
XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica 25, 26 y 27 de Junio de 2014. Alicante.

Análisis de la viabilidad de una peletizadora de biomasa forestal en la Reserva de la Biosfera de la Sierra del Rincón (Madrid)

Raúl Romero-Calcerrada^{a*}, Ignacio Manzano-Chicote^a, Carlos J. Novillo^a

^a *Departamento de Tecnología Química y Energética, Tecnología Química y Ambiental y Tecnología Mecánica, E.S. de Ciencias Experimentales y Tecnología Universidad Rey Juan Carlos*

Resumen

En este trabajo se plantea como objetivo el análisis del aprovechamiento de biomasa forestal en las Reservas de Biosfera (RB) de la Sierra del Rincón (Comunidad de Madrid), determinando la biomasa forestal disponible como materia prima para una planta peletizadora en La Hiruela bajo cuatro escenarios y aplicado sobre distintas áreas de aprovechamiento. Esta metodología se fundamenta en datos del Tercer Inventario Forestal Nacional, el mapa forestal, la Zonificación de la RB, un Modelo Digital de Elevaciones y la red viaria. A partir de estos datos se modela a través de un SIG las actividades necesarias para la puesta en planta de la biomasa forestal: corta, saca, carga de madera a camión y coste de transporte desde cada punto de recogida a la planta peletizadora. Además se definen las zonas de extracción de biomasa forestal y los puntos de recogida, indicando el número de camiones necesarios en función de la biomasa disponible. Con todos estos datos se definen los costes de esas actividades en función de los escenarios y áreas de aprovechamiento definidos. Los resultados muestran el efecto de las restricciones de la zonificación de la RB en la disponibilidad de biomasa forestal y los costes en función de la tecnología de extracción.

Palabras clave: Biomasa Forestal; Peletizadora; Escenarios; Sostenibilidad Energética; Sistemas de Información Geográfica; Reservas de la Biosfera.

* *E-mail:* raul.romero.calcerrada@urjc.es

1. Introducción

En la actualidad dada nuestra dependencia energética del exterior, el agotamiento de los recursos fósiles y las amenazas sobre el medio ambiente por el consumo de energías fósiles se deben explorar nuevas vías para reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

Sin duda, la biomasa podría ser un vector energético importante para nuestra sociedad, tanto desde el punto de vista energético y ambiental, como para el desarrollo socioeconómico de las zonas rurales. Por biomasa se entiende “*todo material de origen biológico excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización*” (IDAE, 2011). La biomasa explotable es variada: biomasa residual (residuos agrícolas, forestales, ganaderos, industriales y/o urbanos), biomasa producida por cultivos energéticos y biomasa natural.

El Programa MaB de la UNESCO define a las Reservas de Biosfera (RB) como laboratorios para experimentar y desarrollar enfoques innovadores en relación del hombre-medio natural. En concreto, la UNESCO considera estos espacios como lugares propicios para aplicar las directrices surgidas de Rio+20 en materia de sostenibilidad energética o la iniciativa RENFORUS *Un Futuro de Energías Renovables para los Sitios de la UNESCO*. Las RB, como se indica en el Plan de Acción de Madrid, pueden y deben convertirse en modelos de excelencia para fomentar la producción de energía renovable de manera sostenible y en beneficio de las comunidades locales.

Los objetivos del presente trabajo son calcular y cartografiar:

- el potencial de los Incrementos Anuales de Biomasa de origen forestal en la Reserva de la Biosfera de la Sierra del Rincón (Comunidad de Madrid)
- los costes de extracción de biomasa forestal y transporte a la peletizadora

2. Datos y Metodología

En esta sección se describirán la zona de estudio, los datos y metodologías empleados para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

2.1. Área de Estudio

La RB de la Sierra del Rincón está situada en el extremo nororiental de la Comunidad de Madrid. La RB, con una extensión de 15230,8 ha, está integrada por Horcajuelo, La Hiruela, Montejo, Prádena del Rincón y La Puebla. En los años 50 se realizaba un aprovechamiento de los montes para la producción de carbón vegetal. El cese de esa actividad, las extensas repoblaciones y la reducción de otras actividades forestales ha generado un incremento de la biomasa forestal.

