasa sobre *Cistus laurifolius* (Orea, Guadalajara)



Figura 5. Replanteo de parcelas de matorral para la estimación de biomasa sobre *Juniperus sabina* (Orea, Guadalajara)



Figura 6. Corta de parcelas de matorral para la estimación de biomasa de *Buxus sempervirens* (Taravilla, Guadalajara)

RESULTADOS

ECOSISTEMAS ARBOLADOS

Comparaciones de los resultados obtenidos a partir de las distintas fuentes de datos

Datos LIDAR

A partir de la información procedente de datos LIDAR (mediante la aplicación GINFOR) se han obtenido valores de volumen con corteza y la biomasa de copa y raíces para los diferentes estratos de vegetación presentes en el Parque Natural del Alto Tajo (no confundir con las formaciones de vegetación del PORN). Los valores de volumen han sido transformados a peso de biomasa seca del fuste aplicando el valor de densidad básica de la madera, los cuales sumados a los de biomasa de copa y raíces permiten obtener los stocks de carbono existentes en los sistemas forestales arbolados de los diferentes estratos.

La Tabla 5 muestra los valores de biomasa y carbono para cada estrato y el total que alcanza los 3.912.828 toneladas de Carbono almacenadas en la vegetación de los estratos considerados (107.231 ha, 61% de la superficie del Parque) para el año 2009 (año de realización del vuelo LIDAR). El valor de carbono medio ponderado por hectárea a partir de estos valores se sitúa en 36,5 t C/ha a fecha de inventario.

Los valores de carbono pueden actualizarse a la fecha actual empleando los partir de los incrementos medios de carbono y la información LIDAR acerca del diámetro medio cuadrático (dg) y el número de pies por hectárea (N).

Para el cálculo del crecimiento de biomasa se han utilizado los incrementos de biomasa obtenidos utilizando los modelos de estimación de Montero *et al.* (2004). Estos modelos sólo cuentan con el diámetro normal como variable predictora, facilitando el proceso de cálculo puesto que se pueden utilizar los incrementos diametrales disponibles para cada especie, sin necesidad de disponer de crecimientos en altura que pueden requerir otros modelos. Los crecimientos diametrales para *Pinus sylvestris* y *P. nigra* fueron obtenidos de los proyectos de ordenación de montes del Parque Natural, utilizando en el resto de especies aquellos que presenta el IFN3.

El valor de incremento anual de biomasa por árbol es el resultado de utilizar el modelo con el diámetro incrementado ($d+\Delta d$) y sustraer el valor del modelo con el diámetro sin incrementar (d) (Anexo 1). El paso a carbono se realizará multiplicando por el factor específico de carbono presente en la madera (Ibáñez *et al.*, 2002).

Tabla 5. Estimaciones de biomasa, carbono acumulado en el fuste y ramas y raíces y densidad de carbono por superficie para los estratos de vegetación para los que existe información LIDAR en GINFOR.

Estrato LIDAR	Vegetación	Superficie LIDAR (ha)	Vol. fuste (m³)	Biomasa fuste (toneladas)	Biomasa ramas y raíces (toneladas)	Carbono fuste (toneladas)	Carbono ramas y raíces (toneladas)	Carbono total en biomasa (toneladas)	Densidad C por superficie (t/ha)
1	<i>Pinus nigra</i> mono-específico	32.817	2.203.133	1.032.568	1.283.670	525.577	653.338	1.178.965	35,9
2	<i>P. nigra</i> mezclado	11.442	647.168	303.316	414.156	154.388	210.805	365.193	31,9
3	<i>P. pinaster</i> mono-específico	11.542	991.661	432.943	328.079	221.234	167.648	388.882	33,67
4	<i>P. pinaster</i> mezclado	396	23.410	10.220	10.921	5.223	5.581	10.803	27,3
5	<i>P. sylvestris</i> monoesp. y mezclado	32.974	3.581.762	1.479.898	1.502.828	753.268	764.940	1.518.208	46,1
6	<i>P. halepensis</i> mono-específico	801	31.951	14.308	23.666	7.140	11.810	18.949	23,7
7	<i>P. halepensis</i> mezclado	402	19.642	8.796	15.412	4.389	7.690	12.080	30,0
8	<i>Quercus ilex</i> mono-específico	8.229	141.691	108.227	292.879	51.408	139.117	190.525	23,1
9	<i>Quercus pyrenaica</i> mono-específico	326	7.419	5.530	12.559	2.627	5.966	8.593	26,4
10	Mezcla de <i>Quercus</i>	8.301	247.614	185.020	87.884	32.962	132.745	220.629	26,6
TOTAL		107.231		3.580.827	4.163.633	1.813.138	2.099.690	3.912.828	36,5

La información LIDAR que se ha obtenido sobre el diámetro cuadrático medio nos permite aplicar el incremento modular de biomasa específico de ese diámetro. Esta información aplicada al número de pies por hectárea nos permite obtener el valor de incremento en cada superficie y por agregación para cada estrato. Las diferentes superficies arboladas que fueron afectadas por el incendio forestal de Chequilla han sido correspondientemente reducidas por tipo de vegetación (estrato) para realizar una conveniente actualización de valores de carbono.

Conjuntando toda esta información, se ha obtenido el de carbono total fijado en los diferentes estratos de vegetación del Parque Natural (para los que existe información LIDAR manejable) actualizado al año actual (2018). Así, en la Tabla 6 se observan los diferentes valores de incremento de biomasa y carbono por superficie para cada estrato, el incremento de carbono total en cada estrato, así como la actualización del stock de carbono a la fecha actual. También se presenta la densidad de carbono media existente en cada estrato.

El carbono en los diferentes estratos de vegetación arbolada del Parque Natural del Alto Tajo identificados a partir de datos LIDAR se sitúa en 5.274.557 toneladas, lo que supone una densidad de carbono por superficie de 49,2 t C/ha.

Con este método de cálculo, como se ha informado anteriormente, solamente se puede estimar el carbono fijado por la vegetación que representan los estratos para los que existe información LIDAR manejable. Por ello el stock de carbono está referido a 107.231 ha, que supone el 61% de la superficie del Parque, o referido a superficie forestal arbolada se puede aproximar al 79% de la superficie. Se trata de pinares, encinares, melojares y otras mezclas de *Quercus*, donde en este último se podrían incluir también los quejigares.

Existe un grado de incertidumbre de la información procedente del LIDAR, tal y como informa la aplicación web GINFOR. Así, se informa que los datos procedentes de la información LIDAR para los estratos arbolados en Castilla-La Mancha deben ser calibrados si se utilizan a nivel monte. La misma aplicación GINFOR cuenta con una opción para el calibrado automático aportando parcelas temporales de inventario del monte por el mismo usuario. En el caso de estudio (Parque Natural del Alto Tajo), los datos se han descargado para un área mayor que monte pero de tamaño relativamente pequeño en relación al territorio total de la Comunidad Autónoma, para los cuales el sistema no informa que hay que realizar calibración. Por tanto, puede existir incertidumbre si se utilizan los valores LIDAR recortados a la escala del Parque Natural, dado que no se dispone de un inventario a tan amplia escala actualizado para la calibración. Por tanto, la información que se ha calculado mediante esta metodología debe ser manejada con precaución.

Tabla 6. Estimaciones de incremento de biomasa y carbono en el fuste y ramas y raíces, cantidades de carbono totales y densidad de carbono por superficie para los estratos de vegetación para los que existe información LIDAR en GINFOR.

