



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-185

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

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Análisis de la rentabilidad de la valorización energética de residuos forestales en el Sur de la provincia de Burgos

GARCÍA GÜEMES, C.¹, MATA GUTIÉRREZ, C.¹, ORTEGA BLANCO, O.¹ y SÁNCHEZ DIEGO F.J.¹

¹Servicio Territorial de Medio Ambiente de Burgos, C/Juan de Padilla s/n. 09006 Burgos. Junta de Castilla y León.

Resumen

La valorización energética de los residuos forestales es una opción para reducir el coste de los tratamientos selvícolas de mejora. Paralelamente, se pone en el mercado una materia prima para producir energía renovable. Este trabajo analiza los costes e ingresos reales al aprovechar residuos forestales procedentes de tratamientos selvícolas de mejora registrados en 14 sitios de ensayo en el sur de la provincia de Burgos. Las especies presentes son *Pinus sylvestris*, *Pinus pinaster*, *Pinus nigra* y *Pinus pinea*. El coste del desembosque y el precio de la biomasa en fábrica son dos factores determinantes en el umbral de rentabilidad de esta actividad, que no se alcanzó en la mayor parte de los casos.

Palabras clave

Biomasa, aprovechamientos, silvicultura, rentabilidad.

1. Introducción

La generación de energía a través de la biomasa forestal se considera una oportunidad para el aprovechamiento sostenible de recursos considerados como residuos o subproductos. Incluso se ha visto como una oportunidad para gestionar los combustibles forestales de cara a la prevención de incendios (MADRIGAL, 2012).

Los tratamientos selvícolas que se acometen en las masas forestales de crecimiento lento, con cargo casi en exclusiva a los presupuestos de las Comunidades Autónomas, generan residuos en forma de maderas de pequeñas dimensiones, ramas, hojas, acículas, etc. que debe triturarse para evitar la aparición de plagas (especialmente las de escolítidos perforadores) y acelerar su incorporación al suelo. La puesta en valor de estos restos como biomasa puede evitar el gasto que supone a las administraciones la eliminación de los residuos y colocar en el mercado un producto para la producción de energía eléctrica de carácter renovable. De esta forma, se produciría un ahorro para los promotores de los tratamientos selvícolas, que no se verían obligados a su eliminación por procedimientos mecánicos.

Es necesario determinar con ejemplos prácticos la rentabilidad (si es que existe) que puede ofrecer la generación de biomasa a través de los clareos en las masas de coníferas. La producción de biomasa en los casos estudiados nunca es finalista, sino que es una consecuencia de intervenciones selvícolas de mejora en masas jóvenes.

Los trabajos que existen sobre el aprovechamiento energético de residuos forestales abordan el asunto desde una óptica teórica (VELÁZQUEZ, 2006) o general (ESPEJO, 2005), existiendo pocas publicaciones que aborden un análisis de costes en situaciones reales (cf. TOLoSANA *et al.* 2008). Estos autores identificaban ya hace 9 años que se *ha prestado mucha atención a los aspectos de*

evaluación del recurso y transformación energética y no ha sido suficiente la atención al suministro (calidad, cantidad y costes). Este análisis mantiene su vigencia.

2. Objetivos

El objeto es analizar la viabilidad económica de aprovechar la biomasa de los restos de tratamientos selvícolas en masas de coníferas de crecimiento lento (*Pinus sylvestris*, *Pinus pinaster*, *Pinus nigra* y *Pinus pinea*) para la generación de energía.

3. Metodología

Se han realizado 14 experiencias en montes públicos del sur de la provincia de Burgos. Los sitios de ensayo comprenden una amplia variedad de situaciones, todas ellas reales, susceptibles de generar biomasa con fines de producción energética. Desde el punto de vista de la vegetación, se ha trabajado tanto en masas regeneradas naturalmente como repoblaciones. En todos los casos los tratamientos practicados son intervenciones que buscan la mejora de la masa residual: ello incluye claros en rodales coetáneos, eliminación de regeneración adelantada considerada inviable, tratamientos de bosquetes en masas semirregulares.