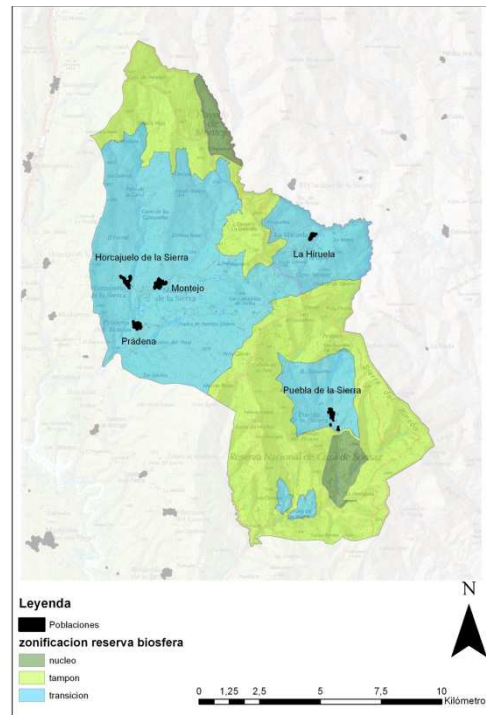


Fig 1. Zonificación de la Reserva de la Biosfera Sierra del Rincón

La zonificación de la RB (Figura 1) está integrada por tres zonas: 1) **Las zonas núcleo** recogen las áreas de mayor valor ecológico; permitiéndose únicamente actividades de investigación y de educación. 2) **Las zonas tampón** o de amortiguación permiten el aprovechamiento forestal o actividades de mínimo impacto; y 3) **Las zona de transición** dónde se localizan los asentamientos humanos y resto de actividades socioeconómicas.

2.2. Fuente de Datos

En la Tabla 1 se puede observar la cartografía, fuentes bibliográficos o de datos.

Tabla 1. Fuentes de Datos y su relación con los objetivos de trabajo

	Zonificación de la RB	Montero (2005)	3INF*	MDE*	Mapa Topográfico Nacional	TRAGSA (2007a; 2007b)	MFE 50*
Potencial Biomasa	x	x	X				x
Análisis Costes	x	x	X	x	x	x	

*Abreviaturas: 3INF = Tercer Inventario Nacional Forestal.; MDE = Modelo Digital de Elevaciones. Escala 1:50.000; MFE 50 = Mapa Forestal de España. Escala 1:50.000

2.3. Metodología

2.3.1. Cálculo de Incremento Anual de biomasa forestal

El cálculo del potencial de biomasa se basa en las especies arbóreas y estratos que integran la masa forestal. Los datos de interés que se detallan a continuación se han obtenido del Tercer Inventario Forestal Nacional (3INF):

- N° Pies: número de árboles por hectárea.
- Volumen con Corteza (VCC): volumen total de madera en una hectárea para una clase diamétrica y una especie en concreto.
- Incremento Anual del Volumen con Corteza (IAVC), referido a clase diamétrica, especie y estrato, es el crecimiento anual que presentan una clase diamétrica y una especie determinadas por cada estrato.

Otro dato importante es la densidad de la madera correspondiente a cada una de las especies. En Gutiérrez Oliva (1997) encontramos las ecuaciones para determinar las diferentes densidades de la madera al 0 % de humedad.

En el cálculo de la biomasa potencial total, se necesita conocer con detalle la proporción de la biomasa aérea y radical en función de la especie. Esta información es útil para separar la biomasa aérea, cuya extracción es fácil y barata, de la biomasa radical, que es de difícil extracción. En Montero (2005) encontramos la biomasa forestal detallada (Tabla 2) en función de su distribución en el árbol, además de la clase diamétrica (CD).

Tabla 2. Detalle de Valores modulares de las distintas fracciones de biomasa (kg de materia seca) en España en un *Pinus Sylvestre*. Fuente: Montero (2005).

