



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-259

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Evaluación de alternativas selvícolas para el almacenamiento de carbono en los pinares de la especie *Pinus nigra* Arnold en Castilla y León

MARTÍN ARIZA, A.¹, BRAVO OVIEDO, F.^{1,2} y ORDÓÑEZ ALONSO, C.^{1,2}

¹ Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible (iuFOR), Universidad de Valladolid-INIA.

² Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias, Universidad de Valladolid, Avda de Madrid 44, 34004 PALENCIA-ESPAÑA

Resumen

La gestión forestal encuentra en la modelización una herramienta clave para la toma de decisiones. De esta manera, el gestor anticipa la información del estado de las masas forestales y es capaz de evaluar las consecuencias de las distintas estrategias de gestión. Así, la plataforma web SiManFor facilita la proyección de la dinámica de sistemas forestales mediante la aplicación de modelos y de los diferentes regímenes de selvicultura propuestos por el propio gestor. Además, permite la estimación de recursos forestales tanto maderables como no maderables, entre ellos, a destacar la captura de carbono para la evaluación de proyectos de mitigación de cambio climático, justificando en parte el atractivo y la necesidad de llevar a cabo este tipo de trabajos. El objetivo de este estudio es generar alternativas selvícolas en SiManFor para masas regulares de *Pinus nigra* Arnold con el modelo de la especie modificado para incluir la estimación de la biomasa. De este modo, se desarrolla una metodología para la evaluación del recurso biomasa, que además permitirá la evaluación de las alternativas de gestión forestal más rentables desde el punto de vista ecológico y económico, así como su potencial incorporación a los planes de gestión.

Palabras clave

Simulación forestal, gestión forestal, pino laricio, escenarios de gestión, SiManFor, biomasa

1. Introducción

La estimación de la biomasa para las especies forestales presenta un gran interés en estudios de flujos de nutrientes en ecosistemas y más recientemente para estudios de cuantificación de carbono relacionados con el cambio climático. Cabe destacar el enorme esfuerzo por estimar la biomasa de los bosques españoles (MONTERO et al., 2005, RUIZ-PEINADO et al., 2011). Para su evaluación es necesaria la construcción de modelos de estimación de biomasa específicos para la especie, que consideren el peso de la biomasa seca en relación a variables de árbol (diámetro, altura...) o variables referentes a las condiciones del sitio (densidad, productividad...). Los datos de biomasa son una fuente importante de información para estudios de funcionamiento de ecosistemas, ciclos de nutrientes y cuantificación de los reservorios de carbono en las masas forestales. Generalmente, se realiza el estudio por separado de las diferentes fracciones del árbol, que normalmente consisten en dos principales: biomasa aérea y biomasa radical. En la biomasa aérea se tiene en cuenta la biomasa de fuste, ramas con diámetro mayor de 7 cm, ramas con diámetro entre 7 y 2 cm, ramas con diámetro inferior a 2 cm y hojas y acículas (BRAVO et al., 2007a). El poder estimar la biomasa por fracciones permite, entre otros aspectos, una estimación de los diferentes usos de la biomasa, por ejemplo el uso bioenergético o la función ecológica en el ciclo de los nutrientes.

La plataforma web SiManFor (BRAVO et al., 2010 y 2012) es una herramienta muy útil para los gestores forestales que quieran evaluar diferentes alternativas selvícolas y estimar la producción de los recursos en sus masas. Además, estas alternativas dependerán de la información referente a los objetivos de la gestión y las características de la masa.

2. Objetivos

El objetivo de este estudio es generar alternativas selvícolas en SiManFor para masas regulares de la especie con el modelo *Pinus nigra* modificado para incluir la estimación de la biomasa y por ende del carbono y CO₂ fijado. De este modo, se desarrolla una metodología para la evaluación del recurso biomasa, que además permitirá la evaluación de las alternativas más rentables desde el punto de vista ecológico y económico, así como su potencial incorporación a los planes de gestión.

3. Metodología

3.1. Área de estudio

El área de estudio se ubica en el término municipal de Villar del Río (Soria), específicamente en los montes de "La Cuesta" y "Serrezuela y Gayubares", cuyas coordenadas geográficas son 2° 18' 57.6308" W y 42° 3' 19.8898" N. La precipitación anual es de 627 mm. La temperatura anual media es de 9 °C, mientras que la temperatura anual mínima y media es 3°C y 15°C respectivamente (NINYEROLA et al., 2005). Las parcelas de inventario se refieren a masas puras de *Pinus nigra* que presentan un gradiente de calidad de estación.