Las variables consideradas han sido:

- Especie y tipo de masa.
- Clase natural de edad.
- El tamaño medio de los productos extraídos, caracterizado por el diámetro medio cuadrático.
- La distancia media de desembosque al punto de astillado.
- La pendiente, que se relaciona con la dificultad del desembosque.
- El peso extraído por hectárea.

En las Tablas 1, 2, 3 y 4 se muestra la caracterización de cada uno de los sitios de ensayo.

Tabla 1. Caracterización de los sitios de ensayo 1, 2, 3 y 4

Sitio de ensayo	1	2	3	4
Municipio	Araúzo de Miel	Pinilla de los Barruecos	Bahabón de Esgueva	Hontoria del Pinar
Ubicación	MUP 203	MUP 250	BU-3082	MUP 222 (rodales 9, 10, 11 y 12)
Superficie (ha)	25	10,6	11	130
Especie	<i>P. pinaster</i>	<i>P. pinaster</i>	<i>P. nigra</i>	<i>P. pinaster</i>
Clase natural de edad	Latizal alto/regeneración adelantada	Latizal bajo y regeneración adelantada	Latizal alto	Monte bravo (regeneración adelantada bajo fustal)
Dg productos extraídos (cm)	> 15	12	< 15	10
Distancia media de desembosque (m)	350	1.000	150	1.000
Pendiente (%)	15	5	10	10
Densidad de corta	< 200	500	800	100

(pies/ha)				
Peso unitario extraído (T/ha)	22,39	19,93	29,16	8,26

Tabla 2. Caracterización de los sitios de ensayo 5, 6, 7 y 8

Sitio de ensayo	5	6	7	8
Municipio	Hontoria del Pinar	Hontoria del Pinar	Nava de Roa	Rabanera del Pinar
Ubicación	MUP 223 (rodal 2, 39, 40 y 41)	MUP 223 (rodal 73)	MUP 606	MUP 254
Superficie (ha)	60,34	5	21,71	20,55
Especie	<i>P. pinaster</i>	<i>P. pinaster</i>	<i>P. pinea/pinaster</i>	<i>P. pinaster</i>
Clase natural de edad	Monte bravo (regeneración adelantada bajo fustal)	Latizal alto (restos de tratamiento selvícola)	Latizal medio	Monte bravo (regeneración adelantada bajo latizal alto)
Dg productos extraídos (cm)	10	< 10	13	13
Distancia media de desembosque (m)	600	400	500	2.000
Pendiente (%)	10	0	5	5-25
Densidad de corta (pies/ha)	<200	500	800	1.200
Peso unitario extraído (T/ha)	23,67	31,38	27,06	60,35

Tabla 3. Caracterización de los sitios de ensayo 9, 10, 11 y 12

Sitio de ensayo	9	10	11	12
Municipio	Lerma	Quintanar de la Sierra	Quintanar de la Sierra	Quintanar de la Sierra
Ubicación	MUP 700	MUP 251 (rodal 30)	MUP 251 (rodal 74)	MUP 251 (rodal 54)
Superficie (ha)	18,20	11	17,95	7,5
Especie	<i>P. pinea</i>	<i>P. sylvestris</i>	<i>P. sylvestris</i>	<i>P. sylvestris</i>
Clase natural de edad	Latizal medio	Monte Bravo	Monte Bravo	Monte Bravo
Dg productos extraídos (cm)	15	5	5	5
Distancia media de desembosque (m)	1.000	500	500	800
Pendiente (%)	0	0	0	0
Densidad de corta (pies/ha)	1.500	40.000	40.000	40.000
Peso unitario extraído (T/ha)	50,33	33,74	22,62	54,73