Estrato LIDAR	Vegetación	Superficie LIDAR mod. (ha)	Inc. Biomasa (t/ha año)	Inc. C Biomasa (t/ha año)	Inc C (t/año)	C biomasa 2018 (t)	Densidad C (t/ha)
1	<i>Pinus nigra</i> monoespecífico	32.415	3,15	1,61	52.054	1.653.329	50,4
502	<i>P. nigra</i> mezclado	11.442	2,78	1,41	16.186	510.867	44,6
3	<i>P. pinaster</i> monoespecífico	11.542	2,25	1,15	13.247	508.101	44,0
4	<i>P. pinaster</i> mezclado	396	1,95	1,00	394	14.352	36,2
5	<i>P. sylvestris</i> monoesp. y mezclado	32.819	3,32	1,69	55.450	2.019.632	61,2
6	<i>P. halepensis</i> monoespecífico	801	1,61	0,80	644	24.746	30,9
7	<i>P. halepensis</i> mezclado	402	1,84	0,92	370	15.410	38,3
8	<i>Quercus ilex</i> monoespecífico	8.229	1,51	0,72	5.898	243.607	29,6
9	<i>Quercus pyrenaica</i> monoespecífico	326	1,09	0,52	168	10.107	31,0
10	Mezcla de <i>Quercus</i>	8.243	1,52	0,72	5.933	274.406	33,1
TOTAL		106.615	2,79	1,41	150.345	5.274.557	49,2

Datos Ordenaciones

A partir de los datos de inventario forestal que se han podido obtener de las ordenaciones de montes públicos de la provincia de Guadalajara que están dentro del Parque Natural, ha sido posible obtener cantidades de carbono fijadas por la vegetación. Como se ha comentado anteriormente, las formaciones arboladas sobre las que se realizó inventario fueron fundamentalmente pinares, por lo cual la información procedente de esta fuente representa muy bien este tipo de vegetación, dejando otros tipos de vegetación casi sin información.

La superficie ordenada en Montes de Utilidad Pública dentro del Parque Natural del Alto Tajo es de 74.920 ha, aunque la superficie sobre la que se realizó inventario (mayoritariamente áreas de pinar) ronda las 60.000 ha que será la superficie aproximada sobre la que se puedan hacer estimaciones de carbono fijado. Pese a que la superficie forestal que puede estar representada en esta cuantificación no es relativamente muy grande ya que se trata de un 45% de la superficie forestal arbolada, al centrarse en una formación importante como son los pinares por su importancia en la producción de servicios ecosistémicos (madera, protección de suelo, paisaje, biodiversidad, carbono, cultura,...) se considera que la cuantificación es potencialmente muy interesante y por ello se realiza la cuantificación a partir de estos datos.

A partir de los datos de número de pies por clase diamétrica y especie se han aplicado los modelos de Montero *et al.* (2005) para realizar las estimaciones a fecha del año de inventario. Para realizar la actualización a valores actuales de carbono, se ha calculado el incremento anual de carbono (a partir del incremento anual de biomasa) utilizando los modelos de biomasa anteriormente citados que sólo dependen del diámetro normal como variable predictora y utilizando los incrementos diametrales específicos. En el caso de *Pinus sylvestris* y *P. nigra* se han utilizado los incrementos diametrales anuales procedentes de los proyectos de ordenación mientras que para el resto de especies se han utilizado los que muestra el IFN3 para el periodo.

Los valores de incrementos anuales por clase diamétrica se calcularon utilizando el valor de biomasa obtenido en el modelo con el diámetro y su incremento ($d+\Delta d$) menos el modelo con el diámetro sin incremento (d) (ver Anexo 1), convertidos en carbono utilizando el factor específico de carbono en la madera.

Las superficies de pinar en los montes afectados por el incendio de Chequilla han sido disminuidas en su parte afectada para una conveniente actualización de valores de carbono.

Los valores de carbono almacenados en los distintos Montes de Utilidad Pública del Parque para la zona objeto de inventario se muestran en la Tabla 7 para la fecha actual (2018), así como la densidad de carbono por superficie (inventariada) de estos montes. También se ha estimado el carbono en los pies menores, aquellos con altura mayor de 1,30 m y diámetro normal mayor de 2,5 cm y menor de 7,5 cm.

En el Anexo 2 se presentan los valores de carbono existentes a la fecha de inventario para los diferentes MUP, con la superficie sobre la que se realizó el inventario y el incremento anual de carbono.

Tabla 7. Cantidades de carbono fijadas en la biomasa, pies menores y densidad de carbono por aérea y carbono en los a partir de los datos de los inventarios en las ordenaciones de montes arbolados en MUP dentro del Parque Natural del Alto Tajo para el año 2018.

MONTES UP	Superficie inv. 2018 (ha)	C biomasa 2018 (t)	Densidad C (t/ha)	C pies menores (t)
56	2.021	76.473	38	4.322
57-58	6.477	375.483	58	8.902
63 64	7.508	429.089	57	12.854
66 67 68	1.103	50.444	46	374
80 81	1.164	65.998	57	235
83 234	2.811	212.255	76	4.575
106	670	62.619	94	123
109 303	1.045	85.552	82	97
117 118	1.142	66.035	58	537
124 125 126 240	1.874	105.527	56	200
128 144 145 146 148 197 198 241	5.301	307.152	58	866
133 135 304	596	37.779	49	2.765
134	5.452	384.167	70	3.641
136 137	101	7.185	53	292
151	859	49.098	57	124
154 155 156 302	1.068	45.918	43	47
157 158 159 305	3.611	271.981	75	2.122
162	2.008	124.744	62	1.703
163 164 165 166 167	1.993	119.783	60	1.188
168	68	5.773	85	94
179 180 181 182 183 184	2.811	155.046	55	2.884
190	96	5.762	60	861
194 195 196	2.626	125.792	61	2.861
200	372	12.752	43	505
206	1.944	95.753	63	1.946
212 213 214	235	9.024	49	235
239	29	934	42	1.765
283	1.025	29.595	41	3.615
292 293	933	8.979	12	410
294	118	5.618	61	641
297	52	793	19	32
298	195	7.266	48	541
191	276	8.896	42	74
TOTAL PINAR ORDENADOS	57.582	3.426.702	59	61.432

Datos IFN

Un total de 574 parcelas del Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3) han sido utilizadas, de las 626 parcelas totales encontradas en terrenos forestales del Parque Natural del Alto Tajo, para la estimación del carbono acumulado en los ecosistemas forestales arbolados del Parque. Se han utilizado aquellas parcelas para las que existen datos de vegetación arbórea.

En cada una de estas parcelas se ha calculado la cantidad de carbono almacenado a partir de los datos de especie, diámetro, altura y número de pies por hectárea empleando los modelos de estimación de biomasa y carbono acumulados en las especies arbóreas (Ruiz-Peinado *et al.*, 2011; 2012).

Para asignar los valores de biomasa y carbono obtenidos mediante este cálculo a las superficies del Parque según el tipo de vegetación, se ha incluido cada parcela dentro de cada tipo de vegetación especificado en el PORN según la localización geográfica de la misma. Siguiendo este razonamiento, se ha encontrado que algunas parcelas presentaban una vegetación bastante diferente de la que tendrían según la cartografía. Esto es, porque la cartografía en su intento por mostrar la realidad intenta simplificar la misma para poder trabajar con ella. Siendo conscientes de ello, aunque la mayor parte de las parcelas se han incluido en el tipo de vegetación que la cartografía informaba, algunas de ellas han sido reclasificadas para una mejor representación de la realidad, a partir de la información específica encontrada en las mismas.

Para las formaciones arboladas de “*Melobar*” y “*Tileda-avellaneda*”, dado que no coincidieron parcelas del 3IFN en las formaciones del Parque Natural, los valores de biomasa y carbono se han imputado de otras formaciones o a partir de valores de otras fuentes.

