

**PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO A PARTIR DE TOCONES DE EUCALIPTO
(*EUCALYPTUS GLOBULUS*) PROCEDENTES DE RESTAURACIÓN DE ZONAS INCENDIADAS.**

Jiménez, N. *; Izquierdo, M.R.; Morales Mesa, J. I.

Egmasa. Unidad de Nuevas Iniciativas. División del Medio Natural. C/ Américo
Vespucio, 5.2. Bloque C. Local 5 Edificio Cartuja. Isla de la Cartuja. 41092 Sevilla.

*Autores para la correspondencia: njimenez@egmasa.es

Boletín del CIDEU 5: 21-29 (2008)
ISSN 1885-5237

Resumen

En el marco de los trabajos de restauración de una zona incendiada, se ha procedido al desembosque de tocones de eucalipto blanco (*Eucalyptus globulus*) con dos procedimientos distintos. Una vez en cargadero se han procesado mediante una trituradora de martillos y la astilla resultante se ha analizado, tanto en sus características físicas como en su composición química.

Palabras clave: Tocones, eucalipto, biomasa, trituradora, caracterización.

Summary.-

Solid biofuel production by means of grinding eucalyptus stumps, coming from restoration works of burnt areas.

Within the framework of restoration tasks in a burnt area, white eucalyptus stumps were taken off from the forest through two different processes. These residues have been processed by a hammer grinder, and the resulting ground wood has been analyzed both in his physical characteristics and chemical composition.

Key words: Stumps, eucalyptus, biomass, grinder, characterization.

INTRODUCCIÓN

La utilización de los residuos generados en el monte para obtener energía supone un cambio respecto al tradicional tratamiento de los mismos, cambio que se refleja en el coste total de los aprovechamientos selvícolas, produciendo una gran incertidumbre a la hora de valorar este producto.

Por esto y con el fin de ampliar los conocimientos sobre el manejo de la biomasa forestal en campo, se planteó la realización de unas pruebas de extracción de tocones de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) teniendo como objetivo su trituración para la obtención de biocombustible sólido.

Esta experiencia se realiza en la zona incendiada en las provincias de Huelva (términos municipales de Berrocal, El Campillo, Escacena del Campo, Minas de Riotinto, Nerva, Paterna del Campo y Zalamea la Real) y Sevilla (términos municipales de Aznalcóllar, Castillo de las Guardas, El Madroño, Gerena, El Garrobo y Sanlúcar la Mayor), como consecuencia del incendio acaecido el día 27 de julio de 2004, que afectó a un total de 34.708 ha.

Las actuaciones contemplan el cambio de especie a vegetación autóctona como alcornoque (*Quercus suber*) por lo tanto se procede al destocoado de eucalipto (*Eucalyptus globulus*).

MATERIAL Y MÉTODOS

Extracción y transporte

Caracterización de la zona de actuación

La zona de actuación se encuentra ubicada en el término municipal El Madroño, en la provincia de Sevilla, situada en la hoja 961 del Mapa Topográfico de Andalucía 1:50.000, del Instituto Andaluz de Cartografía (Figura 1); toda ella dentro del área afectada por el incendio anteriormente mencionado.

La zona de actuación se enmarca en las siguientes coordenadas:

Tabla 1. Coordenadas geográficas

	X	Y
Norte	193.816	4.173.697
Sur	195.359	4.170.675
Este	195.439	4.170.832
Oeste	192.573	4.172.208

La parcela donde se ha realizado el trabajo se ubica en la finca de El Rastrojal, finca de titularidad privada, con cuyo propietario existe firmado un convenio con la Junta de Andalucía para su restauración. No obstante, los cargaderos se han situado en los montes La Berrocosa y Las Catorce, ambos propiedad de la Junta de Andalucía.

El área seleccionada presenta predominio de materiales del Cámbrico y Precámbrico, con sustrato litológico silíceo sometido a metamorfismo que ha originado fundamentalmente pizarras. Estos materiales dan lugar a suelos ácidos y poco profundos, continuamente rejuvenecidos por la erosión, con carencia de carbonato cálcico libre y moderada saturación de bases en el complejo de cambio. Es una zona de transición entre un clima mediterráneo subhúmedo de tendencia atlántica y un clima mediterráneo genuino, cálido, menos seco de inviernos cálidos (Allué Andrade, 1966).