3.2. El modelo

Las simulaciones se han llevado a cabo utilizando el modelo *Pinus nigra* en la plataforma SiManFor, desarrollado a partir de ecuaciones (Tabla 1) propuestas por RÍO et al. (2006), MORA et al. (2012) y RUIZ-PEINADO et al. (2011).

Tabla 1. Principales características del modelo de crecimiento para repoblaciones de *Pinus nigra*

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
Modelo	Masa
Especie	<i>Pinus nigra</i> (Código IFN: 25)
Área de estudio	León, Cazorla (Jaén), Cuenca, margen sur del río Ebro, Sistema Ibérico
Nivel	Independiente de la distancia
Masa	Monte alto, regular
Composición	Masa pura
Origen	Repoblación
Referencias	Río et al., 2006 (submodelo de índice de calidad de estación) , Mora et al., 2012 (submodelo de área basimétrica, mortalidad, diámetro y volumen), Ruiz-Peinado et al., 2011 (submodelo de biomasa)

El lenguaje de programación de los modelos en SiManFor es C#. Los modelos de crecimiento agrupan un conjunto de funciones que contienen las ecuaciones pertinentes a cada fase. La estructura del modelo se muestra a continuación (Figura 1). El modelo de *Pinus nigra* se ha modificado para incluir el submodelo referente a la biomasa almacenada en cada fracción del árbol con las ecuaciones desarrolladas en RUIZ-PEINADO et al. (2011). Para el cálculo de biomasa se han creado cinco variables nuevas, correspondientes a las cinco ecuaciones definidas para cada una de las fracciones del árbol. Las fracciones del árbol se denominan: biomasa del fuste, biomasa de ramas con diámetro mayor de 7 cm, biomasa de ramas con diámetro entre 7 y 2 cm, biomasa de ramas con diámetro inferior a 2 cm y acículas y biomasa del sistema radical.

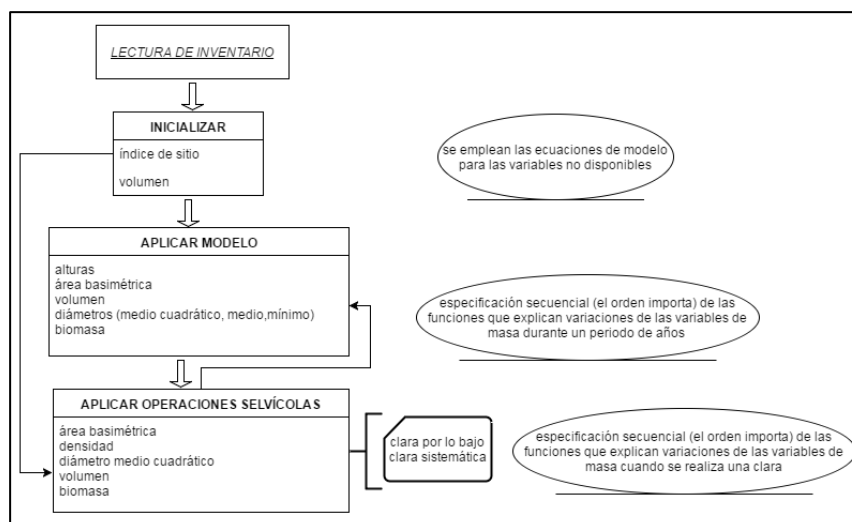


Figura 1. Estructura del modelo

A partir de los datos de biomasa, se puede cuantificar la cantidad de carbono retenido mediante el empleo de los valores que estiman el carbono presente en la madera, y el CO₂ fijado por las masas forestales. El potencial de estos datos es enorme y se pueden emplear en estudios de disponibilidad de biomasa susceptible de uso energético (MONTERO et al., 2005), de funcionamiento de ecosistemas, relativos a los ciclos de nutrientes o a cuantificación de los reservorios de carbono y, normalmente, se realiza el estudio por separado de las diferentes fracciones del árbol (BRAVO et al., 2007a). Las distintas especies leñosas presentan una composición de la madera muy similar, y esto mismo sucede con las diferentes fracciones dentro de un mismo árbol. De manera generalizada, y si no existen valores específicos para la especie, se considera que un 50% de la materia seca de un árbol es carbono (KOLLMANN, 1959, IPPC, 1997).

