



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-574

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

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Caracterización físico-química de la biomasa de *Robinia pseudoacacia* y *Populus x euroamericana* clon AF2 en cultivos de rotación corta con fines energéticos

ALESSO OVIEDO, S.P.^{1*}, ALAEJOS GUTIÉRREZ, J.¹, TAPIAS MARTÍN, R.¹ y FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, M.¹

¹Universidad de Huelva. Departamento de Ciencias Agroforestales, Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Campus La Rábida S/N, 21819, Palos de La Frontera (Huelva)

*Autor para correspondencia (silviapatricia.alesso@alu.uhu.es)

Resumen

La biomasa lignocelulósica se presenta como una fuente de energía renovable con aplicaciones térmicas y eléctricas que contribuyen a paliar el efecto sobre el cambio climático. El conocimiento de las características físico-químicas que definen una biomasa proporciona la información necesaria para evaluar su calidad como combustible en equipos de combustión domésticos o industriales. Este trabajo caracteriza la biomasa de cultivos de falsa acacia y chopo con una rotación de 4 años. Se analizó la composición elemental (Norma Europea CEN/TS 15407), de iones (EN-ISO 10304-1), poder calorífico (CEN/TS 15400), cenizas (Norma Europea CEN/TS 15403), densidad aparente de serrín. Se ensayó la transformación a pellets con una peletizadora industrial con diferentes niveles de presión y de contenido de humedad. El serrín de chopo proporcionó mayor poder calorífico inferior que la falsa acacia (17.33 frente a 17.06 MJ/kg), menor contenido en cenizas (1.94 frente a 2.28 %), menor contenido en cloro, sulfatos y cantidad de Nitrógeno. Los pellets elaborados de las dos especies tienen diferencias significativas en las características según la combinación de las variables del proceso. Humedades de serrín comprendidas entre el 12 y 16 % y longitudes de orificio de matriz de 28 mm. proporcionaron los pellets con mayores valores de durabilidad y densidad aparente.

Palabras clave:

Biomasa, chopo, falsa acacia, pellets.

1. Introducción

En la actualidad los compromisos internacionales adquiridos por España y la UE obligan a impulsar el uso de fuentes de energía limpia y renovable para paliar el efecto sobre el cambio climático y reducir la contaminación (CONSEJO DE EUROPA, 2007; NACIONES UNIDAS, 2015). En este contexto, la biomasa lignocelulósica se presenta como una fuente de energía renovable, con aplicaciones térmicas y eléctricas que, además, puede ayudar a recuperar terrenos agrícolas degradados y a potenciar las economías rurales. La estrategia española contra el cambio climático, pretende potenciar el uso de cultivos energéticos cuyos ciclos energéticos y de emisiones de CO₂ sean positivos, como así también reducir el uso de fertilizantes nitrogenados (IDAE, 2007; TAPIAS *et al.*, 2008). Es de esperar que el nuevo impulso que ha dado la Conferencia de las Partes de la Convención Marco sobre el Cambio Climático de la ONU, celebrada en París (NACIONES UNIDAS, 2015) sirva de estímulo a la iniciativa privada y al apoyo institucional.

Muchas especies arbóreas forestales son adecuadas para la producción de biomasa en turnos cortos. Entre ellas, en zonas templadas de inviernos fríos, podemos destacar a *Robinia pseudoacacia* y al género *Populus*. El cultivo de Robinia es una alternativa económicamente competitiva por su gran tolerancia a la sequía, su capacidad de fijación de nitrógeno y su notable productividad en turnos cortos (GRÜNEWALD *et al.*, 2009). Por otro lado, el chopo tiene una gran capacidad de adaptación a distintas condiciones medioambientales, alta capacidad de hibridación y facilidad para multiplicarse vegetativamente, aunque suele requerir humedad edáfica alta. Estas características, unidas a su rápido crecimiento, han contribuido al desarrollo de una oferta clonal muy extensa, que precisa de una selección previa para cada sitio y uso en concreto (SIXTO *et al.*, 2007; SIXTO *et al.*, 2015).