Utilizando esta metodología, la cantidad de carbono en la biomasa de las especies arbóreas (biomasa aérea y biomasa radical) para 2004, el año de realización del IFN3 es de 4.830.678 toneladas de carbono (Tabla 8).

Para realizar la actualización a valores actuales de carbono se ha utilizado el incremento anual de carbono calculado a partir las ecuaciones de Montero et al. (2005) y los incrementos diametrales específicos, siguiendo la misma metodología explicada en el apartado anterior.

Tabla 8. Densidades de carbono por superficie, carbono total, e incrementos anuales de carbono para las formaciones arboladas del Parque Natural del Alto Tajo en el año 2004 (año de realización del IFN3 en Guadalajara).

Formación arbolada	Superficie (ha)	Inc. Anual C (t/ha año)	C biomasa 2004 (t)	Densidad C 2004 (t/ha)
Pinar de laricio	53.389,6	1,11	2.200.419	41,21
Pinar albar	25.112,4	1,43	1.302.642	51,87
Sabinar	23.192,6	0,39	450.085	19,41
Pinar de negral	12.558,3	1,31	473.557	37,71
Pinar de carrasco	6.305,4	0,67	138.474	21,96
Encinar	5.261,5	1,03	153.140	29,11
Cultivos con sabinas	3.399,0	0,07	10.081	2,97
Quejigar	2.054,3	0,62	50.915	24,78
Sabinares negros	1.258,6	0,11	27.518	21,86
Melojar*	411,5	0,38	12.536	30,43
Tileda-avellaneda*	272,1	0,34	4.375	16,08
Plantaciones ribera	67,8	15,34	6.937	102,32
TOTAL	133.283,1		4.830.679	36,24

* Valores de C imputados por no existir parcelas IFN en esas formaciones arboladas

Una vez calculados los incrementos anuales en cada parcela y tras la asignación de estos valores a la misma formación arbolada resultante de la clasificación de vegetación del PORN anteriormente indicada, se computó el incremento anual total de cada formación arbolada para realizar la actualización de cantidades de carbono almacenadas. Estos incrementos son crecimientos anuales brutos (Tabla 9), para obtener valores netos hay que incluir en los cálculos las reducciones debidas a cortas de aprovechamientos e incendios. No existen datos de cortas de aprovechamiento importantes, aunque sin embargo sí que se han contabilizado dos grandes incendios dentro del Parque Natural después del año de inventario. El incendio de Riba de Saelices en el año 2005 tuvo una superficie total quemada de 12.698 ha, aunque la superficie quemada dentro del Parque Natural fue de 4.549 ha, y el incendio de Chequilla en 2012 quemó 1.182 ha todas incluidas en el Parque. Estos incendios suponen una reducción del área arbolada considerando que no se han realizado repoblaciones en esas zonas y que las superficies arboladas ahora están pobladas por especies de matorral y en menor medida por especies arbóreas en la etapa de repoblado. Por ello, se determina que la aportación a la fijación de carbono por especies arbóreas es pequeña pudiéndose incluir estas áreas quemadas dentro del grupo de matorrales o arbustados, al estar mayoritariamente pobladas por ellas.

Utilizando los perímetros de los incendios y las capas de vegetación del PORN del Parque Natural del Alto Tajo, se ha estimado la superficie quemada por tipo de vegetación, para realizar las reducciones correspondientes al realizar la actualización de las cantidades de carbono almacenadas por la vegetación arbórea en el año 2018.

Para el caso de las superficies de plantaciones de ribera, se ha considerado que el stock de carbono es constante entre el inventario de 2004 (IFN3) y el año 2018. Estas plantaciones son fundamentalmente choperas con un turno óptimo entre 12 y 16 años (14 años como media) o de plantaciones de especies del género *Salix* de corta anual. Dado que han pasado 14 años entre el año 2004 (fecha del IFN3) y la fecha de 2018 (actualidad), las choperas estarán en similar estadio de crecimiento si todas han sido cortadas y plantadas tras corta, lo cual se encuentra muy cercano a la realidad. Por el posible abandono de alguna de estas zonas productoras, se supone que la superficie incendiada en estas formaciones no ha sido vuelta a plantar.

Así, la cantidad de carbono en la biomasa de las especies arbóreas (biomasa aérea y biomasa radical) actualizada al año 2018 es de 6.445.561 toneladas de carbono (Tabla 9).

Tabla 9. Superficies reducidas (descontadas las incendiadas), densidades de carbono por superficie y carbono total para las formaciones arboladas del Parque Natural del Alto Tajo actualizados al año 2018.

Formación arbolada	Superficie reducida (ha)	C biomasa 2018 (t)	Inc. Anual C (t)	Densidad C 2018 (t/ha)
Pinar de laricio	52.988,1	3.007.304	58.817	56,75
Pinar albar	24.873,0	1.788.184	35.568	71,89
Sabinar	23.095,4	574.300	9.007	24,87
Pinar de negral	9.270,0	519.571	12.144	56,05
Pinar de carrasco	6.305,4	197.619	4.225	31,34
Encinar	5.261,5	229.011	5.419	43,53
Cultivos con sabinas	3.399,0	13.412	238	3,95
Quejigar	1.996,5	66.813	1.238	33,46
Sabinares negros	1.258,6	29.456	138	23,40
Melojar*	264,7	9.470	101	35,78
Tileda-avellaneda*	272,1	5.670	93	20,84
Plantaciones ribera**	46,4	4.750	712	102,32
TOTAL	129.030,7	6.455.561	127.700	49,95

* Valores de C imputados por no existir parcelas IFN en esta formación arbolada

** Dado que se trata de cultivos de turno relativamente corto (12-16 años de turno, 14 de media), se considera que el stock de carbono es constante

ECOSISTEMAS ARBUSTIVOS

Los valores medios de carbono por superficie (densidad C) para las formaciones de matorral o arbustivas en su parte aérea (Tabla 10) han sido obtenidos de la Base de Datos del INIA-CIFOR o a partir de muestreos destructivos específicamente elaborados para la obtención de estos valores en zonas del Parque Natural.

No existe información cuantitativa para estas formaciones arbustivas, por ejemplo valores de cobertura del suelo por la vegetación arbustiva o alturas medias de la vegetación u otras que provengan de fuentes cartográficas o de inventarios de campo. Por ello no fue posible utilizar los modelos desarrollados para la estimación de biomasa, como los presentados por Montero *et al.* (2013) o Pasalodos-Tato *et al.* (2015). Por ese mismo motivo, tampoco es posible realizar una actualización de valores ya que solamente se cuenta con valores de extensión superficial, aunque en este apartado se presentan los crecimientos para informar del potencial efecto sumidero anual de estas formaciones.

Los valores de superficie de las formaciones de matorral han sido actualizados, a partir de los datos de la cartografía del PORN (Tabla 4) aumentándose por aquellas superficies arboladas que fueron incendiadas y que en la actualidad están pobladas por formaciones de matorral de forma casi exclusiva o donde el porte y la espesura de la vegetación arbórea son reducidos y pueden ser incluidos como parte de la formación arbustiva (Figura 7).



Figura 7. Zonas afectadas por el incendio de Riba de Saelices. El jaral de *Cistus laurifolius* ocupa grandes superficies junto con pies aislados de *Quercus pyrenaica* y *Pinus pinaster*.

A partir de los valores que se muestran en la Tabla 10 se ha cuantificado el almacén de carbono en las formaciones arbustivas y de matorral en 126.994 toneladas de Carbono.