El monte de estudio se encuentra en una zona de erosión moderada, con pérdidas menores a 25 tn/ha/año, siendo la erosión potencial de 50-100 tn/ha/año, en ausencia de la vegetación protectora; este dato ha sido obtenido mediante la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) Un gran porcentaje de la masa forestal arbórea existente ha quedado calcinada, disminuyendo la fracción de cabida cubierta a porcentajes prácticamente nulos. Esto, unido al fuerte relieve dominante en la zona (figura 2), así como el hecho de presentar un clima con precipitaciones elevadas

(precipitación media anual de 802 mm/año) y concentradas en los meses de noviembre, diciembre y enero, son factores que facilitan la dinámica de erosión y de

movimientos de ladera. Además, el régimen torrencial de los cauces genera laderas con fuertes pendientes en las que los contrastes litológicos podrían facilitar los movimientos en masa.

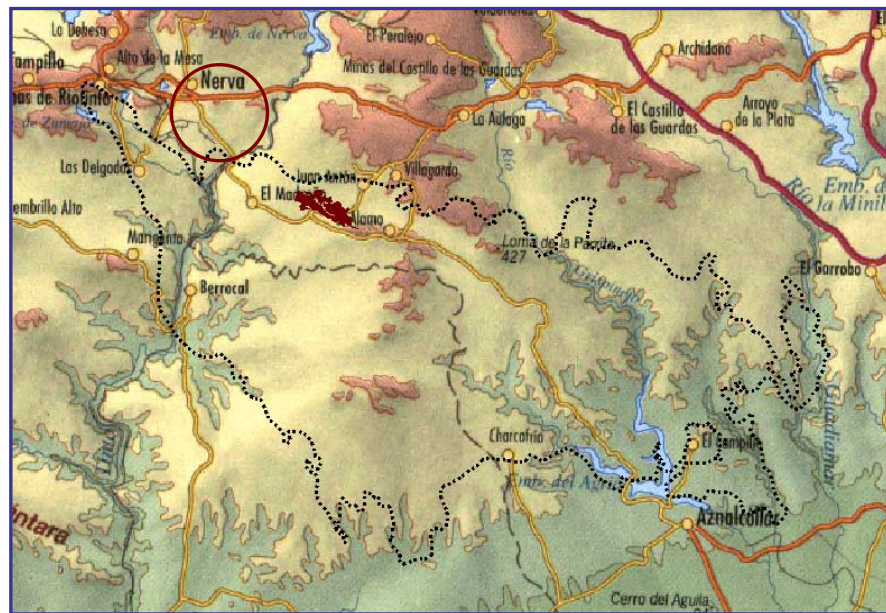


Figura 1.- Mapa de situación. Línea punteada = zona incendiada, zona de actuación en el interior del círculo.



Figura 2.- Mapa de pendientes

Como consecuencia de lo anterior se puede considerar que la superficie quemada es altamente erosionable, con sustratos fácilmente arrastrables al contar con escasa cubierta vegetal, por lo que el área afectada resulta extremadamente sensible a la erosión por impacto de lluvia y a la posterior erosión laminar. Las importantes pendientes de la zona agravan la acción de las aguas, aumentando la velocidad y capacidad erosiva de las mismas.

La vegetación potencial de La Berrocosa se encuadra en cuatro series de vegetación, todas ellas de carácter silicícola, pertenecientes al piso mesomediterráneo y termomediterráneo del alcornoque (23c y 26 respectivamente) y de la encina (24ca y 27a) (Rivas Martínez y Gandullo Gutiérrez, 1987).

Descripción de la experiencia

La actuación consistió en la recogida y saca de tocones procedentes del destocoado de eucaliptos en un área incendiada, con vistas a la obtención de biomasa con destino energético. Las figuras 3 y 4 muestran una vista general del aspecto de la zona de actuación y un detalle del destocoado con retroexcavadora.

