

[ RESIDUO DEL VIÑEDO ]

## Aprovechamiento energético de sarmiento en calderas de biomasa mediante peletizado

### **Isabel González-Barragán**

Dra. Ingeniera Agrónoma. Cenit Solar Proyectos e Instalaciones Energéticas. Departamento de biomasa.

Profesora titular de universidad en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola (INEA) de Valladolid.

### **David López Torres**

### **Miguel Ángel Alonso**

### **Miguel Arias**

Ingeniero Industrial. Cenit Solar Proyectos e Instalaciones Energéticas. Departamento de biomasa



La biomasa residual ofrece grandes perspectivas en cuanto a su aprovechamiento energético ya que se produce de forma continua como consecuencia de la actividad humana. La eliminación de residuos naturales constituye normalmente un problema cuya solución requiere tiempo, dinero y mano de obra. El aprovechamiento energético de residuos, además de proporcionar energía, ahorrará los inconvenientes de su eliminación. Con este estudio se pretende revalorizar los residuos de la poda del viñedo persiguiendo un doble objetivo: resolver el problema de su eliminación y conseguir energía procedente de una fuente renovable. Por ello este estudio se centra en esta materia prima como posible combustible y en su proceso de peletizado.

Se han tomado muestras de sarmiento que han sido analizadas químicamente en laboratorio para caracterizar dicho "combustible". Posteriormente la materia prima se ha densificado en forma de pelets, y se han medido las características de los mismos comparándolas con normativas europeas.

Los resultados muestran la posibilidad de conseguir una compactación adecuada del pélet con un bajo porcentaje en cenizas y cloro.

### [ Introducción y objetivos

La Comisión Europea ha propuesto un paquete de medidas integradas sobre la energía y el cambio climático para reducir las emisiones en el siglo XXI. Entre estas medidas está la obligación de utilizar un 20% del consumo de energías renovables. El objetivo de esta decisión es luchar contra el cambio climático e impulsar la seguridad energética y la competitividad de la UE.

El sostenimiento climático demanda que el intercambio de CO<sub>2</sub> en el océano y biosfera sea igual a la adición debida a la actividad humana más el producido por fenómenos naturales. Para ello es necesario controlar estrictamente la actividad humana en lo que respecta a las emisiones de dióxido de carbono (Ferreiro, C. y Ferreiro, R., 2007).

La materia vegetal que existe sobre la tierra constituye un importante recurso energético, cuyo uso racional puede reemplazar una parte sustancial de los combustibles fósiles que hoy utilizamos. La biomasa, empleada en ciclos cerrados producción-utilización, constituye una fuente renovable de energía y su uso, permite reducir los niveles de dióxido de carbono ayudando por tanto a mitigar el efecto invernadero y la contaminación de los acuíferos.

Los combustibles biomásicos contienen niveles insignificantes de sulfuro y no contribuyen a las emanaciones que provocan “lluvia ácida” y sus cenizas pueden usarse como insumo orgánico en los suelos.

La conversión de los residuos forestales, agrícolas y urbanos para la generación de energía reduce significativamente los problemas que trae el manejo de estos desechos.

Otra ventaja de la biomasa como fuente energética es que se trata de un recurso autóctono que no está sujeto a las fluctuaciones de precios de la energía, provocadas por las variaciones en el mercado internacional de los combustibles, pudiendo incentivar las economías rurales, creando más opciones de trabajo y reduciendo las presiones económicas sobre la producción agropecuaria y forestal.

La Directiva 2001/77/CE incluye entre la biomasa “la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos procedentes de la agricultura”.

Es en este aspecto donde se centra el presente estudio. Se ha elegido como posible fuente de energía los sarmientos de la vid.

El interés de su aprovechamiento radica en que es precisamente un residuo que tras la poda hay que eliminar. La práctica habitual es amontonarlos para más adelante incinerar con sus correspondientes inconvenientes en su manejo. Se trata de miles de toneladas desperdiciadas y miles de toneladas de CO<sub>2</sub> vertidas a la atmósfera de forma gratuita.

El aprovechamiento del sarmiento en una caldera puede ser la forma de utilizar toda esa energía contenida en él con un objetivo: ya sea el de calefactar, producir electricidad o ambos a la vez en procesos de cogeneración.