Tabla 10. Densidad de Carbono por superficie, incrementos y valores totales para las formaciones de matorral presentes en el Parque Natural del Alto Tajo.

Formación matorral	Superficie incrementada (ha)	Densidad C (t C/ha)	Inc. Anual C (t/ha año)	C biomasa 2018 (t)	Inc. Anual C (t)
Sabinares rastreros	9.628,3	6,87	0,17	66.182	1.637
Espinar mixto	3.831,7	1,54	0,44	5.891	1.700
Aulagar-espliegar	3.771,1	4,43	0,79	16.706	2.995
Cultivos abandonados colonizados	2.834,5	0,56	0,04	1.584	127
Jarales de jara estepa	6.423,3	4,40	0,35	28.265	2.248
Tomillares	1.731,0	0,90	0,06	1.564	101
Bojedas	423,7	6,90	0,23	2.924	97
Cambronales	327,8	4,63	0,41	1.518	136
Escobonales	174,2	12,08	2,62	2.103	457
Romerales	33,2	7,41	0,68	246	23
Astrágalo*	11,8	0,74	0,10	9	1
TOTAL	29.190,6	4,35		126.994	9.522

* Se han imputado los valores de densidad de carbono por comparación

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- *Cantidades totales de carbono almacenadas en la vegetación*

La cantidad de carbono fijado en la vegetación arbórea (parte aérea y radical) y arbustiva (solamente parte aérea) dentro del Parque Natural del Alto Tajo se estima en 6.572.554 toneladas de carbono a fecha de 2018, utilizando como fuentes de datos la cartografía del PORN, la información del IFN3 para las parcelas incluidas en el Parque Natural, la base de datos de biomasa de matorral del INIA-CIFOR y la información de incendios forestales.

El incremento anual a partir del crecimiento de la vegetación es de 137.222 toneladas de carbono. Este incremento supone un 2,1% del stock de carbono almacenado en la vegetación.

La Tabla 13 muestra toda la información de fijación de carbono y de CO₂ para cada tipo de vegetación y para toda la superficie forestal.

Tabla 13. Cantidades de carbono en el Parque Natural del Alto Tajo sobre terrenos forestales en función del tipo de vegetación principal para el año 2018.

Formación	Superficie modificada (ha)	Densidad C (t/ha)	C biomasa 2018 (t)	Inc. C Anual (t)	CO ₂ biomasa (t)	Inc. Anual CO ₂ (t)
Arbolada	129.030,7	49,95	6.455.561	127.700	23.633.723	468.232
Matorrales/arbustados	29.190,6	4,35	126.994	9.522	465.644	34.915
FORESTAL			6.572.554	137.222	24.099.366	503.146

Aunque la representación superficial de los territorios cubiertos por matorrales y arbustos en el Parque Natural es importante, más de un 18% del terreno forestal está poblado por este tipo de vegetación, la contribución al stock de carbono es bastante más reducida, con un valor menor del 2% del total. Hay que hacer notar que la biomasa radical de las formaciones de matorral y arbustados no ha podido ser estimada por no disponer de modelos o información sobre los mismos, por tanto el carbono en estas formaciones está infraestimado. Pero no por ello es despreciable el papel de los mismos en el ciclo del carbono, ni tampoco el fundamental papel ecológico que desempeñan como colonizadores, restauradores de ecosistemas, protectores de suelo, regulación de los ciclos biogeoquímicos, por su riqueza del patrimonio genético tanto faunístico como florístico, por su contribución a la riqueza de paisajes y su potencial para colonizar y regenerar con rapidez en zonas quemadas, además de un notable potencial de producción de recursos y servicios para un desarrollo rural sostenible (San Miguel *et al.*, 2008).

- *Comparaciones e interpretación de resultados*

Para contextualizar los valores de stocks de carbono y fijación anual de carbono por la vegetación del Parque Natural del Alto Tajo, es necesario realizar su comparación con otros valores de emisiones anuales que permitan su puesta en escala. Así, por ejemplo se van a utilizar las emisiones per cápita en España o Castilla-La Mancha, o con las emisiones de un vehículo medio en España para su contraste.

Para el cálculo de las emisiones per cápita es necesario disponer de las emisiones totales para un periodo y de los habitantes totales.

Las emisiones anuales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en España durante el periodo 2009-2017 presentan como media más de 342.000 Gg de CO₂-eq. La población en este periodo ha oscilado entre 46,5 y 46,8 millones de habitantes. Así, para este lapso de tiempo (2009-2017) la media de emisiones de CO₂-eq por habitante en España se ha situado entre las 7-8 toneladas por habitante y año, con una media de 7,35 t CO₂-eq/ hab y año.

Considerando que las emisiones anuales en Castilla-La Mancha para el periodo 2010-2016 son de 18.986 Gg de CO₂-eq (JCCM, 2017) y su número de habitantes promedio de 2,07 millones, las emisiones de CO₂-eq por habitante alcanzan los 9,14 t CO₂-eq/ hab y año, situándose por encima de la media nacional.

La cantidad de CO₂ que fija anualmente la vegetación arborea y el matorral del Parque Natural del Alto Tajo equivale a las emisiones de 68.450 habitantes medios en España cada año. Referido a los valores de los habitantes de Castilla-La Mancha, que presentan un valor medio de emisiones per cápita más alto, el CO₂ que almacenan anualmente los montes del Parque equivale a las emisiones de 55.048 castellano-manchegos.

En relación al número de habitantes de la provincia de Guadalajara (253.310 habitantes) (INE, 2018) y sus emisiones totales calculadas (2.315.306 t CO₂-eq/año), el incremento anual de CO₂ fijado por la vegetación del Parque Natural del Alto Tajo supone un 22% de las emisiones. Se trata, a la vista de estos resultados, de un “pulmón” muy importante para las personas de esta provincia.

Si la comparación la realizamos con las emisiones de vehículos turismos, la vegetación del Parque Natural fija anualmente lo equivalente a las emisiones anuales de 419.289 coches de gama media (con emisiones de 120 g CO₂/km y una media de 10.000 km recorridos al año).

- *Fuentes de información. Comparación de metodologías*

Se han planteado en este estudio la utilización de diversas fuentes de información para la estimación del carbono fijado por la vegetación arbórea del Parque Natural del Alto Tajo. Las diferentes aproximaciones a su cálculo han sido explicadas en los apartados correspondientes, contando cada una de ellas con una serie de características diferentes.

La información procedente de los inventarios de las ordenaciones de Montes de Utilidad Pública presenta la ventaja de ser una información bastante exhaustiva de las zonas donde se ha realizado el inventario, que suele ser formaciones de pinar. Por el contrario, otras formaciones importantes en el Parque como los sabinares y frondosas no cuentan con información. Tampoco existe información de aquellos montes que no cuentan con ordenación. Los modelos utilizados fueron los de estimación de biomasa de Montero *et al.* (2005) que cuentan con el diámetro como variable predictora.

A partir de la información de los vuelos LIDAR se puede obtener diversa información para un número de estratos importantes de vegetación incluyendo pinares y otras formaciones de frondosas, aunque al igual que anteriormente no aporta información de sabinares. Con esta fuente de información se tiene una mayor superficie con información disponible para la estimación de carbono en la vegetación arbórea. Sin embargo, la incertidumbre en los valores obtenidos al proceder estos valores de cálculos obtenidos de la información para toda la superficie de Castilla-la Mancha que podría requerir de una calibración si se realizan cálculos a niveles superficiales menores. Por ejemplo, la aplicación GINFOR informa de que la utilización de los datos a nivel monte requiere una calibración con parcelas temporales repartidas por el monte (en un número variable según el tipo de masa) para calibrar los modelos generales obtenidos para el estrato de vegetación a nivel CCAA, al aplicarlo a una superficie bastante reducida. Sin embargo, no hace referencia a niveles intermedios de obtención de información como grupo de montes, comarcal o provincial que podrían requerir la misma calibración que el nivel monte, al comparar los modelos medios del estrato a escala Comunidad Autónoma con una superficie menor, aunque mayor al tamaño medio de un monte. Los modelos utilizados fueron los de estimación de biomasa de Montero *et al.* (2005) que cuentan con el diámetro como variable predictora.