CD (cm)	Biomasa Aérea					Total	Biomasa Radical	Biomasa Total
	Fuste	Ramas			Acículas			
		>7cm	2-7cm	<2cm				
5	1,4	-	0,5	1,3	0,9	4,1	0,7	4,8
10	11,3	-	2,7	4,4	3,3	21,7	4,6	26,3
15	36	-	6,8	8,7	6,5	58,0	13,4	71,4
20	79,5	-	12,7	13,5	10,2	115,9	28,6	144,5
25	143,6	1,9	20,3	18,7	14,1	198,6	51,4	250,0
30	231,6	4,6	29,5	24,3	18,3	308,3	83,1	391,4
35	344,8	9,5	40,2	30,1	22,7	447,3	124,5	571,8
40	484,1	17,6	52,4	36	27,1	617,2	176,9	794,1
45	650,3	30,2	65,8	41,9	31,6	819,8	241,1	1060,9
50	843,7	48,9	80,4	48	36,2	1057,2	318	1375,2
55	1064,3	75,3	96,1	54	40,7	1330,4	408,6	1739,0
60	1311,7	111,3	112,7	59,9	45,2	1640,8	513,6	2154,4
65	1585,6	159,1	130,2	65,8	49,7	1990,4	633,8	2624,2
70	1884,9	221	148,4	71,6	54	2379,9	770,1	3150,0

En nuestro caso, nos interesa determinar el Incremento Anual de Volumen con Corteza (IAVC), para la obtención de la biomasa que se puede extraer todos los años para minimizar los efectos de la extracción de biomasa en la RB. Para ello, se multiplica el IAVC, el cual viene en unidades de volumen (kg/m^3), por la densidad de las maderas al 0% de humedad. Posteriormente, se determina el IAVC transformando los valores modulares de la biomasa para cada árbol (por ejemplo Tablas 2) al porcentaje que representan cada una de las partes en la biomasa total. Una vez hecho esto, tenemos el valor de la biomasa al 0% de humedad que se puede extraer al año. Para los cálculos en el transporte de madera necesitamos transformar las toneladas de biomasa a estéreos. Un estéreo es la cantidad de madera apilable en un cubo de 1 m^3 incluyendo los trozos vacíos entre troza y troza (Diéguez Aranda et al., 2003).

Los datos de IAVC se pueden cartografiar a través del Mapa Forestal de España a escala 1:50.000.

2.3.2. Escenarios

Para simular la Incremento Anual de biomasa forestal se han aplicado diferentes limitaciones (Figura 1).

	Clase Diamétrica	Densidad (pies/ha)	Pendiente (%)	Distancia a Caminos	Clase Diamétrica	Densidad (pies/ha)	Pendiente (%)	Distancia a Caminos
Zona Tampón Zona Transición	Extracción Manual + Teleférico				Restricción Método de Saca: Sin teleférico			
Pinus sylvestre Pinus pinae Pinus halepensis Pinus nigra Pinus pinaster Quercus pyrenaica Quercus faginea Quercus ilex Populus alba Alnus glutinosa Salix spp. Fraxinus Spp. Otras frondosas Juniperus oxycedrus Fagus sylvatica	Escenario 1				Escenario 2			
Pinus sylvestre Pinus pinae Pinus halepensis Pinus nigra Pinus pinaster Populus alba Otras frondosas	Escenario 3				Escenario 4			

Fig. 1. Factores limitantes considerados en los Escenarios planteados

Los cálculos se han aplicado sobre las Zonas de Transición y Zonas Tampón, y exclusivamente sobre la Zona de Transición de la RB.

Como primera limitación se han considerado el tipo de especie forestal, considerado la extracción sobre un grupo reducidas de especies o cualquier especie forestal. Esta restricción está basada en la Ley 16/1995 de la Comunidad de Madrid y el Real Decreto 1997/1995 de hábitats comunitarios.