Para usos térmicos domésticos y en pequeñas instalaciones se está imponiendo el empleo del pellet. La peletización es la compactación de la biomasa lignocelulósica que aumenta considerablemente la densidad aparente hasta valores cercanos a los 600 kg/m³ (la densidad

real del pellet alcanza los 1200 kg/m³), a partir de residuo astillado con densidades aparentes en torno a 200 kg/m³, así como un aumento en el poder calorífico, en torno a 3500 - 4500 kcal/kg, debido a su alto grado de compactación y a su bajo contenido en humedad, que puede ser del 6 - 10 %. Se traduce también en beneficios tanto en el transporte como en el almacenamiento, reduciendo considerablemente los costes. Además, la facilidad de manipulación de los pellets hace que los procesos se puedan automatizar, siendo un combustible de gran limpieza y fácil manejabilidad (MANI *et al*, 2006; ORTIZ TORRES, 2008). Si bien los pellets se pueden obtener a partir de materiales muy diversos: madera, serrín, virutas, polvo, corteza, paja, papel y prácticamente cualquier tipo de biomasa agrícola, forestal, industrial o ganadera, lo que proporciona una elevada versatilidad, la biomasa de origen forestal presenta mayor calidad energética frente a otras, por lo que es una alternativa con mucho potencial en nuestro país.

La producción mundial de pellets alcanzó en 2015 los 28 millones de toneladas según la FAO. Se estima que durante los próximos años seguirá aumentando su consumo, por lo que los residuos agrícolas y forestales serán insuficientes y se necesitarán cultivos energéticos que abastezcan la demanda y eviten o reduzcan la importación de astillas. Para que dichos cultivos adquieran interés, necesitan proporcionar una materia prima de calidad, válida para uso industrial y/o doméstico, a la vez que ser suficientemente productivos y respetuosos con el medio ambiente como para servir de soporte a las economías rurales. El camino hacia un desarrollo sostenible y la renovabilidad de los recursos pasa por la búsqueda y utilización de nuevas fuentes de recursos y de consumo donde la biomasa leñosa se revela como una fuente “necesaria” de materias primas dada su ubicuidad, disponibilidad y carácter “poco contaminante” (JEFFERSON, 2006; TROSSERO, 2008, GARCÍA-MORALES, 2008).

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es determinar las características físico-químicas de la biomasa de *Robinia pseudoacacia* y *Populus x euroamericana* (clon AF2) producida en turnos cortos así como la calidad del pellet producido en función de las variables de proceso humedad del serrín y longitud del orificio de la matriz. Todo ello, orientado a su uso como combustible en equipos de combustión domésticos o industriales.

3. Metodología

Material utilizado

Se analizó el material de dos taxones arbóreos, *Populus x euroamericana* (clon “AF2”) y *Robinia pseudoacacia* (AF y Rps respectivamente), obtenidos de una plantación que se realizó a finales de marzo de 2011, sobre un terreno agrícola llano (Huéscar, Granada, UTM, Zona 30S, X: 535459 E, Y: 4191516 N, 1085 msnm)

La densidad de plantación fue de 5556 plantas/ha. La parcela contó con riego de apoyo para la época estival (junio-septiembre) mediante líneas de goteros a lo largo de las filas. Los tres primeros años de cultivo se procuró que la aportación anual de agua para las plantas (precipitación + riego) estuviera entre 700 y 800 mm, con ello finalizaba el turno de tres años previsto. Seguidamente se continuó un año más, reduciendo la dosis de riego, para que el conjunto precipitación+riego fuese aproximadamente la mitad, con el fin de analizar la respuesta de las plantas a un eventual período de sequía (Tab. 1).