3.3. Inventario

Los datos de inventario proceden de tres parcelas de *Pinus nigra* en el término municipal de Villar del Río (Soria), específicamente se sitúan en los montes de "La Cuesta" y "Serrezuela y Gayubares". Estas tres parcelas representan diferentes índices de calidad, 10-11-15, calculados a 50 años con la ecuación de RÍO et al. (2006). Las parcelas de estudio tiene una edad de 42 años. A partir de los datos de dichos inventarios, se rellena una plantilla de SDM (SiManFor Data Model) con los datos requeridos en cada campo y se almacena en la base de datos gestionada con MS-SQL. La subida de datos a la plantilla incluye la información referente a las características de la parcela (área y tipo de inventario), especie, edad de la masa y diámetros y alturas de los pies del primer inventario. Se disponen de tres alturas por parcela y sus diámetros correspondientes (45 parcelas en total), pertenecientes al primer y segundo árbol más cercano al centro de parcela, y a un árbol del estrato dominante. De esta forma, se ha procedido a calcular el resto de alturas mediante un ajuste lineal con transformación logarítmica en el software libre R. Este inventario se ha importado en SiManFor y está accesible dentro de la plataforma.

3.4. Alternativas selvícolas

La elección de alternativas selvícolas es un paso fundamental en la gestión sostenible de los bosques y, por tanto, de los productos y servicios que éstos proveen. Es por ello que, además de los aspectos selvícolas propios de la especie, en la gestión sostenible se tienen en cuenta otros aspectos, como los ecológicos, los económicos y las demandas sociales.

En la plataforma SiManFor se crearon un total de 36 itinerarios selvícolas diferentes. En primer lugar, se establecen cuatro alternativas de gestión forestal (pasiva-1, baja-2, media-3 y alta-4) que tienen en cuenta la intensidad de las operaciones selvícolas, asociadas a la modificación de variables de masa y según los principales objetivos perseguidos para cada alternativa (DUNCKER et al., 2012). Las intervenciones que modifican las variables de masa en esas simulaciones propuestas son de dos tipos fundamentalmente. Se llevan a cabo mediante claras por lo bajo en porcentaje de área basimétrica o se proyecta el modelo durante un periodo de tiempo deseado, sin necesidad de incluir ninguna operación selvícola. La alternativa con nulo impacto por parte de las operaciones selvícolas, escenario pasivo (1), consiste en no realizar ninguna gestión, es decir no se planifica ninguna corta. La segunda opción, escenario “baja-2”, consiste en realizar una gestión cercana a la naturaleza, imitando los procesos naturales que ocurren en el bosque. En este caso puede existir aprovechamiento de madera, sin embargo, estas operaciones deben estar supeditadas al desarrollo de las funciones ecológicas del bosque. En la tercera opción, escenario “media-3”, se persiguen dos objetivos, la producción maderera y la consecución de otros beneficios económicos y ecológicos, como pueden ser la caza, el recurso micológico o el almacenamiento de carbono. La última opción es la gestión intensiva, escenario “alta-4”, cuyo objetivo principal es el aprovechamiento maderero (DUNCKER et al., 2012). Por último, se simuló tres turnos (largo-100 años, medio-80 años, corto-60 años) y se trabajó con tres índices de calidad de estación (10, 11 y 15). El régimen de operaciones selvícolas no es una tarea fácil, ya que entran en juego restricciones referentes a factores biológicos, tecnológicos, económicos y operacionales, que están condicionados por la especie, el sitio o los objetivos propuestos para la masa. Las intervenciones de claras son necesarias para mantener la estabilidad y el vigor de las masas, así como para generar beneficios a sus propietarios (RÍO et al., 2006). En este trabajo, la cuantificación de la clara por lo bajo se ha estimado con el criterio de área basimétrica extraída a nivel de masa (en porcentaje). Las claras por lo bajo inciden principalmente sobre el estrato de pies dominados, pasando al estrato de intermedios y codominantes a medida que el tratamiento se aplica con más intensidad (mayor porcentaje de corta). Se han realizado claras por lo bajo para cada intervención. En el caso de la gestión pasiva (no hacer nada) (1) el modelo se proyecta durante el período de tiempo deseado, sin necesidad de incluir ninguna operación selvícola, arrojando así los nuevos valores de las variables de masa. En el caso de la gestión de baja intensidad (2) se proyectarán claras débiles por lo bajo con una extracción del 20% del área basimétrica (MORA et al., 2012,) con una rotación de claras de 20 años. Para el siguiente caso, gestión de media intensidad (3), se proyectarán claras moderadas por lo bajo con una extracción del 25% del área basimétrica (RÍO et al., 2006) con una periodicidad entre claras de 15 años. Por último, en la gestión de alta intensidad (4), se proyectarán intervenciones de claras moderadas-fuertes por lo bajo en la masa, con un peso del 30% del área basimétrica (RÍO et al., 2006) con una rotación de 10 años. A continuación se expone, como ejemplo, el itinerario de gestión de baja intensidad (claras débiles por lo bajo con una extracción del 20% del área basimétrica) y turno corto (60 años) (Figura 2).