Como segunda limitación se han considerado la metodología de extracción: 1) extracción manual y con teleférico y; 2) extracción manual exclusivamente. Cabe destacar que entre ambos métodos existen diferencias: a) la pendiente máxima de extracción a la que pueden operar es del 50%, produciéndose un incremento notorio del coste a partir del 25% de pendiente, mientras que en el teleférico, empieza a ser rentable su uso cuando la pendiente en la que se tiene que operar supera el 50%, no teniendo ningún tipo de limitación superior en este ámbito; y b) la distancia de operación, difiere de nuevo en ambos métodos, siendo de 400 metros a un camino para el primer caso y de 800 para el segundo (TRAGSA, 2007a, 2007b).

2.3.3. Determinación de puntos de carga

Para la creación del mapa de puntos de carga, se partió de la red de carreteras y caminos a escala 1:25.000 disponibles para la distribución del recurso ya extraído, y se asignó cada 200 metros un punto de carga.

Posteriormente, el resultado de esta acción se cruzó con la cartografía de biomasa, obteniéndose la zona de extracción óptima en torno a cada punto de carga, así como la biomasa que recibe.

2.3.4. Análisis económico

Las actividades descritas anteriormente llevan asociadas los precios de cada acción (TRAGSA, 2007a, 2007b). En este trabajo se han computado los costes relativos a la extracción, en los que se imputa, derribo, desrame, descopado, tronzado y apilado, además del coste (en €) de transportar la madera desde los puntos de carga hasta la peletizadora. Estos datos de coste se han incluido en el SIG, dando como resultado la cartografía de los costes.

3. Resultados

3.1. Cálculo de Incremento Anual de biomasa forestal

En la tabla 3 quedan reflejadas las cantidades de biomasa extraída (en t) en cada uno de los escenarios, observándose como disminuye la cantidad de biomasa extraíble total.

Tabla 3. Potencial de biomasa (Incremento Anuales en t) en cada Escenario

	Todo	2 zonas (Tampón y Transición)	1 zona (Transición)
R.B.	64815,17	26011,63	9315,28
Escenario 1	55046,50	23302,58	8461,84
Escenario 2	48000,00	20526,54	8078,02
Escenario 3	36144,23	15791,92	2553,73
Escenario 4	30940,54	13390,42	2317,21

En la figura 2 se puede ver como los incrementos anuales de biomasa extraíble.

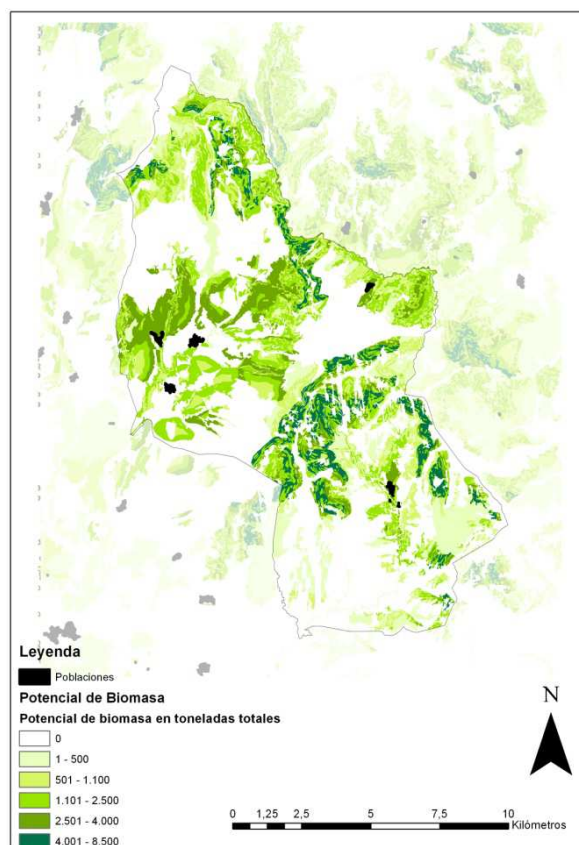


Fig. 2. Potencial de biomasa extraíble (en t)

3.2. Análisis económico de los costes de extracción y transporte a la planta peletizadora

En este apartado, se muestran los costes de extracción y transporte a la planta peletizadora.