Tabla 1: Datos meteorológicos registrados durante el estudio. Se presentan los datos para los períodos de tiempo comprendidos entre 1-octubre y 30-septiembre de cada año hidrológico, incluyendo, por tanto, un período de reposo invernal y uno vegetativo en cada caso. Datos tomados de la estación meteorológica de Puebla de Don Fadrique (Granada) de coordenadas UTM, Zone 30 S, X: 554375 E, Y: 4192250 N, 1110 msnm.

Período	TMax (°C)	TmedMax (°C)	TMin (°C)	TmedMin (°C)	Tmed (°C)	P (mm)	Riego (mm)
2010-11	36.6	21.8	-9.1	6.8	14.3	500	350

2011-12	39.1	21.3	-15.5	5.3	13.3	231.9	450
2012-13	37.6	19.1	-7.0	5.4	12.2	415.3	350
2013-14	38.5	21.2	-8.3	5.6	13.4	159.6	250

Desde el momento de la plantación y hasta febrero de 2015 (4 períodos vegetativos) se realizaron mediciones periódicas de altura, diámetro, peso seco y estado fenológico y sanitario de las plantas. Hasta el momento de la corta, la biomasa producida osciló entre 25 y 35 t ha⁻¹.

Para el conjunto de tratamientos, la biomasa seca leñosa promedió, aproximadamente, 3.5 t ha⁻¹ el primer año, 16 t ha⁻¹, en el segundo y 35 t ha⁻¹ el tercero, lo que suponen incrementos anuales de 3.5, 12.5 y 19.0 t ha⁻¹ año⁻¹. (ALESSO *et al*, 2016).

Preparación del material.

En marzo de 2015, la biomasa se pretrituró recién cosechada, con una astilladora de cuchillas, diferenciando en todo momento las dos especies. Dicha biomasa carecía de hojas pero incorporaba el resto de la parte aérea completa (tronco y ramas) con su corteza. Las astillas obtenidas se dejaron secar al aire, bajo cubierta. Posteriormente se trituraron hasta formar serrín con una trituradora Woodstock 3PH (Smartec, Italia) a la que se adaptó un tamiz de salida de 5 mm. Las fracciones de muestras para los análisis químicos se molieron hasta obtener un tamaño de partícula inferior a 1 mm, mientras que el resto se utilizó para fabricar los pellets.

Caracterización físico-química de la biomasa

A las muestras de serrín, de las 2 especies utilizadas, se le realizaron los siguientes análisis según las normativas europeas:

*Análisis inmediato: determinación de los contenidos de humedad (Norma Europea CEN/TS 15414), materias volátiles, carbono fijo y cenizas (Norma Europea CEN/TS 15403).

*Análisis energético: determinación del poder calorífico (CEN/TS 15400)

*Análisis elemental: determinación de los contenidos elementales de C, H, N, S, Cl y O. (Norma Europea CEN/TS 15407) y de iones (EN-ISO 10304-1).

Características de los pellets

Los pellets se obtuvieron con una peletizadora de matriz plana (Mod. PLT-400, Smartec, Italia). Máquina de tipo profesional, diseñada y construida para conseguir pellets automáticamente por la compresión y extrusión del material introducido en la tolva. Consta de una matriz plana rotativa de 225 mm de diámetro con alveolos de 6 mm de diámetro. La presión se realiza por 4 rodillos fijos situados sobre la matriz.

El proceso de peletizado se realizó con lotes de serrín (< 5 mm) de las dos especies (AF y Rps) con diferente contenido de humedad (8, 12 y 16 %). El contenido de humedad se determinó a 105 °C, con una estufa de ventilación forzada. Los ajustes de humedad hasta los contenidos deseados se consiguieron secando la biomasa hasta un 6 % de humedad y añadiendo la cantidad de agua necesaria para cada tratamiento mediante pulverización. Posteriormente se mezclaba bien y se dejaba reposar durante 48 h dentro de una bolsa impermeable, a temperatura ambiente, para conseguir su homogeneización. La tercera variable del proceso es el grosor de la matriz que condiciona la longitud del orificio (20, 24 y 28 mm) y la presión ejercida. Se utilizó una sola muestra de serrín, de 10 kg aproximadamente, para cada combinación de humedad y matriz. La temperatura de la matriz durante la peletización, medida con un termómetro infrarrojos, osciló entre 100 y 115 °C.