Puesto que el coste de transporte de los tocones hasta el cargadero es un factor determinante del aprovechamiento, se probaron dos métodos de transporte para conocer el rendimiento:

1. Una vez apilados los tocones, una retroexcavadora acercó los montones a los bordes de caminos de manera que un tractor forestal los transportó hacia el cargadero habilitado para el astillado.
2. Un camión-pluma cargaba las pilas a otros dos camiones que realizan el transporte a cargadero.

En todas las parcelas, las pilas que se encontraban en zonas inaccesibles para la maquinaria fueron eliminadas mediante

quema.

La extracción de tocones se efectuó en diferentes períodos. El primero se realizó durante el mes de noviembre de 2006, en los días 14, 15, 20, 21, 22, 23, 26 y 27 utilizando una retro y dos tractores. En los meses de diciembre de 2006 y enero de 2007 se ejecutó otra extracción con una retro y un tractor. Finalmente en abril del 2007 se realizó la extracción utilizando esta vez un camión pulpo de carga y dos camiones. Las condiciones del terreno y, por tanto, la accesibilidad de la maquinaria varió dependiendo de la meteorología. Por ejemplo, en los días 17, 18 y 19 de abril se produjeron atascos de los camiones, ya que el terreno se encontraba embarrado por las lluvias.

Se han tomado datos tanto de tiempo activo definido como el tiempo real de trabajo de la máquina, como el tiempo de espera que es el tiempo invertido como consecuencia de averías, atascos y cualquier otro incidente que se produjera en el monte.

Trituración

Una vez que los tocones se desemboscaron y se situaron en cargadero, se procedió a su trituración a fin de transformarlos en un material que pudiese servir como biocombustible sólido. Para ello se utilizó una trituradora de martillos sobre rodillo horizontal (Continental Biomass Incorporated, modelo CBI-6.800). Se trata de un equipo semimóvil con desplazamiento sobre cadenas con radiocontrol, que dispone de un motor Caterpillar modelo CAT 3412 con una potencia de 1.000 CV y una mesa de alimentación móvil donde se han de ubicar los restos o trozas a triturar.

Tal y como se observa en las imágenes (figura 5), los tocones son depositados mediante una grúa con pinza en la mesa de alimentación, son triturados en el tambor y

salen a través de unas rejillas o grillas de luz fija (que pueden ser intercambiadas en función del tamaño de partícula deseado) mediante una cinta de transporte de inclinación variable, que permite su carga directa en camión o bien su acopio en pilas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desembosque

De todos los datos obtenidos en el monte se ha calculado una media y desviación

estándar por distancias de saca a cargadero. Para la saca con tractor se estimó el tiempo total, incluido en éste el de espera como consecuencia de averías, atascos y cualquier otro incidente que se produjera en el monte (Tabla 2)

En la saca con camión se incluyó tanto el tiempo total como el tiempo en activo. El tiempo en activo es el tiempo en el que el camión está funcionando, es decir, que se han eliminado los tiempos de espera (Tabla 3).

Tabla 2.- Rendimientos en saca con tractor.

DISTANCIA (km)	PESO TOCONES (tn)	TIEMPO TOTAL (hora)	RENDIMIENTO TOTAL (tn/hora)	
			P	D
0-1	24,66	8,67	2,85	0,37
1-1.5	18,53	8,00	2,32	0,30
1.5-2	12,23	8,50	1,44	0,55
2-3	10,96	10,00	1,10	0,08

P: Promedio; D: Desviación estándar

Tabla 3.- Rendimientos en saca con camión.

DISTANCIA (km)	PESO TOCONES (tn)	TIEMPO TOTAL (hora)	RENDIMIENTO TOTAL (tn/hora)		TIEMPO ACTIVO (hora)	RENDIMIENTO ACTIVO (tn/hora)	
			P	D		P	D
2-3	22,07	7,00	3,15	-	4,53	4,87	-
3-4	24,72	8,11	3,22	0,62	5,70	4,30	1,02
4-5	26,34	10,00	2,63	0,42	6,01	4,39	0,10

P: Promedio; D: Desviación estándar

Si bien las experiencias llevadas a cabo en cuanto al desembosque de los tocones con los que se ha trabajado hubiesen debido sistematizarse en mayor grado para poder extraer resultados concluyentes, en el marco de las actuaciones de restauración parece claro que los mejores rendimientos se obtienen con el empleo de camiones con pluma. El único valor comparable es a la distancia de 2-3 km en el que se observa que el rendimiento total en saca con tractor es de 1,10 tn/hora frente a la cifra muy superior de 3,15 tn/hora obtenida en la saca con camión. Se deberían realizar más pruebas sistematizadas con estos métodos variando las zonas de actuación para poder obtener resultados concluyentes.