Tabla 4. Caracterización de los sitios de ensayo 13 y 14

Sitio de ensayo	13	14
Municipio	Quintanar de la Sierra	Vilviestre del Pinar
Ubicación	MUP 251 (rodal 31)	MUP 290 (rodales 29 y 28)
Superficie (ha)	6	15,91
Especie	<i>P. sylvestris</i>	<i>P. sylvestris</i>
Clase natural de edad	Monte Bravo	Monte Bravo
Dg productos extraídos (cm)	5	5
Distancia media de desembosque (m)	2.500	1.000
Pendiente (%)	0	0-15
Densidad de corta (pies/ha)	40.000	40.000
Peso unitario extraído (T/ha)	17	24,55

El tratamiento sobre la vegetación ha sido en todos los casos manual, sin posibilidad de mecanizar las cortas con multitaladora o similar por el objetivo de los tratamientos selvícolas. Allí donde se considera necesario (todas las actuaciones en montes bravos) se realizan calles paralelas de 3,5 m – 4 m de ancho, con una distancia entre ejes de 20 m. El coste de los tratamientos selvícolas no está incluido en el balance económico. Estos ensayos se establecen con el objeto de valorar la posibilidad de que su valorización energética sea más rentable que la trituración *in situ* de los mismos, que es la alternativa clásica. Se rechaza de plano por irreal la posibilidad de que la valorización energética pueda financiar los tratamientos selvícolas.

Los costes se desagregan según las operaciones de desembosque, astillado y transporte. El desembosque de los productos hasta el punto de astillado se ha realizado con autocargador, excepto en los sitios de ensayo 2, 9, 11 y 14, en los que se ha empleado un tractor forestal con remolque.

En todos los casos el astillado se realiza en cargadero, con una astilladora sobre piso móvil que carga directamente al camión, excepto en los sitios de ensayo 1 y 4. En estos sitios de ensayo, la presencia de cierta cantidad de arena en los restos obligó a realizar el astillado con desbrozadora de martillos, cargándose los camiones con pala cargadora.

El porte a fábrica se hacía siempre por camión desde el punto de astillado a la planta generadora de energía eléctrica, bien en Soria o en Valladolid.

Los ingresos son los generados con la venta de la biomasa astillada a la planta. El precio es muy variable en función de la humedad con la que entra la biomasa en la fábrica y de la coyuntura de mercado.

4. Resultados

El peso de la biomasa total de los 14 ensayos asciende a 7.783,21 T, con una media de 555,94 T por ensayo, con valores extremos de 1.427,98 T en el ensayo 5 y 101,98 T en el ensayo 13. En las siguientes tablas se muestra el balance económico de las operaciones. En la tabla 5 se muestran los

costes referidos al conjunto del ensayo, mientras que en la tabla 6 se muestran los porcentajes de cada una de las operaciones, lo que permite comprobar la influencia de cada componente en el coste global. La tabla 7 muestra los costes unitarios, referidos a cada tonelada como a la unidad de superficie.

Tabla 5. Peso de la biomasa extraída en cada ensayo y coste de las operaciones (desembosque, astillado y transporte a fábrica). En los sitios de ensayo 2, 8 y 11 no ha sido posible desagregar el desembosque y el astillado, por lo que el importe comprende ambas operaciones.

Ensayo	Término municipal	Peso (T)	Desemb (€)	Astillado (€)	Transporte (€)	Coste Global (€)
1	Araúzo de Miel	559,69	13.965,00	5.876,75	6.541,73	26.383,48
2	Pinilla de los Barruecos	211,30	6.598,00		2.750,00	9.348,00
3	Bahabón de Esgueva	320,71	3.924,40	3.003,70	3.706,75	10.634,85
4	Hontoria del Pinar	1.074,50	23.995,00	13.431,25	11.819,50	49.245,75
5	Hontoria del Pinar	1.427,98	23.520,50	14.993,79	13.286,54	51.800,83
6	Hontoria del Pinar	156,88	4.585,90	1.725,68	1.450,00	7.761,58
7	Nava de Roa	587,56	20.295,00	5.975,60	3.112,96	29.383,56
8	Rabanera del Pinar	860,55	17.680,00		8.797,30	26.477,30
9	Lerma	915,94	12.375,00	10.075,34	9.617,37	32.067,71
10	Quintanar de la Sierra	371,14	9.292,80	3.896,97	3.772,15	16.961,92
11	Quintanar de la Sierra	393,92	13.312,00		4.500,00	17.812,00
12	Quintanar de la Sierra	410,46	4.500,00	4.640,06	3.110,00	12.250,06
13	Quintanar de la Sierra	101,98	3.306,47	1.221,78	740,00	5.268,25
14	Vilviestre del Pinar	390,60	12.058,00	4.646,80	5.446,50	22.151,30

Tabla 6 Aportación relativa de las operaciones de desembosque, astillado y transporte al coste global.