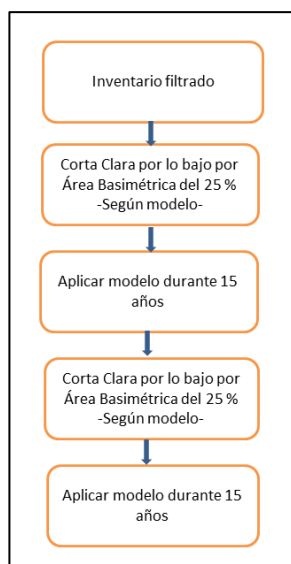


Figura 2. Ejemplo de itinerario de gestión de baja intensidad y turno corto.

De forma resumida se presentan a continuación los escenarios que se han creado y se han integrado en la plataforma web SiManFor.

Escenario 1 (pasivo). Escenario sin claras. Se proyecta el crecimiento de la masa sin intervenciones hasta el final del turno (60-80-100 años).

Escenario 2 (baja intensidad). Intervenciones en las que se extrae siempre el mismo peso (20% de área basimétrica) cada 20 años hasta el final del turno (60-80-100 años). La primera intervención a los 42 años.

Escenario 3 (media intensidad). Intervenciones en las que se extrae siempre el mismo peso (25% de área basimétrica) cada 20 años hasta el final del turno (60-80-100 años). La primera intervención a los 42 años.

Escenario 4 (alta intensidad). Intervenciones en las que se extrae siempre el mismo peso (30% de área basimétrica) cada 20 años hasta el final del turno (60-80-100 años). La primera intervención a los 42 años.

Con todo lo anterior, se procede a realizar la simulación para los diferentes escenarios selvícolas (36 combinaciones en total). Una vez se tiene seleccionado el inventario, el modelo y el escenario se obtienen los resultados en forma de archivo Excel con datos de la simulación sobre los que se trabajará posteriormente.

4. Resultados y discusión

Simulación de alternativas selvícolas para la estimación de biomasa

La simulación de alternativas selvícolas ha proporcionado una interesante cantidad de datos relacionados con la biomasa almacenada en las masas forestales. La biomasa resultante al final del turno establecido es producto de la gestión de la masa forestal con intervenciones (o sin ellas) a través de las claras por lo bajo realizadas para este caso de estudio. Una vez seleccionado el inventario, el modelo y el escenario se obtienen los datos de la simulación sobre los que se trabajará posteriormente (ejemplo en Tabla 2). Aunque la tabla es suficientemente explicativa por sí misma cabe resaltar algunas cuestiones. En el caso del ejemplo que se expone, edad 42 años, situación inicial, del total de biomasa, el 84% corresponde a biomasa de aérea (Tronco, B2_7, B2) y el 16% a biomasa radical (Raíz). La biomasa aérea se distribuye a su vez en las siguientes proporciones: el