Tabla 2. Costes (€) por Saca, Aprovechamiento, Clases y Clareos, Carga de madera con grúa, desplazamiento (ida y vuelta) de biomasa (en estereos) a Planta Pelletizadora.

	R.B.	Dos zonas: Tampón y Transición	Una zona: Transición
Escenario 1	3.117.143,18	1.778.617,16	464.415,09
Escenario 2	2.406.267,26	1.474.011,80	426.149,06
Escenario 3	1.799.510,13	1.239.090,42	97.496,80
Escenario 4	1.251.437,31	978.738,58	72.745,26

Las figuras 3 y 4 representan los costes de transporte y los costes generales de las operaciones de derribe, desrame, descopado, tronzado y apilado en lugar accesible al medio de saca, además del coste de saca.

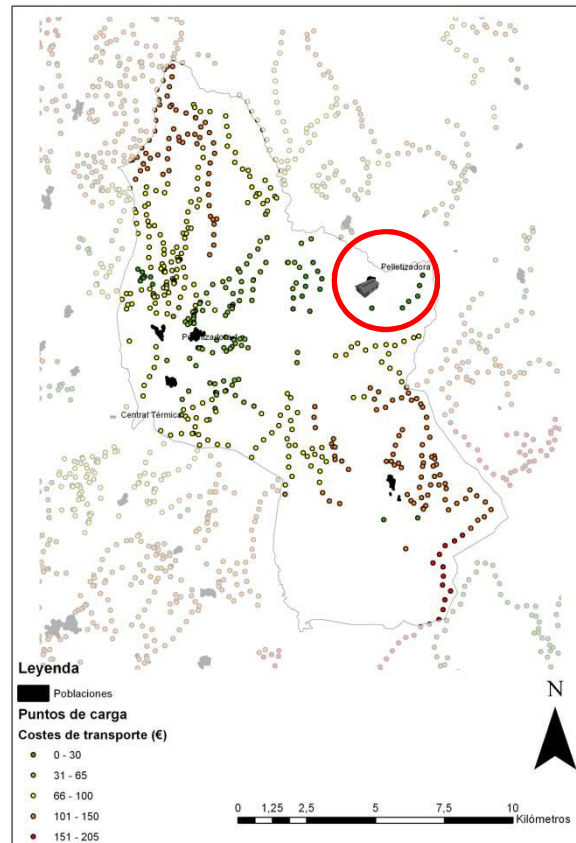


Fig. 3. Coste (€) de transporte a Pelletizadora de toda la biomasa acumulada al punto de carga.