Ensayo	Término municipal	Desemb (%)	Astillado (%)	Transporte (%)	Coste Global (€)
1	Araúzo de Miel	52,93	22,27	24,79	26.383,48
2	Pinilla de los Barruecos	70,58		29,42	9.348,00
3	Bahabón de Esgueva	36,90	28,24	34,85	10.634,85
4	Hontoria del Pinar	48,73	27,27	24,00	49.245,75
5	Hontoria del Pinar	45,41	28,95	25,65	51.800,83
6	Hontoria del Pinar	59,08	22,23	18,68	7.761,58
7	Nava de Roa	69,07	20,34	10,59	29.383,56
8	Rabanera del Pinar	66,77		33,23	26.477,30
9	Lerma	38,59	31,42	29,99	32.067,71
10	Quintanar de la Sierra	54,79	22,97	22,24	16.961,92
11	Quintanar de la Sierra	74,74		25,26	17.812,00
12	Quintanar de la Sierra	36,73	37,88	25,39	12.250,06
13	Quintanar de la Sierra	62,76	23,19	14,05	5.268,25
14	Vilviestre del Pinar	54,43	20,98	24,59	22.151,30

Tabla 7 Costes unitarios de las operaciones, referidos a la tonelada de biomasa y a la unidad de superficie.

Ensayo	Término municipal	Peso (T)	Sup (ha)	Coste Global (€)	Coste unitario (€/T)	Coste unitario (€/ha)
1	Araúzo de Miel	559,69	25,00	26.383,48	47,14	1.055,34
2	Pinilla de los Barruecos	211,30	10,60	9.348,00	44,24	881,89
3	Bahabón de Esgueva	320,71	11,00	10.634,85	33,16	966,80
4	Hontoria del Pinar	1.074,50	130,00	49.245,75	45,83	378,81
5	Hontoria del Pinar	1.427,98	60,54	51.800,83	36,28	855,65
6	Hontoria del Pinar	156,88	5,00	7.761,58	49,47	1.552,32
7	Nava de Roa	587,56	21,71	29.383,56	50,01	1.353,46
8	Rabanera del Pinar	860,55	14,26	26.477,30	30,77	1.856,75
9	Lerma	915,94	18,20	32.067,71	35,01	1.761,96
10	Quintanar de la Sierra	371,14	11,00	16.961,92	45,70	1.541,99
11	Quintanar de la Sierra	393,92	17,65	17.812,00	45,22	1.009,18
12	Quintanar de la Sierra	410,46	7,50	12.250,06	29,84	1.633,34
13	Quintanar de la Sierra	101,98	6,00	5.268,25	51,66	878,04
14	Vilviestre del Pinar	390,60	15,91	22.151,30	56,71	1.392,29

La Tabla 8 muestra el balance económico calculado para en cada sitio de ensayo de cada una de las operaciones, lo que permite comprobar la influencia de cada componente en el coste global.

Tabla8. Balance económico de cada uno de los sitios de ensayo.