Trituración

Para la trituración de todos los tocones se decidió ajustar los parámetros del equipo para la obtención de un mismo tipo de astilla. En este caso fue la astilla gruesa, apta tanto para el transporte y posterior procesado como para su consumo directo en calderas de parrilla fija. Por otra parte, se determinó la humedad de los tocones con anterioridad a su proceso en la trituradora, mediante un higrómetro electrónico (Gann, modelo Hydromette HT85 T), arrojando uno valor medio de 28.5 % (\pm desviación típica).

Los ajustes de la trituradora para el triturado de los tocones fueron: Rejas de 8x13, 10x22, 10x22; velocidad de alimentación del 10 % del máximo giro de rodillo de alimentación y 15 % de la velocidad máxima de alimentación de la mesa; y régimen de trituración del programa 1, correspondiente a la velocidad mínima de giro del rotor.

La muestra procesada fue de 52 toneladas, obteniéndose un rendimiento medio de 31,13 tn/hora.

Caracterización de la biomasa

La caracterización de la biomasa obtenida se llevó a cabo por parte del Grupo de investigación: Química Analítica de Contaminantes (FQM 170), del Departamento de Hidrogeología y Química Analítica de la Universidad de Almería. Ha sido procesada y analizada siguiendo las normas establecidas y normalizadas de procesamiento y análisis de biocombustibles sólidos. Estas normas son las siguientes:

- CEN/TS 14780:2005 –“Solid biofuels – Methods for sample preparation”
- UNE/32-004-84: “Solid Mineral Fuels. Determination of Ashes”
- UNE/32-001-84: “Coal and Anthracite: Determination of the Total Humidity”
- UNE/32-019-84: “Solid Mineral Fuels. Determination of Volatile Matters Content”
- CEN/TS 14774-2:2004 –“Solid biofuels –Methods for the determination of moisture content–Oven dry method–Part 2: Total moisture–Simplified method”
- CEN/TS14775:2004 –“Solid biofuels – Method for determination of ash content”

La aplicación de la primera de estas normas definió una muestra total de 24,2 kg, sobre la que se procedió al análisis que se detalla a continuación.

Tras la limpieza de la muestra se determinó la cantidad de arena presente, resultando ser aproximadamente de 1,26 kg (5,20 %), con un contenido de carbonato total, de esta fracción de arena, del 6,5 %. Una vez limpia la muestra se determinó el porcentaje de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo. Todas las muestras fueron analizadas por duplicado bajo unos criterios de aceptabilidad del resultado. Los resultados de cenizas, material volátil y carbono fijo están expresados en base seca. El carbono fijo se determinó por

eliminación, esto es, como diferencia entre el total y las cantidades de cenizas y material volátil. Los datos obtenidos fueron 6,82% de humedad, 1,58% de cenizas, 97,31% de material volátil y 1,11% de carbono fijo.

La determinación de C, H, N y S se llevó a cabo en un microanalizador elemental, arrojando un resultado de 0,17% de N, 16,96% de C, 2,84% de H y 80,03% de O. Todos los valores están expresados en base seca.

Por otro lado, el análisis de cloro se llevó a cabo siguiendo el método CEN/TS 15289 *Solid Biofuels-Determination of total content of sulphur and chlorine*. El análisis se realizó en un calorímetro IKA modelo C-200 dando un valor de 0,63% de Cl en base seca.

Para determinar el contenido de microelementos y macroelementos en cenizas se llevó a cabo una digestión ácida de éstas, siendo analizadas posteriormente mediante la técnica de plasma acoplado inductivamente con detección por espectrometría de masas (ICP-MS) y absorción atómica de llama.