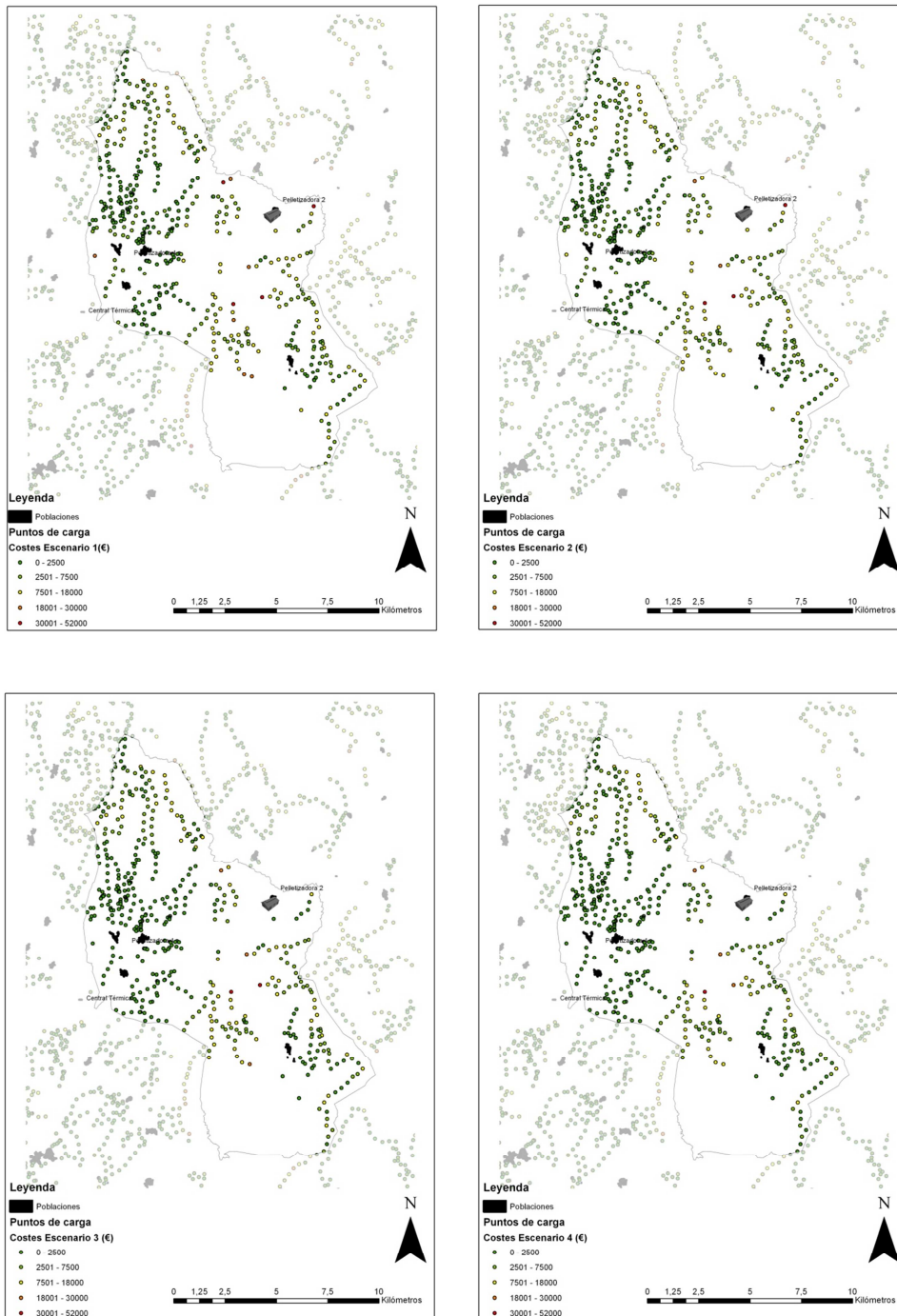


Fig. 4. Costes (€) de derribe, desrame, descopado, tronzado, apilado y de saca de toda la biomasa acumulada al punto de carga

4. Discusión

4.1. Cálculo de Incremento Anual de biomasa forestal

Nuestros resultados muestran la reducción del recurso potencial disponible en cada uno de los escenarios, debido a factores o limitantes, como la distancia de extracción; la pendiente, que derivará a un método de extracción u otro, la posible presencia de especies arbóreas protegidas, o que sean importantes para el ecosistema y no puedan ser explotadas. Algunas de estas variables han sido consideradas en trabajos similares (Beccali, Columba, D'Alberti, & Franzitta, 2009; Perpiña et al., 2009; Zambelli et al., 2012).

Los resultados revelan el efecto de las restricciones de la zonificación de la RB en la disponibilidad de biomasa forestal. El aprovechamiento realizado sobre todo el territorio o sobre las zonas tampón y de transición proporciona unos resultados que podrían hacer viable este aprovechamiento. Este tipo de metodologías pueden ser de gran ayuda para determinar la sostenibilidad energética de las RB, determinando la creación de empleo cualificado y estable, no sujeto a la deslocalización, y un aumento de la competitividad económica y la independencia energética.