Ensayo	Término municipal	Peso (T)	Precio astilla (€/T)	Ingresos (€)	Coste Global (€)	Balance(€)
1	Araúzo de Miel	559,69	43,35	24.261,53	26.383,48	-2.121,95
2	Pinilla de los Barruecos	211,30	35,52	7.505,38	9.348,00	-1.842,62
3	Bahabón de Esgueva	320,71	58,81	18.861,85	10.634,85	8.227,00
4	Hontoria del Pinar	1.074,50	40,20	43.200,00	49.245,75	-6.045,75
5	Hontoria del Pinar	1.427,98	40,80	58.263,96	51.800,83	6.463,13
6	Hontoria del Pinar	156,88	47,93	7.518,48	7.761,58	-243,10
7	Nava de Roa	587,56	39,60	23.267,38	29.383,56	-6.116,18
8	Rabanera del Pinar	860,55	29,38	25.282,67	26.477,30	-1.194,63
9	Lerma	915,94	43,50	39.843,39	32.067,71	7.775,68
10	Quintanar de la Sierra	371,14	45,00	16.701,30	16.961,92	-260,62
11	Quintanar de la Sierra	393,92	32,83	12.931,34	17.812,00	-4.880,66
12	Quintanar de la Sierra	410,46	34,28	14.071,90	12.250,06	1.821,84
13	Quintanar de la Sierra	101,98	58,12	5.927,49	5.268,25	659,24
14	Vilviestre del Pinar	390,60	39,89	15.579,39	22.151,30	-6.571,91

Finalmente, en la tabla 9 se muestra el superávit o déficit registrado en cada sitio de ensayo, referido tanto a la unidad de peso como a la de superficie.

Tabla 9. Superávit o déficit registrado en cada sitio de ensayo, en términos unitarios, referido tanto a la unidad de peso como a la de superficie.

Ensayo	Término municipal	Peso (T)	Sup (ha)	T/ha	Balance(€)	Superávit/ Déficit (€/T)	Superávit/ Déficit (€/ha)
1	Araúzo de Miel	559,69	25,00	22,39	-2.121,95	- 3,79	-84,88
2	Pinilla de los Barruecos	211,30	10,60	19,93	-1.842,62	- 8,72	-173,83
3	Bahabón de Esgueva	320,71	11,00	29,16	8.227,00	5,65	747,91
4	Hontoria del Pinar	1.074,50	130,00	8,27	-6.045,75	- 5,63	-46,51
5	Hontoria del Pinar	1.427,98	60,54	23,59	6.463,13	4,53	106,76
6	Hontoria del Pinar	156,88	5,00	31,38	-243,10	- 1,55	-48,62
7	Nava de Roa	587,56	21,71	27,06	-6.116,18	- 10,41	-281,72
8	Rabanera del Pinar	860,55	14,26	60,35	-1.194,63	- 1,39	-83,77
9	Lerma	915,94	18,20	50,33	7.775,68	8,49	427,24
10	Quintanar de la Sierra	371,14	11,00	33,74	-260,62	- 0,70	-23,69
11	Quintanar de la Sierra	393,92	17,65	22,32	-4.880,66	- 12,39	-276,52
12	Quintanar de la Sierra	410,46	7,50	54,73	1.821,84	4,44	242,91
13	Quintanar de la Sierra	101,98	6,00	17,00	659,24	6,46	109,87
14	Vilviestre del Pinar	390,60	15,91	24,55	-6.571,91	- 16,83	-413,07

5. Discusión

Los sitios de ensayo son condiciones reales en monte. Por tanto, hay un gran abanico de situaciones que permite el análisis relativo entre ensayos. Las densidades oscilan entre las 8,26 T/ha extraídas y las 60,35 T/ha. No obstante, la densidad extraída no parece tener gran influencia en el balance económico, existiendo otras circunstancias más determinantes. Para los lugares ensayados, la distribución de costes entre las operaciones (Tabla 6) no ofrece gran disparidad. El desembosque supone, grosso modo, la mitad del coste, repartiéndose la otra mitad a partes iguales entre el astillado y el transporte. La facilidad o dificultad del desembosque (determinado sobre todo por la escabrosidad del terreno y la distancia al cargadero) será un factor determinante a la hora de rentabilizar la operación.