El Anuario de Estadística Agroalimentaria del M.A.P.A. de 2004 recoge una superficie nacional de viñedos de 1.172.797 ha, de las cuales 66.909 ha pertenecen a Castilla y León, comunidad donde se realiza este estudio. Para valorar la cantidad de sarmiento que pueden producirse anualmente habría que hacer un estudio exhaustivo de marcos de plantación, tipos de podas etc... y podrían obtenerse miles de toneladas de una biomasa ya existente y que no es utilizada con otros fines.

Teniendo en cuenta la baja densidad del sarmiento de vid, en torno a los 200 kg/ha, es conveniente reducir su volumen y compactarlo.

Una referencia imprescindible para la terminología y actividades relacionadas con la biomasa es la estandarización de los biocombustibles, incluidos los biocarburantes y los combustibles recuperados (denominados como RDF-refuse derived fuel; SRF-solíd refuse fuel; CDR-combustible derivado de residuo). En este campo están trabajando los Comités Europeos de Normalización-CEN- basándose principalmente en parámetros como: origen, forma (pelets, astillas, polvo, etc.), dimensiones, humedad, resistencia mecánica, contenido en finos, cenizas, azufre y poder calorífico neto o PCI (Estrada, I. B., Morán, A. et al., 2006; Ortiz, L., 2007).

Para evaluar las posibilidades de aprovechamiento energético de un residuo es determinante analizar sus propiedades físicas, químicas y energéticas. Una caracterización completa de esta aporta información para determinar si dicho residuo es susceptible de ser empleado en sistemas y equipos de combustión. Así mismo, permite conocer las propiedades de los pelets fabricados a partir de esta materia prima, ya que los valores se ajustarán en función de la humedad final de los mismos. Se deben evaluar además, características concretas como la densidad y la durabilidad.

Con este estudio se pretende analizar la viabilidad técnica que este residuo presenta para la fabricación de pelets con fines energéticos.

## Material y métodos

El ensayo se localizó en el Municipio de La Seca (Valladolid). Las muestras de sarmiento se recogieron en febrero de 2007 de forma aleatoria de los montones preparados para su incineración.

Por causas climatológicas, el agostamiento de los pámpanos este año 2007 se produjo muy tardío e hizo que se retrasara la poda, obteniéndose sarmientos con elevado porcentaje de humedad.

CENIT SOLAR contrató las pruebas de peletizado a la Fundación CARTIF (parque tecnológico de Boecillo, Valladolid) donde se han llevado a cabo en la planta piloto de peletizado instalada en sus dependencias. El conjunto de equipos que constituye dicha planta de peletizado se compone de los siguientes elementos:

- Trituradora. Confiere a la materia prima la granulometría adecuada para su posterior peletización. Trituradora de cuchillas con una producción entre 20-25 kg/h de biomasa.
- Tolva de almacenamiento de la biomasa previo a su densificación.
- Prensa o equipo de densificación propiamente dicho. Unos rodillos giratorios hacen pasar la biomasa por una matriz plana de compresión perforada. A la salida de la matriz, unas cuchillas van cortando la biomasa desalojada de la matriz para obtener los pelets.
- Dispositivo de descarga de pelets. El producto fabricado cae sobre una plataforma giratoria que des-



plaza los pelets hasta una boca de descarga.

- Enfriador de pelets. Consiste en la aplicación de un flujo de aire en contracorriente sobre una plataforma de transporte que recoge los pelets, para disminuir de forma rápida la temperatura con que estos salen de la peletizadora (80-90° C).

Las etapas básicas que componen el proceso de peletización de biomasa se pueden resumir en tres fases diferenciadas: pretratamiento, peletizado y postratamiento para proceder a continuación a la comparación con normativas europeas.

## PRETRATAMIENTO

Consiste en dotar a la materia prima del tamaño y contenido de humedad adecuados para el proceso de peletizado.

Primero se realizó un secado natural de la materia prima durante 19 días extendido en una nave cerrada. A continuación se trituró y se dejaron las astillas extendidas otros seis días.