Con la información procedente de las parcelas del IFN3 se dispone de información para casi la totalidad de las formaciones arboladas presentes en el Parque, lo que permite una estimación más precisa de los stocks de carbono de la vegetación arbolada. En este caso, los modelos utilizados fueron los de Ruiz-Peinado *et al.* (2011; 2012) que cuentan con el diámetro y la altura como variables predictoras.

En las tres metodologías, la actualización de valores a la fecha actual se ha realizado a partir de los incrementos de biomasa calculados con los incrementos diametrales para las distintas especies arbóreas utilizando los modelos de Montero *et al.* (2005). Las superficies incendiadas han sido también descontadas de manera idéntica en los cálculos de incrementos. Por tanto la metodología de actualización a fecha actual es común en todas las aproximaciones.

A la vista de estos condicionantes, parece bastante adecuado la elección de los datos del IFN3 para la estimación de cantidades de carbono, ya que no solo se puede disponer de una cuantificación de carbono completa en toda la superficie forestal del Parque, sino también disponer de estimaciones para cada formación arbolada y su densidad de carbono medio por hectárea y formación que es un valor informativo que puede tener mucho interés tanto para los gestores como para la población en general a la hora de valorar los distintos ecosistemas.

A la hora de valorar los resultados obtenidos según las distintas metodologías aplicadas, podría ser tentador realizar una comparación de los valores de carbono almacenados en la vegetación arbórea, aunque hay que hacer notar que al representar diferentes superficies y formaciones estas comparaciones deben ser tomadas con prudencia.

En la Tabla 11 se observan los valores resúmenes a partir de las tres aproximaciones metodológicas realizadas junto con los valores de superficie que representan y la densidad de carbono por superficie.

Tabla 11. Estimaciones de carbono en la vegetación arbolada en función de las tres metodologías aplicadas.

METODOLOGÍA	C total biomasa 2018 (t)	Superficie forestal (ha)	Densidad C (t/ha)
IFN3	6.455.561	129.031	50,0
Ordenaciones	3.426.702	57.582	59,5
LIDAR	5.243.028	107.231	49,2

Una de las primeras conclusiones es que a partir de la información que proporciona el IFN3 es posible cubrir una mayor superficie arbolada ya que se tiene información de todas las formaciones arboladas más importantes existentes en el Parque Natural del Alto Tajo. En el caso de los datos LIDAR, pero sobre todo en las ordenaciones, importantes formaciones arboladas quedan fuera de la cuantificación por no disponer de datos. Se constata que con los datos procedentes de ordenaciones se obtiene la estimación del carbono para un 45% de la superficie forestal arbolada, mientras que a partir de los datos LIDAR la cuantificación se ha realizado para un 83% del territorio forestal arbolado.

Sin embargo, se podría realizar una comparación para aquellas superficies comunes que están contabilizadas en las tres aproximaciones, esto es para las superficies de pinares. Si se recogen exclusivamente las superficies de pinares representadas por parcelas IFN3, los estratos LIDAR que presentan información para los pinares (tanto en masa pura como en masa mixta), junto con los datos de las ordenaciones (ya que presentan información exclusiva para este tipo de vegetación), es posible realizar comparaciones que pueden ser más informativas.

En la Tabla 12 se muestran los distintos valores de carbono total fijado, la superficie para la que se ha contabilizado y la densidad de carbono por superficie en función de la metodología aplicada para las formaciones de pinares.

Tabla 12. Estimaciones de carbono en pinares en función de las tres metodologías aplicadas.

METODOLOGÍA	C total biomasa pinares 2018 (t)	Superficie pinares (ha)	Densidad C pinares (t/ha pinar)
IFN3	5.512.679	93.436	59,0
Ordenaciones	3.426.702	57.582	59,5
LIDAR	4.716.821	90.374	52,5

Una de las primeras conclusiones es que los valores de densidad de carbono por superficie calculado a partir del IFN3 y de las ordenaciones son prácticamente idénticos (59,0 t C/ha pinar a partir del IFN3 y 59,5 t C/ha pinar calculado con las ordenaciones), mientras que los valores que se obtienen a partir de los datos LIDAR son menores (52,5 t C/ha pinar). Como se ha comentado anteriormente los datos procedentes del LIDAR cuentan con una incertidumbre que se incorpora a las estimaciones de carbono, hecho que hay que tener en cuenta.

También se puede afirmar que tanto con los datos de inventario de las ordenaciones que cuentan con una red intensa de muestreo en las superficies de pinar, como con los datos IFN3 que cuentan con una red con menor intensidad de muestreo aunque la distribución de parcelas permite recoger información para una mayor superficie del Parque, se han obtenidos resultados casi idénticos mostrándose como buenas fuentes de información para realizar estas cuantificaciones de carbono.

- *Opciones forestales para la fijación de carbono*

Para finalizar se realiza un recordatorio general sobre aquellas opciones forestales que podrían aumentar las cantidades de carbono en los ecosistemas forestales del Parque Natural del Alto Tajo.

Los stocks de carbono en la vegetación del Parque Natural del Alto Tajo están en el marco de la gestión forestal que se está realizando en la actualidad, que viene regulada por el Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG) del Parque Natural del Alto Tajo sobre todo en el tema de la regulación de los aprovechamientos forestales.

Existen diferentes propuestas de gestión forestal para mantener e incrementar el almacenamiento de carbono en los bosques (Bravo *et al.*, 2008; Bravo *et al.*, 2017; del Río *et al.*, 2017; Ruiz-Peinado *et al.*, 2017). Una de ellas, y que también es adelantada en el PRUG (aunque posiblemente no se pensó en ella con este fin), es el aumento del turno o edad de madurez consiguiendo con ello que se mantenga un stock de carbono durante mayor tiempo y los productos finales de madera a obtener puedan tener un uso de mayor vida útil. Otra de ellas es la aplicación de claras, generalmente de claras bajas, para permitir que la masa que quede presente un mejor vigor vegetativo por la reducción de competencia y se mejoren el valor y las dimensiones de la masa remanente, además de la reducción de biomasa para reducir el riesgo de incendio forestal. Las claras también puede ayudar al control de la composición específica, favoreciendo la entrada de otras especies o el desarrollo de especies que cuentan con pocos individuos en la masa, ya que las masas mixtas pueden aumentar la producción de servicios ecosistémicos (incluido el carbono) y ser más resistente frente a agentes bióticos. Aumentar la superficie de masas de diferentes especies también se puede llevar a cabo a partir de reforestaciones, hecho que también recoge el PRUG como necesidad en estas nuevas masas forestales. Las reforestaciones aumentarán los stocks de carbono al crear bien nuevas formaciones arboladas o aquellas que sustituyen a otras que han desaparecido por alguna causa. En estos casos, la diversidad en la composición de especies debe ser adecuada al sitio. El control de los incendios forestales evita la desaparición directa de grandes cantidades de carbono por desaparición de la vegetación, además expone al suelo a la erosión hasta que otra vez la vegetación, tanto arbórea como arbustiva, cubra el suelo.