71% corresponde al fuste; el 12% a ramas medianas (entre 2 y 7 cm de diámetro); el 17% a ramas delgadas y acículas (ramas menores de 2 de diámetro). En el caso de edad 78 años, fin de turno, del total de biomasa, el 87% corresponde a biomasa de aérea (Tronco, B2_7, B2) y el 13% a biomasa radical (Raíz), valores, en proporción, muy parecidos a los anteriores. La biomasa aérea se distribuye a su vez en las siguientes proporciones: el 79% corresponde al fuste; el 9% a ramas medianas (entre 2 y 7 cm de diámetro); el 12% a ramas delgadas y acículas (ramas menores de 2 de diámetro). En ambos casos, la proporción se distribuye siguiendo un mismo patrón, de mayor a menor: fuste, raíz, ramas delgadas y acículas y ramas medianas y siempre con valores de biomasa de fuste que supera el 50% del total. Este reparto por fracciones indica que la gestión de la madera de fuste es muy importante, por tanto una silvicultura adecuada podrá elevar la calidad de la madera, y como consecuencia, modificar el uso que se hace de la misma, lo que repercute de forma directa en la vida media de los productos y por lo tanto en la cantidad de carbono retenido o almacenado en los mismos (MONTERO et al., 2005).

Tabla 2. Biomasa fijada en las masas, con calidad de sitio de 15, para el itinerario de gestión de baja intensidad (claras bajas a los 42 y 63 años con peso de un 20% en área basimétrica; en el resto de los momentos representados la densidad de la masa se reduce debida a la mortalidad natural) y turno medio (80 años) en kilogramos por hectárea referido por fracciones. Tronco: fracción biomasa tronco, B2_7: fracción ramas entre 2 y 7 cm de diámetro, B2: fracción ramas menores de 2 cm y acículas, Raíz: fracción raíz, Total biomasa: total biomasa.

Edad (Años)	N (árboles/ha)	Dg (cm)	Tronco (kg/ha)	B2_7 (kg/ha)	B2 (kg/ha)	Raíz (kg/ha)	Total biomasa (kg/ha)
42	2043.7	28.42	499549.36	85036.91	117517.42	136459.83	838563.52
42	1634.96	28.42	395514.52	67265.8	92958.5	107671.5	663410.32
48	1629.51	28.38	453977.85	66800.33	92315.24	106840.8	719934.22
53	1623.73	28.35	482625.79	66422.5	91793.09	106186.42	747027.8
58	1617.64	28.34	508018.39	66108.95	91359.78	105662.22	771149.34
63	1611.26	28.34	530449.57	65843.93	90993.53	105237.09	792524.12
63	1289.01	28.34	417803.12	51790.16	71571.82	82463.76	623628.86
68	1283.16	28.59	440118.83	52488.99	72537.56	83910.91	649056.29
73	1277.08	28.83	460097.8	53097.65	73378.71	85191.95	671766.11
78	1270.78	29.04	477948.33	53632.1	74117.29	86336.41	692034.13

A continuación se presenta un gráfico que expone los valores de biomasa para cada fracción según las diferentes alternativas selvícolas estudiadas (Figura 3). Como se observa en el gráfico, se genera mayor cantidad de biomasa con el aumento de la calidad de estación. Con respecto al turno de la masa se sigue el mismo patrón, los turnos más largos generan una mayor cantidad de biomasa. Además, un tercer factor juega un papel fundamental en la cuantía de biomasa, es el escenario, y el juego de intervenciones selvícolas que se han proyectado. El escenario de mayor intensidad en la gestión forestal, con turnos de 60-80-100 años y calidad 15, genera los mayores valores de biomasa total extraída (biomasa a final del turno y de operaciones selvícolas de cortas de intensidad 30%), casi alcanzando las 1200 toneladas de biomasa por hectárea. Aunque estos valores no difieren muy significativamente con respecto a los otros escenarios (excepto en algunas ocasiones), en el escenario de mayor intensidad el aprovechamiento nos proporcionará productos de mayor tamaño. Por ejemplo, si comparamos el escenario bajo con el de alta intensidad el volumen unitario pasa de 0.35 a 0.39 m³ por árbol, es decir hay menos árboles pero de mayores dimensiones. Esta opción permite realizar el aprovechamiento del recurso de la madera de una manera sostenible, obteniendo un producto de calidad y dimensiones que demanda el mercado.

que no se integre dentro del uso múltiple del bosque (BALTEIRO et al., 2007). Las alternativas en este estudio analizadas de forma cualitativa pueden ser consideradas en profundidad con referencia al valor esperado de la tierra (VET) y el implemento del pago de créditos de carbono, que complementan los objetivos clásicos del bosque (de aprovechamiento de madera) (BRAVO et al., 2008).