Para la caracterización de los pellets obtenidos en los ensayos de peletizado se determinaron los siguientes parámetros de calidad contemplados en la Norma UNE-UE 14961-2 (actualmente sustituida por ISO 17225-2): contenido de humedad (UNE-EN 14774-1), densidad aparente (UNE-EN 15103), durabilidad y tamaño de pellets. (UNE-EN 15210-1).

Análisis de datos

El análisis de los parámetros de calidad de pellets se realizó mediante un ANOVA en el que se consideraron los efectos de los factores fijos (especie, humedad y longitud de orificio de la matriz), así como sus interacciones, dentro de un modelo lineal general. Cuando las diferencias entre los tratamientos resultaron significativas para algún parámetro, la diferenciación entre grupos homogéneos se analizó mediante el test de Tukey HSD o Games-Howell, según se cumpliera o no la igualdad de varianzas. Todas las diferencias significativas se consideraron para un $\alpha = 0.05$. El análisis estadístico fue llevado a cabo mediante el software SPSS® v19.0.

4. Resultados

En el análisis de serrín, la especie AF proporcionó un poder calorífico 1,2 % mayor (tanto superior como inferior) que Robinia (17.33 frente a 17.06 MJ/kg PCI en base seca). El contenido en cenizas fue un 34 % superior en Robinia que en chopo (2,28 frente a 1,94 %), (Tab. 2). La composición de C e H es muy parecida en las dos especies pero *Robinia* contiene un 60% más de Nitrógeno (1,14 frente a 0,71 %). Los porcentajes de Cl y S son similares en las 2 especies.

Tabla 2: Características de la biomasa para su aprovechamiento energético. Poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI) en base seca. Composición mineral de la biomasa en base seca. Por análisis elemental C, H y N. También N kjeldahl (N_{kj}). Metodología de iones para S y Cl.

Parámetros	Rps	AF2
Humedad (%)	6.29	6.37
Cenizas (%)	2.28	1.94
PCS (MJ/kg)	18.54	18.79
PCI (MJ/kg)	17.06	17.33
C (%)	46.71	47.83
H (%)	6.42	6.35
N(%)	1.14	0.71
N _{kj} (%)	0.96	0.66
S (%)	0.07	0.07
Cl (%)	0.10	0.12

El análisis de la longitud media de los pellets mostró un efecto significativo de la especie ($p < 0,001$), la humedad del serrín ($p < 0,001$) y la longitud del orificio ($p < 0,001$) así como las interacciones.

La humedad del serrín al 8 %, no permitió la obtención de pellets salvo en algunas combinaciones, proporcionando valores de calidad muy inferiores al resto en todos los parámetros. La pequeña cantidad de pellet obtenidos no permitió mediciones de densidad y durabilidad en álamo.

La longitud media de los pellets producidos con serrín de humedad del 12 % y 16 % disminuyó a medida que aumentaba la longitud de los orificios de la matriz (que equivale a una mayor presión) en ambas especies. La mayor longitud media de pellets se obtuvo con humedades del 16 % y matriz de 20 mm (21.79 mm para *Robinia* y 18.82 mm para el álamo) (Fig.1).

El porcentaje en peso de pellets que superaron los 15 mm de longitud mostró un comportamiento similar a la variable longitud media de pellets, siendo la humedad del 16 % y la matriz de 20 mm la que proporcionó los mayores valores (89.5 % para Rps y 76.2 % para AF). Ningún pellet producido con serrín del 8 % de humedad superó los 15 mm de longitud. En cuanto a la humedad de los pellets, todos estuvieron por debajo del 8 %, sin diferencias entre especies o tratamientos.