La protección de suelos mediante el mantenimiento de masas forestales también es otra opción importante en la fijación de carbono. El suelo es también un importante reservorio de carbono en el monte, pero además contiene la materia orgánica, nutrientes y agua necesarios para el desarrollo de la vegetación. La importancia del suelo como almacén de carbono es de reseñar, ya que en la cuantificación realizada en este estudio no ha sido considerada, tanto en la parte mineral del suelo como en la parte orgánica (hojarasca) sobre el mismo. En siguientes estudios se debería realizar una estimación de los stocks de carbono para tener un conocimiento completo de todos los stocks de carbono existentes en el bosque.

REFERENCIAS

- BRAVO, F.; DEL RÍO, M.; BRAVO-OVIEDO, A.; RUIZ-PEINADO, R.; DEL PESO, C.; MONTERO, G. 2017. Forest Carbon Sequestration: The Impact of Forest Management. *In*: BRAVO, F.; LEMAY, V., JANDL, R. (Eds.) *Managing Forest Ecosystems: The Challenge of Climate Change*. Springer, pp 251-275
- DEL RÍO, M.; BARBEITO, I.; BRAVO-OVIEDO, A.; CALAMA, R., CAÑELLAS, I.; HERRERO, C.; MONTERO, G.; MORENO-FERNÁNDEZ, D.; RUIZ-PEINADO, R.; BRAVO, F. 2017. Mediterranean Pine Forests: Management Effects on Carbon Stocks. *In*: BRAVO, F.; LEMAY, V., JANDL, R. (Eds.) *Managing Forest Ecosystems: The Challenge of Climate*. Springer, pp 301-327
- GUTIERREZ OLIVA, A.; FERNÁNDEZ-GOLFÍN, J.I. 1997. Cálculo de la densidad y de las variaciones dimensionales de la madera. Equivalencias numéricas entre valores. *Revista Montes* 49: 28-33
- GUTIERREZ OLIVA, A.; PLAZA PULGAR, F. 1967. Características físico-mecánicas de las maderas españolas. Ministerio de Agricultura, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, 102 p
- IBAÑEZ, J.J.; VAYREDA, J.; GRACIA, C. 2002. Metodología complementaria al Inventario Forestal Nacional en Catalunya. *En*: BRAVO, F.; DEL RÍO, M.; DEL PESO, C. (Eds.) *El Inventario Forestal Nacional. Elemento clave para la gestión forestal sostenible*. Fundación General de la Universidad de Valladolid, pp. 67-77.
- INE. Instituto Nacional de Estadística. 2018. Demografía y población. <https://www.ine.es/welcome.shtml>
- JCCM. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. 2017. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Castilla-La Mancha. Serie 1990-2015. Consejería de Agricultura, Medio Ambiente y Desarrollo Rural. http://www.castillalamancha.es/sites/default/files/documentos/pdf/20170804/informe_resumen_inventario_1990-2015.pdf
- LÓPEZ LEIVA, C. 2017. Tipología de cubiertas forestales no arboladas para su aplicación en la cartografía forestal del territorio ibérico-balear. Cuantificación superficial de su significatividad. *Actas del VII Congreso Forestal Español, Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 26-30 junio de 2017, Plasencia
- MAPA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Tercer Inventario Forestal Nacional para las provincias de Cuenca y Guadalajara. Disponibles online en la dirección: https://www.mapama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/ifn3_base_datos_1_25.aspx
- MAPAMA. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. 2017. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2015. Comunicación al secretariado de la Convención Marco de NNUU sobre Cambio Climático

- MONTERO, G.; MUÑOZ, M.; ALONSO AYUSO, A. 2005. Producción de biomasa y fijación de carbono por *Pinus nigra* Arn. en España. En: GRANDE ORTIZ, M.A.; GARCÍA ABRIL, A. (Eds.) Los pinares de *Pinus nigra* Arn. en España: Ecología, uso y gestión. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid, pp. 165-193
- MONTERO, G.; MUÑOZ, M.; DONÉS, J.; ROJO, A. 2004. Fijación de CO₂ por *Pinus sylvestris* L. y *Quercus pyrenaica* Willd. en los montes "Pinar de Valsain" y "Matas de Valsain". Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 13: 399-415
- MONTERO, G.; PASALODOS-TATO, M.; LÓPEZ-SENEPLEDA, E.; ONRUBIA, R.; MADRIGAL, G. 2013. Ecuaciones para la estimación de la biomasa en matorrales y arbustados mediterráneos. Actas del VI Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Vitoria-Gasteiz, 10-14 Junio 2013
- MONTERO, G.; PASALODOS-TATO, M.; MONTOTO, R.; LÓPEZ-SENEPLEDA, E.; ONRUBIA, R.; BRAVO-OVIEDO, A.; RUIZ-PEINADO, R. 2013. Contenido de carbono en la biomasa de las principales especies de matorral y arbustados de España. Actas del VI Congreso Forestal Español, Sociedad Española de Ciencias Forestales, 10-14 junio de 2013, Vitoria
- MONTERO, G.; RUIZ-PEINADO, R. 2016. Fijación de carbono por los montes de Peñalén (Guadalajara). Revista La Encomienda de Peñalén 7: 32-34
- MONTERO, G.; RUIZ-PEINADO, R.; CANDELA, J.A.; CAÑELLAS, I.; GUTIERREZ, M.; PAVON, J.; ALONSO, A.; DEL RIO, M.; BACHILLER, A.; CALAMA, R. 2004. Selvicultura del pino piñonero. En: Junta de Andalucía (Ed.) El pino piñonero (*Pinus pinea* L.) en Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, Sevilla, pp 113-252
- MONTERO, G.; RUIZ-PEINADO, R.; MUÑOZ, M. 2005. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid
- PASALODOS-TATO, M.; RUIZ-PEINADO, R.; DEL RIO, M.; MONTERO, G. 2015. Shrub biomass accumulation and growth rate models to quantify carbon stocks and fluxes for the Mediterranean region. *European Journal of Forest Research* 134: 537-553
- RUIZ-PEINADO, R.; BRAVO-OVIEDO, A.; LÓPEZ-SENEPLEDA, E.; BRAVO, F.; DEL RIO, M. 2017. Forest management and carbon sequestration in the Mediterranean region: A review. *Forest Systems* 26: eR04S
- RUIZ-PEINADO, R.; DEL RÍO, M.; MONTERO, G. 2011. New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species. *Forest Systems* 20: 176-188
- RUIZ-PEINADO, R.; MONTERO, G.; DEL RÍO, M. 2012. Biomass models to estimate carbon stocks for hardwood tree species. *Forest Systems* 21: 42-52
- SAN MIGUEL, A.; ROIG, S.; CAÑELLAS, I. 2008. Fruticicultura. Gestión de arbustados y matorrales. En: SERRADA, R.; MONTERO, G.; REQUE, J.A. (Eds.) Compendio de selvicultura aplicada en España. INIA, Madrid, pp. 877-907

ANEXO 1. CÁLCULO DE INCREMENTOS DE BIOMASA PARA DIFERENTES ESPECIES FORESTALES ARBÓREAS EN LA PROVINCIA DE GUADALAJARA

El cálculo de incrementos de biomasa para la actualización de los datos procedentes de inventarios (LIDAR, IFN u ordenaciones) se ha realizado a partir de los modelos de estimación de biomasa de Montero *et al.* (2005) que dependen del diámetro normal en la estimación de la biomasa para los diferentes compartimentos de biomasa.