El análisis de macroelementos expresado en % da valores de 0,18% de Al, 0,02% de Ti, 0,57% de Fe, 27,69% de Si, 1,13% de P, 3,91% de Mg, 26,73% de Ca, 0,41% de Mn, 1,06% de Na y 9,71% de K.

En lo relativo a macroelementos, calcio, potasio y sodio son elementos de interés ya que están descritos como elementos que van a determinar el punto de fusión de las cenizas. Asimismo, potasio y sodio también van a intervenir en procesos de corrosión de las calderas. Concentraciones por debajo del 15% para calcio y por encima del 7% y 2% para potasio y sodio respectivamente, pueden presentar estos tipos de problemas. Como se puede observar sólo el potasio puede presentar algún problema por esta causa.

Para el contenido de microelementos los resultados han sido expresados en mg/kg de cenizas siendo los siguientes: 266,83 de B, 15,90 de V, 41,06 de Cr, 11,45 de Co, 27,72 de Ni, 132,69 de Cu, 393,56 de Zn, 19,75 de As, 0,77 de Se, 4,14 de Mo, 42,47 de Ag, 0,44 de Cd, 1064,42 de Ba, 25,41 de Pb, 5,24 de Sb, 38,93 de Sn y 1,13 de U.

Finalmente, se procedió a la determinación del poder calorífico en base seca. Este análisis se ha llevado a cabo en un calorímetro IKA modelo C-200, con unos resultados en kcal/kg de 3.161 como Poder Calorífico Superior y tan sólo 3.002 como Poder Calorífico Inferior.

CONCLUSIONES

Aunque se deberían haber sistematizado los trabajos de desembosque parece claro que se obtienen mejores rendimientos con el empleo de camiones con pluma que en la saca con tractor.

La trituración de los restos arroja unos resultados bastante satisfactorios. Si bien los ajustes realizados, que permiten el procesado de restos de grandes dimensiones y elevado nivel de impurezas, suponen que los rendimientos obtenidos están lejos del máximo posible para este equipo, lo cierto es que se ha obtenido una cantidad por hora muy superior a la que se obtendría con otro tipo de trituradoras.

Finalmente, y en relación con la caracterización de la astilla resultante, resultan sorprendentes tanto los datos de contenido de arenas como los de humedad y capacidad calorífica. El primero de estos datos, es decir, que el porcentaje de arena en la muestra ascienda sólo a un 5,20 % puede explicarse por el posible efecto de aventamiento de la astilla en el momento en que sale proyectada por la cinta de salida, lo que puede suponer que una cantidad significativa de arena sea eliminada. No existen razones válidas para que el grado de humedad de la astilla procedente de tocones

sea tan bajo, 6,82%, sobre todo si la comparamos con el valor obtenido en el análisis de astilla de trozas de la misma especie (*E.globulus*) que han sufrido el mismo proceso de astillado y han estado almacenadas en el mismo parque y durante los mismos días, y que asciende a 8.27 %.

Los datos de poder calorífico en base seca tanto superior (PCS) como inferior (PCI), 3.161 y 3.002 respectivamente son algo menores que los obtenidos en el análisis de astillas de trozas de eucalipto blanco (*E.globulus*) con valores de 4.650 y 4.094 de PCS y PCI respectivamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Allué Andrade, J. L.. 1966. Subregiones fitoclimáticas de España. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. 57 pp.

Caracterización de la materia prima. Biomasa Vegetal y Fracción Rechazo del Vertedero de Residuos Sólidos Urbanos. 2007. (No publicado). Grupo de investigación: Química Analítica de Contaminantes (FQM 170).Departamento de Hidrogeología y Química Analítica de la Universidad de Almería.

Rivas Martínez, S. y Gandullo Gutierrez, J. M.. 1987. Memoria del mapa de series de vegetación de España. ICONA. Madrid. 268 pp.



Figura 3. Destocoñado (Autor :David Muñoz Riquel)



Figura 4: Destocoñado.(Autor: David Muñoz Riquel)



Figura 5: Trituradora CBI.(Autor: Sergio Alcalá Parejo)