A pesar de la gran heterogeneidad que presentan entre sí los sitios de ensayo (tablas 1 a 4), los costes unitarios no presentan una variación tan acusada como en principio se pudiera esperar (media 42,93 €/T, desviación estándar 8,42 €/T). No obstante, el menor coste unitario aparece en los ensayos con mayor densidad de biomasa, como se puede comprobar en la tabla 7: Los 3 ensayos con

menor coste unitario tienen una densidad de biomasa por encima de 50 T/ha. Tolosana et al. (2008) estiman costes sensiblemente menores, probablemente porque la biomasa extraída es más elevada (hasta 100 T/ha) y el desarrollo de las masas es mayor que el correspondiente a estos ensayos.

Por el lado de los ingresos, lógicamente el factor crítico es el precio de la biomasa astillada en fábrica, que se muestra en la tabla 8. El precio pagado por este producto está afectado de cierta variabilidad (media 42,09 €/T, desviación estándar 8,75 €/T), que es superior incluso a la variabilidad que hemos encontrado en los costes unitarios. La humedad de la biomasa, el destino de la misma (se ha observado unos 4 €/T de prima para destino termoeléctrico) y la coyuntura del mercado provocan variaciones de precio que dificultan el análisis económico a la hora de determinar la posible rentabilidad de un determinado aprovechamiento.

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que los costes analizados no incluyen gastos generales ni beneficio industrial de las empresas que realizan las operaciones de desembosque, el astillado y el transporte. Estos importes deberían añadirse, en su caso, a los costes unitarios calculados. En este escenario, de los 14 ensayos únicamente en 5 de ellos se ha traspasado el umbral de rentabilidad. Las mayores rentabilidades están lógicamente asociadas a los mayores precios de la astilla en fábrica (ensayo 3, tablas 8 y 9) y a la mayor eficiencia en el desembosque (ensayo 9, tablas 8 y 9).

6. Conclusiones

En las condiciones ensayadas, el umbral de rentabilidad se encuentra en el entorno de 42 €/T, considerando únicamente los costes de desembosque, astillado y transporte.

El coste del desembosque supone tanto como el astillado y transporte a fábrica. Por tanto, el desembosque es determinante a la hora de evaluar la rentabilidad de la actuación. Actuaciones con distancias de saca cortas y accesibles pueden ser apropiadas para la valorización de los restos.

En condiciones normales el desembosque con autocargador es recomendable frente al uso de tractor forestal con remolque adaptado debido, sobre todo, a su mayor capacidad de carga, que redonda directamente en la disminución de tiempos muertos.

El precio de la biomasa en fábrica es un factor muy variable y determinante en el análisis de rentabilidad.

En general, es más fácil rentabilizar las actuaciones con mayor densidad de biomasa extraída.

Si otras contingencias no valoradas en el presente análisis se normalizan y, sobre todo, se reducen los tiempos necesarios para completar el proceso de puesta en valor de la biomasa procedente de clareos y tratamientos selvícolas, la valorización de aquellos pudiera generalizarse en aquellos tajos más accesibles, puesto que, excepto en los dos escenarios menos favorables analizados, resulta competitivo frente a los procesos de eliminación clásica de restos.

7. Bibliografía

ESPEJO MARÍN, C . 2005. La biomasa en la producción de electricidad en España. *Estudios Geográficos* 258: 105-128

MADRIGAL, J. COOR. 2012. El aprovechamiento energético de biomasa forestal y la prevención de incendios. Proyectos SELVIRED y FIRESMART. 14 p. http://wwwsp.inia.es/Investigacion/centros/CIFOR/redes/Selvired/Documents/Jornada%20Biomasa-Incendios/El%20aprovechamiento%20energ%C3%A9tico%20de%20la%20biomasa%20forestal%20y%20la%20prevenci%C3%B3n%20de%20incendios_Conclusiones%20Jornada%20SELVIRED-FIRESMART.pdf

TOLOSANA, E.; AMBROSIO, Y.; LAINA, R.; MARTÍNEZ, R. 2008. Sistemas de aprovechamiento de biomasa en Castilla y León. Las experiencias en curso. Boletín del CIDEU 5: 97-106
ISSN 1885-5237

VELÁZQUEZ MARTÍ, B. 2006. La situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética. *Ecosistemas* vol. 15 (1): 77-86