**Tabla 1:**  
Caracterización del sarmiento

ANÁLISIS INMEDIATO <sup>(1)</sup>	s/seco	s/húmedo (materia prima)	s/húmedo (pelet)
Humedad Total (%)	-	9,50	8,80
Volátiles (%)	78,10	70,68	71,23
Carbono Fijo (%)	18,70	16,92	17,01
Cenizas (%)	3,2	2,9	2,92
ANÁLISIS ELEMENTAL <sup>(2)</sup>	s/seco	s/húmedo (materia prima)	s/húmedo (pelet)
C - Carbono (%)	47,10	42,63	42,96
H - Hidrógeno (%)	5,70	6,21	6,18
O - Oxígeno (%)	42,28	47,17	46,84
N - Nitrógeno (%)	1,14	1,03	1,04
S - Azufre (%)	0,05	0,05	0,05
Cl - Cloro (%)	0,01	0,01	0,01
PODER CALORÍFICO <sup>(3)</sup>	s/seco	s/húmedo (materia prima)	s/húmedo (pelet)
Poder Calorífico Superior (kcal/kg)	4.520	4.091	4.120
Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)	4.240	3.763	3.820
OTROS ANÁLISIS	Materia prima	Pelet	
Densidad Aparente	198 kg/m <sup>3</sup>	716 kg/m <sup>3</sup>	
Contenido de metales	No detectado	No detectado	
Contenido de objetos extraños/impurezas	No detectado	No detectado	

<sup>(1)</sup> Las normas seguidas son las siguientes: humedad la ASTM 3302, cenizas la UNE 32004 y volátiles la UNE 32019.

<sup>(2)</sup> Las normas seguidas son las siguientes: C, H, N y S la ASTM 5373 y ASTM 4239, mientras que el Cl sigue la ASTM 2361.

<sup>(3)</sup> La norma seguida es la UNE 32006.



En la trituradora se utilizó un tamiz de cinco mm para obtener partículas inferiores al diámetro de los pelets que se querían producir (seis mm).

Se analizaron las características químicas de la biomasa.

## PELETIZACIÓN

Una vez estuvo el sarmiento triturado y seco se trasladó hasta la tolva de alimentación para su peletizado.

Se probaron varias matrices, con distintas compresiones obteniéndose los mejores resultados con la matriz de acero al carbono de seis mm.

## POSTRATAMIENTO

En la salida de la prensa, se hacen pasar los pelets por una fase de enfriamiento mediante un flujo de aire para conferirle durabilidad y resistencia, ya



## Una ventaja de la biomasa es que se trata de un recurso autóctono que no está sujeto a las fluctuaciones de los precios de la energía

que un descenso rápido de la temperatura de los pelets aumenta su dureza. Si esta etapa no se realiza de manera adecuada puede implicar una reducción en la calidad del producto dificultando después su comercialización.

Por último, se criban los pelets para eliminar el polvo.

### COMPARACIÓN CON NORMATIVAS

La durabilidad es un parámetro que determina la calidad del pélet, indicando su dureza y su capacidad para mantener sus características físicas ante cualquier manipulación, golpe o fricción. Para su determinación se ha seguido la norma austriaca ÖNORM M7135. Tras voltear los pelets en un recipiente perforado, la durabilidad se expresa como el cociente de la materia prima contenido en el recipiente entre el total inicialmente introducido, reflejando la pérdida de masa debida a los impactos.

Se compararon también los resultados con las especificaciones técnicas CEN/TS 14961 de la futura norma europea de Biocombustibles Sólidos CEN/TC 335, así como con las normativas existentes para pelets de madera de alta calidad de consumo en calderas domésticas:

- DIN 51731 (Alemania)
- DIN PLUS (Alemania)
- SS18, 71, 20 G1 (Suecia)
- CTI -R 04/5 A.1 (Italia)

### Resultados y discusión

Con las pruebas de peletizado de sarmiento se ha demostrado que el densificado es factible pudiéndose obtener pelets con una compactación adecuada.

Tras analizar la materia prima con las condiciones previas a ser peletizado, se obtuvieron los resultados mos-

trados en la **Tabla 1**. Dicha tabla recoge también la caracterización del sarmiento en forma de pélet.

Los resultados de los análisis se muestran en base seca y en base húmeda ya que la humedad constituye un parámetro muy importante tanto en la caracterización de la biomasa como en su proceso de peletizado.