Se han obtenido valores modulares de incrementos de biomasa mediante la diferencia entre el valor obtenido con el modelo de biomasa entrando con el diámetro más el incremento diametral ($d+\Delta d$) menos el valor del modelo con el valor del diámetro (d). Así, para la cuantificación del incremento se necesita disponer de los crecimientos en diámetro para las distintas especies arbóreas presentes en la zona del Alto Tajo. Los datos de incremento diametral para las especies *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra* se han obtenido de los proyecto de Ordenación para diferentes montes del Parque Natural del Alto Tajo, mientras que para las restantes especies se han utilizado datos medios de incremento diametral obtenidos en el Tercer Inventario Forestal Nacional.

El paso a biomasa se realizará multiplicando por el porcentaje de carbono existente en la madera para cada especie (ver Ibáñez *et al.*, 2002, o Montero *et al.*, 2005).

A1.1. Valores modulares de incrementos de biomasa para las diferentes especies forestales arbóreas del PN Alto Tajo.

<i>Pinus nigra Arn</i>							
CD (cm)	Biomasa aérea				Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
	Fuste	Ramas					
		R > 7 cm	R 2-7 cm	R < 2 cm			
5	0.29	0.00	0.02	0.15	0.46	0.24	0.70
10	0.87	0.00	0.10	0.34	1.30	0.61	1.91
15	1.57	0.00	0.20	0.52	2.29	1.09	3.38
20	2.37	0.00	0.35	0.68	3.40	1.51	4.92
25	3.16	0.21	0.51	0.83	4.70	1.99	6.69
30	4.02	0.39	0.70	0.97	6.08	2.13	8.22
35	5.60	0.75	1.05	1.26	8.65	2.42	11.07
40	6.00	1.07	1.19	1.27	9.52	3.04	12.56
45	7.23	1.65	1.50	1.45	11.83	3.34	15.18
50	9.00	2.58	1.96	1.72	15.25	3.57	18.83
55	9.97	3.50	2.26	1.83	17.55	3.64	21.19
60	12.98	5.48	3.05	2.29	23.80	4.11	27.91
65	10.04	5.03	2.44	1.71	19.22	3.72	22.93
70	10.74	6.29	2.70	1.76	21.50	4.11	25.61

<i>Pinus sylvestris L</i>									
CD (cm)	Biomasa aérea					Acículas	Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
	Fuste	Ramas							
		R > 7 cm	R 2-7 cm	R < 2 cm					
5	0.28	0.00	0.08	0.14	0.10	0.60	0.12	0.72	
10	1.00	0.00	0.19	0.21	0.16	1.56	0.36	1.92	
15	2.04	0.00	0.30	0.27	0.20	2.82	0.71	3.53	
20	3.25	0.00	0.41	0.31	0.23	4.20	1.13	5.33	
25	4.50	0.11	0.50	0.33	0.25	5.68	1.61	7.29	
30	5.57	0.20	0.56	0.32	0.24	6.90	2.03	8.93	
35	6.90	0.34	0.64	0.33	0.25	8.46	2.57	11.03	
40	8.41	0.55	0.72	0.35	0.26	10.28	3.21	13.50	
45	10.35	0.86	0.83	0.37	0.28	12.69	4.07	16.76	
50	11.62	1.20	0.87	0.37	0.28	14.33	4.70	19.04	
55	13.17	1.66	0.94	0.37	0.28	16.42	5.50	21.92	
60	20.74	3.14	1.41	0.53	0.40	26.21	8.95	35.16	
65	17.22	3.08	1.12	0.40	0.30	22.12	7.68	29.80	
70	18.77	3.92	1.17	0.40	0.30	24.55	8.66	33.21	

<i>Pinus pinaster Ait</i>							
CD (cm)	Biomasa aérea				Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
	Fuste	Ramas					
		R > 7 cm	R 2-7 cm	R < 2 cm			
5	0.40	0.00	0.14	0.06	0.61	0.20	0.81
10	1.05	0.00	0.40	0.21	1.66	0.51	2.17
15	2.38	0.00	0.45	0.44	3.27	0.96	4.22
20	3.95	0.00	0.26	0.69	4.90	1.39	6.29
25	4.76	0.01	0.32	0.80	5.89	1.62	7.52
30	4.99	0.03	0.34	0.81	6.17	1.66	7.83
35	4.87	0.05	0.34	0.77	6.03	1.60	7.62
40	6.14	0.11	0.43	0.95	7.62	1.99	9.61
45	7.77	0.22	0.55	1.17	9.71	2.50	12.21
50	6.97	0.30	0.49	1.03	8.79	2.23	11.02
55	8.26	0.52	0.59	1.20	10.56	2.65	13.21
60	9.23	0.82	0.66	1.32	12.03	2.99	15.01
65	10.16	1.23	0.73	1.43	13.56	3.33	16.89
70	11.02	1.79	0.80	1.53	15.14	3.69	18.83

<i>Pinus halepensis</i> Mill							
CD (cm)	Biomasa aérea (kg)					Biomasa radical	Biomasa total
	Fuste	Ramas			Total aérea		
		R > 7 cm	R 2-7 cm	R < 2 cm			
5	0.36	0.00	0.06	0.23	0.65	0.18	0.83
10	0.82	0.00	0.16	0.50	1.48	0.43	1.91
15	1.34	0.00	0.28	0.78	2.40	0.72	3.13
20	1.80	0.00	0.39	1.02	3.21	1.00	4.21
25	2.09	0.36	0.48	1.16	4.09	1.29	5.38
30	2.89	0.66	0.68	1.57	5.80	1.86	7.67
35	3.30	0.94	0.80	1.77	6.82	2.22	9.03
40	2.73	0.95	0.68	1.44	5.80	1.91	7.70
45	2.73	1.13	0.70	1.43	5.99	1.99	7.98
50	4.75	2.29	1.24	2.46	10.74	3.60	14.34
55	3.40	1.88	0.90	1.74	7.92	2.68	10.60
60	1.89	1.19	0.51	0.96	4.56	1.55	6.11
65	3.75	2.66	1.03	1.89	9.33	3.20	12.54
70	3.98	3.13	1.11	1.99	10.21	3.53	13.74

<i>Juniperus thurifera</i> L.								
CD (cm)	Biomasa aérea (kg)					Biomasa radical	Biomasa total	
	Fuste	Ramas			Hojas			Total aérea
		R > 7 cm	R 2-7 cm	R < 2 cm				
5	0.21	0.00	0.05	0.07	0.07	0.40	0.18	0.58
10	0.44	0.00	0.13	0.13	0.12	0.81	0.30	1.10
15	0.66	0.00	0.24	0.17	0.16	1.22	0.40	1.62
20	0.89	0.06	0.37	0.21	0.20	1.73	0.52	2.25
25	1.08	0.14	0.49	0.24	0.23	2.18	0.61	2.79
30	1.25	0.25	0.61	0.27	0.25	2.63	0.70	3.33
35	1.39	0.42	0.72	0.28	0.26	3.08	0.78	3.87
40	1.79	0.78	0.99	0.36	0.33	4.24	1.04	5.28
45	2.04	1.21	1.19	0.39	0.36	5.19	1.23	6.42
50	1.94	1.52	1.18	0.36	0.33	5.34	1.23	6.56
55	3.77	3.82	2.39	0.69	0.63	11.31	2.52	13.83
60	0.82	1.04	0.54	0.15	0.13	2.68	0.58	3.26
65	1.55	2.42	1.05	0.27	0.25	5.54	1.18	6.71
70	0.80	1.52	0.56	0.14	0.13	3.14	0.65	3.80

<i>Juniperus phoenicea</i> L.			
CD (cm)	Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
5	0.40	0.21	0.61
10	0.97	0.48	1.46
15	1.06	0.51	1.58
20	1.30	0.61	1.91
25	1.52	0.70	2.21
30	1.72	0.78	2.50
35	1.91	0.85	2.77
40	2.10	0.92	3.02
45	2.34	1.02	3.36