El análisis de la durabilidad mostró un efecto significativo de la humedad ($p < 0,001$), pero no de la especie, ni de la longitud del orificio. La durabilidad de los pellets producidos con serrín al 8 % de humedad varió entre el 70 y el 80 %, muy por debajo de los valores obtenidos con las otras humedades. La combinación de matriz de 28 mm con humedades de 12 % (97.1 % para AF y 97.8 % para Rps) y 16% (97.7 % para AF y 98.8 % para Rps) proporcionó los mejores valores de durabilidad (Tabla 3).

El análisis de la densidad aparente mostró un efecto significativo de la especie ($p < 0,001$), la humedad del serrín ($p < 0,001$) y la longitud del orificio de la matriz ($p < 0,001$) así como las interacciones ($p < 0,001$), excepto la interacción especie * longitud de orificio.

Las densidades aparentes mayores se obtuvieron con las matrices de 28 mm en las dos especies y con contenidos de 12 % y 16 % de humedad (Tabla4).

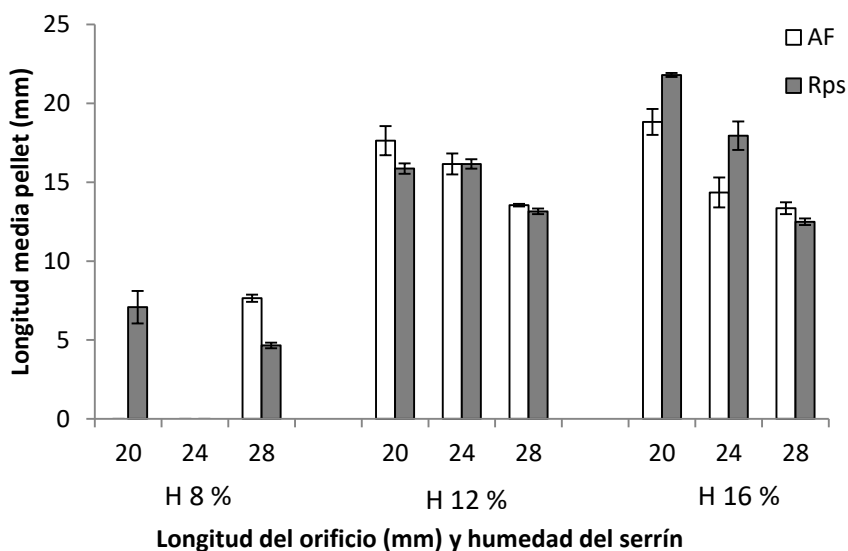


Figura 1: Longitud media de pellets de *Robinia pseudoacacia* (Rps) y *Populus x euroamericana* (AF) realizados con diferentes matrices y contenido de humedad del serrín.

Tabla 3: Análisis de durabilidad (%) de pellets de *Robinia pseudoacacia* (Rps) y *Populus x euroamericana* (AF) realizados con diferentes matrices y contenido de humedad serrín.

Humedad (%)	Matriz (mm)	AF2	Rps
8	24	-	80.4
	28	-	71.7
12	20	94.7	93.0
	24	86.3	96.8
	28	97.1	97.8
16	20	97.7	98.3
	24	95.2	95.1
	28	97.7	98.8

Tabla4: Análisis de densidad aparente (kg/m^3) de *Robinia pseudoacacia* (Rps) y *Populus x euroamericana* (AF) realizados con diferentes matrices y contenido de humedad del serrín.

Humedad (%)	Matriz (mm)	Rps	AF2
8	24	550.0 \pm 0.9	
	28	562.7 \pm 0.9	
12	20	600.0 \pm 0.1	644.5 \pm 6.4
	24	573.2 \pm 2.8	610.3 \pm 8.5
	28	657.3 \pm 2.7	685.5 \pm 3.6
	20	620.0 \pm 1.8	605.5 \pm 0.1
16	24	569.2 \pm 2.0	545.9 \pm 2.2
	28	650.0 \pm 0.9	670.9 \pm 3.6