6. Agradecimientos

A Jorge Olivar de Agresta S. Coop. por proporcionar los datos de inventario necesarios. También agradecer al Fondo Social Europeo y la Iniciativa de Empleo Juvenil del Sistema Nacional de Garantía Juvenil por el contrato de la primera autora.

7. Bibliografía

BALTEIRO, L.; ROMERO, C.; 2007. Análisis económico de la fijación de Co2 en los sistemas forestales. En: BRAVO, F. (coord.): El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. 1-315. Fundación Gas Natural. Barcelona.

BRAVO, F.; DELGADO J.A.; GALLARDO J.F; BRAVO-OVIEDO, A.; RUIZ-PEINADO, R.; MERINO, A.; MONTERO, G.; CÁMARA, A.; NAVARRO, R.; ORDOÑEZ, C.; CANGA, E.; 2007a. Métodos para cuantificar la fijación de CO₂ en los sistemas forestales. En: BRAVO, F. (coord): El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. 1-315. Fundación Gas Natural. Barcelona.

BRAVO, F.; PESO DEL C.; BRAVO-OVIEDO, A.; OSORIO, L.F.; GALLARDO J.F; MERINO, A.; MONTERO, G.; 2007b. Impacto de la gestión forestal sobre el efecto sumidero de los sistemas forestales. En: BRAVO, F. (coord): El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. 1-315. Fundación Gas Natural. Barcelona.

BRAVO, F.; BRAVO-OVIEDO, A.; DIAZ-BALTEIRO, L.; 2008. Carbon sequestration in Spanish Mediterranean forests under two management alternatives: a modeling approach. *European Journal of Forest Research*, vol. 127, no 3, p. 225-234.

BRAVO, F.; RODRÍGUEZ, F.; ORDOÑEZ, C.; 2010. SiManFor: Sistema de apoyo para la simulación de alternativas de manejo forestal sostenible. Disponible en www.simanfor.es (último acceso el 18 de enero de 2017)

BRAVO, F; RODRÍGUEZ, F.; ORDOÑEZ, C.; 2012. A web-based application to simulate alternatives for sustainable forest management: SIMANFOR. *Forest Systems*, Vol. 21, n. 1, p. 4-8.

DUNCKER, P.S.; BARREIRO, S.M.; HENGEVELD, G.M.; LIND, T.; MASON, W.; AMBROZY, S.; SPIECKER, H.; 2012. Classification of Forest Management Approaches: A New Conceptual Framework and Its Applicability to European Forestry. *Ecology and Society* 17 (4):51.

FERNÁNDEZ-GETINO, A.P.; RUIZ-PEINADO, R.; GONZÁLEZ, G.M.; SÁNCHEZ-PALOMARES, O.; 2008. Estimación del CO₂ fijado en suelos y árboles de los rebollares de *Quercus pirenaica* en la provincia de Ourense. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, (25).

IPCC; 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, HOUGHTON, J.T.; MEIRA FILHO, L.G; LIM, B.; TREANTON, K.; MAMATY, I.; BONDUKI, Y.; GRIGGS, D.J.; CALLENDER B.A (eds), IPCC7OEC/IEA.

KOLLMANN, F.; 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones / translation of second edition in German of 'Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe : mit 1194 Abbildungen im Text und 6 Tafeln'. Springer, Berlin

MONTERO, G.; RUIZ-PEINADO, R.; MUÑOZ, M.; 2005. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Madrid, España: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.

MORA, J.V.; RIO, M. del; BRAVO-OVIEDO, A.; 2012. Dynamic growth and yield model for Black pine stands in Spain. *Forest Systems*, v. 21, n. 3, p. 439-445.

NINYEROLA, M.; PONS, X.; y ROURE, J.M.; 2005. Atlas Climático Digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica. ISBN 932860-8-7. Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra.

R Core Team; 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RÍO, M. del; SENESPLEDA, E.; MONTERO, G.; 2006. Manual de Gestión para masas procedentes de repoblaciones de *Pinus pinaster* Ait., *Pinus sylvestris* L., y *Pinus nigra* Arn. En Castilla y León. Serie Técnica. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Castilla y León. 76 pp + anexos.

RUIZ-PEINADO, R; RÍO, M. del; MONTERO, G.; 2011. New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species. *Forest Systems*, vol. 20, no 1, p. 176-188.