<i>Quercus ilex</i> L.								
CD (cm)	Biomasa aérea (kg)					Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
	Fuste	Ramas			Hojas			
		R > 7 cm	R 2-7 cm	R < 2 cm				
5	0.16	0.00	0.11	0.08	0.02	0.37	0.94	1.31
10	0.45	0.00	0.30	0.22	0.05	1.02	1.60	2.62
15	0.72	0.69	0.48	0.34	0.08	2.32	1.42	3.74
20	1.01	1.29	0.67	0.47	0.11	3.54	1.45	4.99
25	1.22	1.96	0.80	0.56	0.13	4.67	2.09	6.76
30	1.31	2.54	0.86	0.60	0.14	5.46	2.71	8.17
35	2.25	5.11	1.48	1.03	0.23	10.10	2.48	12.57
40	3.47	9.05	2.27	1.58	0.36	16.74	3.99	20.73
45	2.73	8.01	1.78	1.23	0.28	14.03	5.05	19.09
50	2.99	9.79	1.95	1.35	0.31	16.39	2.81	19.20
55	6.10	22.03	3.97	2.73	0.62	35.46	3.95	39.41
60	9.04	35.75	5.88	4.03	0.92	55.63	3.83	59.45
65	3.26	13.95	2.12	1.45	0.33	21.11	3.64	24.76
70	3.62	16.73	2.35	1.61	0.37	24.68	5.13	29.81

<i>Quercus faginea</i> Lamk.								
CD (cm)	Biomasa aérea (kg)					Biomasa radical	Biomasa total	
	Fuste	Ramas			Hojas			
		R > 7 cm	R 2-7 cm	R < 2 cm				
Total aérea								
5	0.12	0.00	0.04	0.04	0.02	0.22	0.13	0.36
10	0.36	0.00	0.14	0.09	0.05	0.64	0.33	0.97
15	0.83	0.12	0.33	0.17	0.10	1.55	0.75	2.31
20	1.34	0.46	0.54	0.26	0.15	2.75	1.27	4.02
25	1.79	1.16	0.73	0.32	0.19	4.18	1.85	6.03
30	1.90	2.11	0.79	0.32	0.19	5.30	2.27	7.57
35	2.28	3.97	0.96	0.36	0.21	7.78	3.24	11.02
40	1.71	4.38	0.72	0.26	0.15	7.22	2.94	10.16
45	1.64	5.92	0.70	0.24	0.14	8.64	3.44	12.08
50	2.18	10.70	0.93	0.31	0.18	14.31	5.59	19.89
55	2.16	14.04	0.93	0.30	0.17	17.61	6.76	24.37
60	2.01	16.79	0.87	0.27	0.16	20.10	7.59	27.69
65	2.98	31.63	1.30	0.39	0.23	36.53	13.60	50.13
70	1.41	18.47	0.62	0.18	0.11	20.78	7.64	28.42

<i>Quercus pyrenaica</i> Willd.						
CD (cm)	Biomasa aérea (kg)			Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
	Leña gruesa	Leña fina	Chasca			
	F+R>7	R 2-7 cm	R < 2 cm			
5	0.2	0.1	0.0	0.3	0.1	0.4
10	0.6	0.2	0.1	0.8	0.3	1.2
15	1.6	0.3	0.1	2.1	0.7	2.8
20	3.6	0.5	0.3	4.4	1.3	5.7
25	5.8	0.7	0.4	6.9	1.8	8.7
30	5.2	0.5	0.3	6.0	1.5	7.5
35	11.5	0.9	0.6	13.0	3.0	16.0
40	10.5	0.7	0.5	11.7	2.6	14.3
45	15.2	0.9	0.7	16.8	3.5	20.4
50	18.0	0.9	0.8	19.8	4.0	23.8
55	26.6	1.2	1.1	29.0	5.6	34.6
60	30.6	1.3	1.2	33.1	6.2	39.4
65	44.9	1.7	1.7	48.4	8.8	57.1
70	13.4	0.5	0.5	14.3	2.5	16.8

ANEXO 2. CÁLCULO DE CARBONO EN LOS MONTES ORDENADOS DEL PARQUE NATURAL DEL ALTO TAJO.

A2.1. Superficie sobre la que se ha realizado inventario forestal para su ordenación en Montes de Utilidad Pública dentro del Parque Natural del Alto Tajo.

Montes Utilidad Pública (MUP)	Cabida arbolada inventariada en el año de ordenación (ha)
56	2.021
57. 58	6.477
63. 64. 87. 88. 89. 215. 216	7.508
66. 67. 68	1.103
80. 81	1.164
83. 234	2.811
106	670
109. 303	1.045
117. 118	1.142
124. 125. 126. 240	1.874
128. 144. 145. 146. 148. 241. 197. 198	5.301
133. 135. 304	842
134	5.452
136. 137	156
151	859
154. 155. 156. 302	1.068
157. 158. 159. 305	3.611
162	2.008
163. 164. 165. 166. 167	1.993
168	68
179. 180. 181. 182. 183. 184	2.811
190	96
194. 195. 196	2.626
200	372
206	1.944
212. 213. 214	235
239	29
283	1.025
292. 293	933
294	118
297	52
298	195
191	276

A2.2. Cantidades de carbono fijadas en la vegetación arbórea e incremento anual de carbono calculado partir de los datos de los inventarios en las ordenaciones de montes arbolados en montes de Utilidad Pública dentro del Parque Natural del Alto Tajo (cálculos al año de inventario).

MONTES UP	Año inventario	C biomasa año inv. (t)	Incremento anual C (t)
56	2011	55.868	2.576
57-58	2007	250.505	11.362
63 64	2007	298.991	11.827
66 67 68	2009	35.917	1.614
80 81	2009	49.285	1.857
83 234	2011	171.841	5.773
106	2007	47.440	1.380
109 303	2007	64.062	1.954
117 118	2009	53.297	1.415
124 125 126 240	2013	92.025	2.700
128 144 145 146 148 197 198 241	2009	246.418	6.748
133 135 304	2007	41.212	1.103
134	2007	293.455	8.247
136 137	2007	8.343	256
151	2007	34.986	1.283
154 155 156 302	2007	36.948	815
157 158 159 305	2007	206.081	5.991
162	2007	96.331	2.583
163 164 165 166 167	2007	91.341	2.412
168	2007	4.628	104
179 180 181 182 183 184	2007	120.564	3.135
190	2016	5.314	224
194 195 196	2007	120.595	3.284
200	2007	12.010	374
206	2012	94.570	4.584
212 213 214	2009	9.558	205
239	2015	1.121	22
283	2008	30.758	1.066
292 293	2016	11.197	221
294	2016	6.829	181
297	2016	920	48
298	2015	8.098	307
191	2016	10.379	544

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio ha sido realizado gracias a la colaboración fundamental de José Antonio Lozano (Director del Parque Natural del Alto Tajo), Gregorio Montero (precursor de la idea) y la aportación de los datos de las ordenaciones por los técnicos del Servicio de Política Forestal y Espacio Naturales de Guadalajara (Dirección Provincial de Agricultura, Medio Ambiente y Desarrollo Rural de Guadalajara) Teresa López de Diego, José María Gaitán y Ángel Díez. Gracias también al conjunto de Agentes Medioambientales por su disponibilidad y las facilidades para realizar los distintos trabajos de campo.

Este trabajo se ha realizado en el INIA-CIFOR por Ricardo Ruiz-Peinado y Eduardo López Senespleda.

Madrid, 17 de diciembre de 2018