5. Discusión

La longitud del orificio de la matriz condiciona la presión ejercida en la formación del pellets, a mayor longitud mayor presión durante la extrusión (HOLM *et al.*, 2006; STELTE *et al.*, 2012). Asimismo, la humedad del serrín resultó determinante en los resultados obtenidos. En nuestros ensayos la combinación de matriz de 28 mm con humedad del serrín de 12-16 % es la que presentó los mejores resultados, considerando en su conjunto la durabilidad mecánica, la densidad aparente y la longitud de los pellets. En ensayos realizados con cáscara de Palma de aceite, han reflejado que con un contenido de humedad del 10,7 % la densidad aparente, al igual que la durabilidad son mayores que al aumentar el contenido de humedad al 18 % (ARAZOLA *et al.*, 2012), en nuestros ensayos, para alcanzar valores mayores de densidad aparente y durabilidad, el contenido de humedad debe ser entre 12 y el 16 %, más próximos a los resultados obtenidos por STELTE *et al.* (2011).

En general, los valores medios obtenidos en ambas especies de composición mineral, cenizas, poder calorífico, durabilidad mecánica y densidad aparente, están dentro de los rangos habituales para maderas de frondosas. Es decir, una calidad ligeramente inferior a la madera descortezada de coníferas, pero muy superior a la de biomasa lignocelulósica de herbáceas (TELMO & LOUSADA, 2011; PODDAR *et al.*, 2014; FERNÁNDEZ *et al.*, 2015). Si bien la durabilidad de los pellets y la densidad aparente para la mejor combinación de humedad y matriz no difirió mucho entre especies, el contenido en cenizas y en nitrógeno resultaron ligeramente menores en el álamo, lo que le acerca un poco más a estándares de calidad tipo industrial, e incluso cercano a un pellet de uso doméstico de tipo ENplus (B) y otros estándares de calidad (OBERNBERGER *et al.*, 2004). El hecho de haber incluido en el conjunto de la biomasa ramas finas y corteza, sin lugar a dudas, incrementó el contenido en elementos minerales y en cenizas (FERNÁNDEZ *et al.*, 2015) Esto sugiere que se deba procurar cosechar las plantas con el mayor diámetro posible, para minimizar este efecto negativo sobre la calidad final de la biomasa.

6. Conclusiones

Los 3 factores considerados en este ensayo (diferentes niveles de compresión producidos por las distintas longitudes de orificio de la matriz, la humedad y la especie) tuvieron un efecto significativo sobre la calidad del pellet. La mejor calidad de pellet en términos de durabilidad y densidad aparente se obtuvieron con presiones altas (matriz 28 mm) y humedades comprendidas entre 12 y 16 %. Con humedades del 8 % no se consiguieron pellets de buena calidad. Las dos especies, a pesar de producir pellets de calidad en cuanto a durabilidad y densidad aparente, sin diferencias entre ellas, sí presentaron diferencias en cuanto a contenido en cenizas y en nitrógeno.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (Plan Nacional I+D+i, ref. AGL2010-16575 y CTQ2013-46804-C2-1-R) y por los fondos

FEDER de la UE. Contó con el apoyo de la Diputación Provincial de Granada, del Campus de Excelencia Internacional CEI Cambio y la empresa MICSA.

8. Bibliografía

ALESSO OVIEDO, S.P., ALAEJOS GUTIÉRREZ, J., TAPIAS MARTÍN, R. Y FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, M., 2016. Cultivo mixto de especies forestales de turno corto (*Robinia pseudoacacia* y *Populus x euroamericana* clon AF2) con fines energéticos. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 42, 17-30.

ARAZOLA, N., GÓMEZ, A., RINCÓN, S., 2012. The effects of moisture content, particle size and binding agent content on oil palm shell pellet quality parameters. Ingeniería e investigación. 32 (1), 24-29.

CONSEJO DE EUROPA, 2007. Plan de acción del Consejo Europeo (2007-2009). Política Energética para Europa. 7224/1/07 REV1, Bruselas.