El pélet obtenido fue de buena calidad física en cuanto a su dureza y su aspecto exterior, con una superficie brillante y sin fisuras o resaltes. La

matriz más adecuada en cuanto a compresión fue la de acero al carbono con agujeros de seis mm y compresión de 25 mm. Con estas condiciones la durabilidad de los pelets de sarmiento producidos en el ensayo fue de 97,0.

El contenido en volátiles fue muy elevado como suele ser típico en la mayoría de las biomásas y el contenido de cenizas fue alto, comparado con el pélet de madera.

En cuanto a cloro, azufre y nitrógeno, que pueden dar problemas de co-

**Tabla 2:** CEN/TS 14961. Anexo A: Especificaciones de las propiedades de los pelets como combustibles

CEN/TS 14961:2005 Anexo A		Sarmiento
Origen		Poda de sarmiento
<b>Especificaciones reguladas por la Norma</b>		
<b>Dimensiones (mm)</b> D=Diámetro, L= Longitud	Do6 <= 6 mm +/- 0,5 mm y L<= (5*D) Do8 <= 8 mm +/- 0,5 mm y L<= (4*D) D10 <= 10 mm +/- 0,5 mm y L<= (4*D) D12 <= 12 mm +/- 0,5 mm y L<= (4*D) D25 <= 25 mm +/- 0,5 mm y L<= (4*D)	Do8 <= 8 mm +/- 0,5 mm L<= (4*D)
<b>Humedad (% s/húmedo)</b>	M10 <= 10 % M15 <= 15 % M20 <= 20 %	M10 <= 10 % (8,8 %)
<b>Cenizas (% s/seca)</b>	A 0.7 <= 0,7 % A 1.5 <= 1,5 % A 3.0 <= 3 % A 6.0 <= 6 % A 6.0+ > 6 %	A 3.0 <= 3 % (2,92 %)
<b>Azufre (% s/seca)</b> Sólo es normativo si es biomasa tratada químicamente o contiene aditivos	So.05 <= 0,05 % So.08 <= 0,08 % So.10 <= 0,10 % So.20 <= 0,20 %	So.05 <= 0,05 % (0,05 %)
<b>Durabilidad</b>	DU97.5 >= 97,5 DU95.0 >= 95,0 DU90.0 >= 90,0	DU95.0 >= 95,0 (97 %)
<b>Finos en % &lt; 3 mm (salida de planta)</b>	F1.0 <= 1,0 % F2.0 <= 2,0 % F2.0+ > 2,0 %	Depende del sistema de cribado y la forma en que se vendan los pelets
<b>Aditivos (% s/seca)</b>	Productos de biomasa primaria agrícola y forestal que no han sido químicamente modificados. El tipo y la cantidad de aditivos ha de ser < 2 %.	No lleva aditivos
<b>Nitrógeno (% s/seca)</b>	No.3 <= 0,3 % No.5 <= 0,5 % N1.0 <= 1,0 % N3.0 <= 3,0 % N3.0+ > 3,0 % (valor real por establecer)	N3.0 <= 3,0 % (1,04 %)
<b>Especificaciones informativas</b>		
<b>Densidad aparente</b>	Recomendable determinarla si la compraventa se realiza en base volumen	716 kg/m <sup>3</sup>
<b>Poder Calorífico Inferior (s/seca)</b>	Recomendable >16,9 MJ/kg (4.037kcal/kg) o 4,7 kWh/kg	4.520 kcal/kg
<b>Cloro (% s/seca)</b>	Recomendado establecer las categorías: Cl 0,03 Cl 0,07 Cl 0,10 Cl 0,10+ (si Cl > 0,10 % valor)	Cl 0,03 (0,01 %)



rosión en la parrilla e intercambiadores de las calderas o de emisiones tras su combustión, estos valores se aproximaron a los datos obtenidos de residuos forestales (valores tomados como referencia por considerarlos de máxima calidad).