4.2. Análisis económico de los costes de extracción y transporte a la planta peletizadora

Nuestros datos expresan la variabilidad de los costes económicos variables en función del escenario en el que nos encontremos, ya que no será lo mismo extraer toda la biomasa posible, con extracción manual y teleférico como es el primer escenario, que extraer solo los pinos y chopos con el método manual, como se da en el cuarto escenario.

Nuestro planteamiento es similar al de Sun (2013), dónde además de realizar la estimación del potencial de biomasa, considerando restricciones ambientales, se realiza parte del análisis económico. En nuestro caso, al igual que Shi, (2008) consideramos los costes de transporte para evaluar la factibilidad de la instalación de una peletizadora. Por otro lado, coincidimos con Kinoshita (2009) en que el obstáculo fundamental en el aprovechamiento de este recursos son los costes de extracción del recurso.

Sin duda, la viabilidad económica de este tipo de instalaciones sólo se podrá determinar considerando el resto de costes así como los beneficios.

5. Conclusiones

Las principales conclusiones obtenidas son:

- La utilidad de los SIG para el cálculo y cartografía de la cantidad de biomasa forestal disponible en una zona, la versatilidad a la hora de cambiar de escenario, además de la ayuda a la cuantificación de los costes económicos.
- Los valores obtenidos muestran, tanto el efecto de la zonificación en la reducción de la disponibilidad del recurso, como el efecto de las restricciones por especies aprovechables y las técnicas de explotación.

Referencias

- Beccali, M., Columba, P., D'Alberti, V., & Franzitta, V. (2009). Assessment of bioenergy potential in Sicily: A GIS-based support methodology. *Biomass and Bioenergy*, 33(1), 79-87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.04.019>

- Diéguez Aranda, U., Barrio Anta, M., Ruiz Gonzalez, A. D., Álvarez Taboada, M. F., J.G., Á. G., & Rojo Alboreca, A. (2003). *Dendrometría*: Fundación de Conde del Valle de Salazar.
- Gutierrez Oliva A., & J.L., F. G. (1997). *Cálculo de la densidad y de las variaciones dimensionales de la madera. Equivalencias numéricas entre valores*. Madrid: CIFOR-INIA.
- IDAE. (2011). Plan de energías renovables 2011-2020. In T. y. C. Ministerio de Industria (Ed.) (pp. 824).
- Kinoshita, T., Inoue, K., Iwao, K., Kagemoto, H., & Yamagata, Y. (2009). A spatial evaluation of forest biomass usage using GIS. *Applied Energy*, 86(1), 1-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.03.017>
- Montero, G., Ruiz-Peinado, R., & Muñoz, M. (2005). *Producción de Biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles*. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria . Ministerio de Educación y Ciencia.
- Perpiña, C., Alfonso, D., Pérez-Navarro, A., Peñalvo, E., Vargas, C., & Cárdenas, R. (2009). Methodology based on Geographic Information Systems for biomass logistics and transport optimisation. *Renewable Energy*, 34(3), 555-565. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2008.05.047>
- Shi, X., Elmore, A., Li, X., Gorence, N. J., Jin, H., Zhang, X., et al. (2008). Using spatial information technologies to select sites for biomass power plants: A case study in Guangdong Province, China. *Biomass and Bioenergy*, 32(1), 35-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.06.008>
- Sun, Y., Wang, R., Liu, J., Xiao, L., Lin, Y., & Kao, W. (2013). Spatial planning framework for biomass resources for power production at regional level: A case study for Fujian Province, China. *Applied Energy*, 106(0), 391-406. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.02.003>
- TRAGSA. (2007a). *Tarifas de trabajo costes 2007 (Precios simples)*. Granada: Tragsa.
- TRAGSA. (2007b). *Tarifas de trabajos costes 2007 (Precios compuestos)*. Granada: Tragsa.
- Zambelli, P., Lora, C., Spinelli, R., Tattoni, C., Vitti, A., Zatelli, P., et al. (2012). A GIS decision support system for regional forest management to assess biomass availability for renewable energy production. *Environmental Modelling and Software*, 38, 203-213. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.05.016>