FERNÁNDEZ, M., GARCÍA-ALBALÁ, J., ANDIVIA, E., ALAEJOS, J., TAPIAS, R., MENÉNDEZ, J. 2015. Sickle bush (*Dichrostachys cinerea* L.) field performance and physicochemical property assessment for energy purposes. Biomass and Bioenergy. 81, 483-489.

GARCÍA-MORALES, J.L., ROMERO, L.I., SALES, D. (2008). Valorización energética de la biomasa: aplicación en industrias del sector agroalimentario. Boletín del CIDEU 5, 31-51.

GRÜNEWALD, H., BÖHM, C., QUINKENSTEIN, A., GRUNDMANN, P., EBERTS, J., WÜHLISCH, G., 2009. *Robinia pseudoacacia* L.: A Lesser Known Tree Species for Biomass Production. Bioenerg. Res. 2, 123-133.

HOLM, J. K., HENRIKSEN, U. B., WAND, K, HUSTAD, J. E., POSSELT, D. 2007. Experimental verification of novel pellet model using a single peleter unit. Energy Fuels. 21 (4), 2446-2449.

IDAE, 2007 Ahorro, eficiencia energética y fertilización nitrogenada. Ahorro y eficiencia energética en la agricultura nº 6. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Madrid, pp.46.

JEFFERSON, M. (2006). Sustainable energy development: performance and prospects. Renew Energy. 31, 571-582.

MANI, S., SOKHANSANJ, S., BI, X., TURHOLLOW, A. 2006. Economic of producing fuel pellets from biomass. Appl Eng Agric. 22,421-426.

OBERNBERGER, I., THEK, G., 2004. Physical characterization and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior. Biomass and Bioenergy, 27, 653-669.

ORTIZ-TORRES, L. (2008). Producción de biocombustibles sólidos de alta densidad en España. Boletín del CIDEU 5, 107-123.

PODDAR S, KAMRUZZAMAN M, SUJAN SMA, HOSSAIN M, JAMAL MS, GAFUR MA, KHANAM M. 2014. Effect of compression pressure on lignocellulosic biomass pellet to improve fuel properties: Higher heating value. Fuel, 131, 43-48.

SIXTO, H., HERNÁNDEZ, M.J., BARRIO, M., CARRASCO, J., CAÑELLAS, I., 2007. Plantaciones del género *Populus* para la producción de biomasa con fines energéticos: Invest. Agrar. Sist. Recur. For. 16 (3), 277-294.

SIXTO, H., CAÑELLAS, I., ARENDONK, J., CIRIA, P., CAMPS, F., SÁNCHEZ, M., SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M., 2015. Growth potential of different species and genotypes for biomass production in short

rotation in Mediterranean environments. For. Ecol. Manage. 354, 291-299. doi:10.1016/j.foreco.2015.05.038.

STELTE, W., HOLM, J.K., SANADI, A.R., BARSBERG, S., AHRENFELDT, J., HENRIKSEN, U.B. 2011. Fuel pellets from biomass: The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing. Fuel. 90, 3285–3290.

STELTE, W., SANADI, A.R., SHANG, L., HOLM, J.K., AHRENFELDT, J., HENRIKSEN, U.B. 2012. Recent developments in biomass palletization s review. BioResources, 7 (3) 4551-4490.

TAPIAS, R., FERNÁNDEZ, M., ALAEJOS, J., SALVADOR, L., ALESSO, P., GONZÁLEZ-DUQUE, J.A., ALFARO, A., LÓPEZ-BALDOVIN, F., DÍAZ-BLANCO, M.J., 2008. Leguminosas leñosas de rápido crecimiento como cultivos energéticos en el suroeste de la península ibérica. Boletín del CIDEU. 5, 135-147.

TELMO, C., LOUSADA, J. 2011. Heating values pellets from different species. Biomass and Bioenergy, 35, 2634–2639.

TROSSERO, M.A. (2008). Programa energía derivada de la madera. Departamento de Montes – FAO. Boletín del CIDEU 5, 3-6.