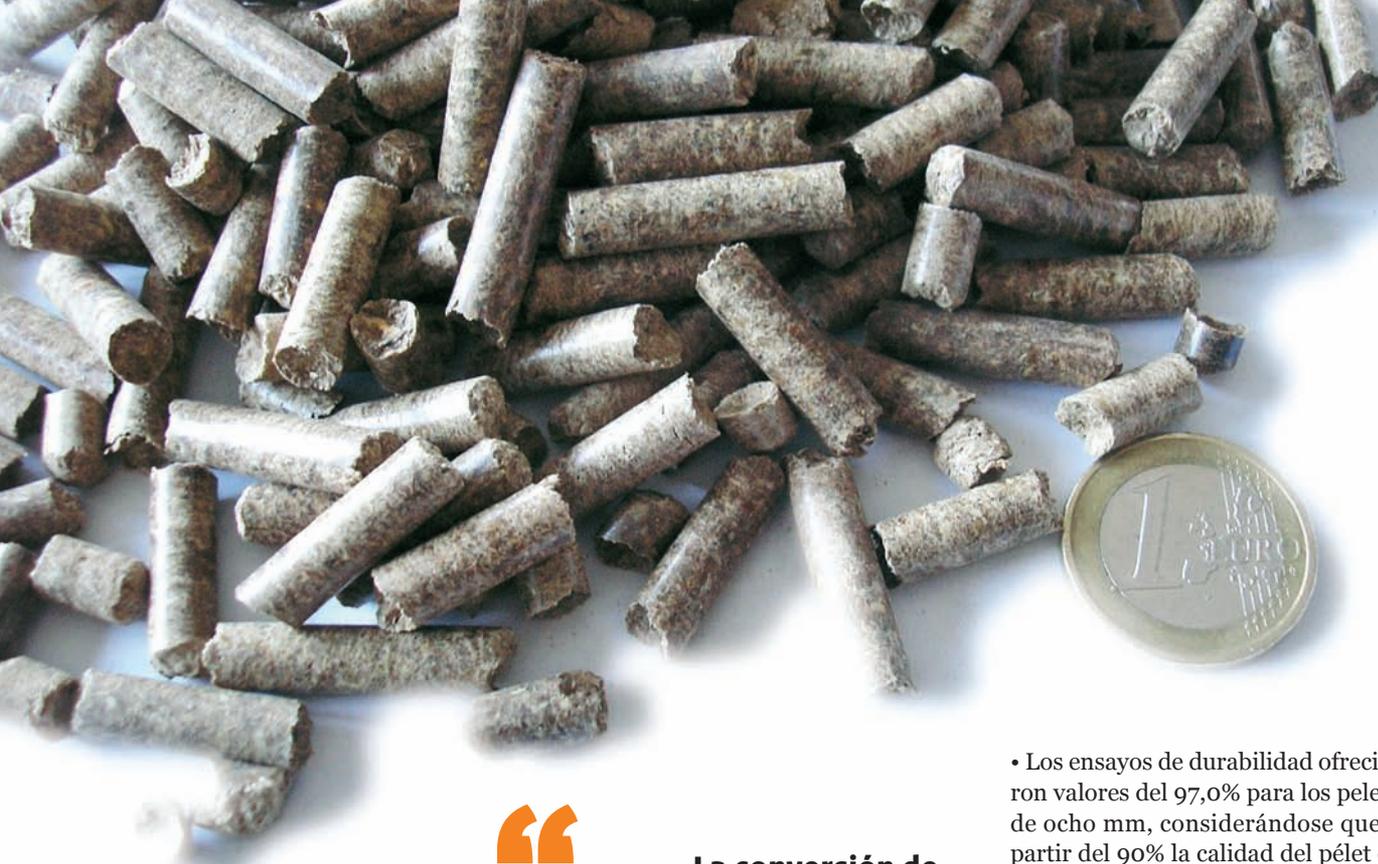
Durante el proceso de pelletizado, en la prensa se alcanzan altas temperaturas que provocan la evaporación de parte del agua contenida en la materia prima, por lo que la humedad de los pellets se reduce a un 8,9%. Esto hace que todos los datos en base húmeda varíen en función de ese valor.

Con este sistema de compactación se consiguió aumentar la densidad de la materia prima desde los 198kg/m<sup>3</sup> (triturado) hasta los 716 kg/m<sup>3</sup> (pellet).

**Tabla 3:**

**Comparación de las características de los pellets de sarmiento con algunas normas de pellets en países europeos. (n.d.: no detectado)**

	PELETS DE SARMIENTO		ÖNORM M 7135 madera (Austria)	Cumple	DIN 51731 (Alemania)	Cumple	DIN PLUS (Alemania)	Cumple	SS18, 71, 20 G1 (Suecia)	Cumple	CTI -R 04/ 5 A.1 (Italia)	Cumple	CEN TS 14961 Recomendación	Cumple
Diámetro (mm)	6		4 - 10	SI	4 - 10	SI	No especificado	SI	<25	SI	6±0,5 - 8±0,5	SI	6±0,5-8±0,5	SI
Longitud (mm)	20		< 5 x diámetro	SI	< 5 x diámetro	SI	< 5 x diámetro	SI	<4 x diámetro	SI	D ≤ L ≤ D x5	SI	< 5 - 4 x diámetro	SI
<b>Análisis</b>	<b>s/seco</b>	<b>s/humedad</b>												
Humedad total (%)	0,00	8,8	<10	SI	<12	SI	<10	SI	≤10	SI	<10	SI	<10	SI
Cenizas (%)	3,2	2,92	<0,5	NO	<1,5	NO	<0,5	NO	≤0,7	NO	<0,7	NO	<0,7	NO
N-Nitrógeno (%)	1,41	1,04	<0,3	NO	<0,3	NO	<0,3	NO	≤0,3	NO	<0,3	NO		
S-Azufre (%)	0,05	0,05	<0,04	NO	<0,08	SI	<0,04	NO	≤0,08	SI	<0,05	NO	<0,05	NO
Cl-Cloro (%)	0,01	0,01	<0,02	SI	<0,03	SI	<0,02	SI	≤0,03	SI	<0,03	SI	<0,03	SI
Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)	4.240	3.820	>4.299	NO	4.200-4.680	SI	>4.320	NO	>4.039	SI	>4.039	SI	>4.039	SI
Aditivos	0	0	<2%	SI			<2%	SI			<2%	SI		
Durabilidad	0,97	0,97									≥97%	SI	≥97%	SI
Densidad Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	716	716									620 - 720	SI		
Arsénico (mg/kg)	n.d.	n.d.			<0,8	SI	<0,8	SI						
Cadmio (mg/kg)	n.d.	n.d.			<0,5	SI	<0,5	SI						
Cromo (mg/kg)	n.d.	n.d.			<8	SI	<8	SI						
Cobre (mg/kg)	n.d.	n.d.			<5	SI	<5	SI						
Mercurio (mg/kg)	n.d.	n.d.			<0,05	SI	<0,05	SI						
Plomo (mg/Kg)	n.d.	n.d.			<10	SI	<10	SI						
Zinc (mg/kg)	n.d.	n.d.			<100	SI	<100	SI						



### La conversión de los residuos forestales, agrícolas y urbanos para la generación de energía reduce significativamente los problemas que trae el manejo de estos desechos

El sarmiento presenta un alto porcentaje de óxido de potasio (álcalis) que puede tener un efecto perjudicial en la fusibilidad de las cenizas y el ensuciamiento de los intercambiadores, sin embargo el ensayo de fusibilidad indica que no presentará problemas.

Se ha analizado la temperatura de fusibilidad, que indica la temperatura a la que las cenizas se funden y quedan adheridas al material sobre el que se encuentran, generalmente la parrilla y el cenicero, generando problemas en su correcto funcionamiento por lo que se hace necesaria su limpieza, con el consiguiente aumento en los costes de mantenimiento de los equipos. El sarmiento se encuentra muy por encima del nivel de riesgo que suponen los 900° C.

En la **Tabla 2** se comparan estos valores con las especificaciones técnicas (CEN/TS 14961) de la futura norma europea de Biocombustibles Sólidos (CEN/TC 335). De esta forma pueden encuadrarse los pelets de sarmiento en el grupo correspondiente, ya que se trata de una norma que no fija unos límites exactos sino que incluye a los pelets dentro de unas categorías que el cliente tendrá en cuenta en función de su uso.

#### Conclusiones

El pélet obtenido presenta una compactación adecuada comprobada mediante el ensayo de durabilidad, con un bajo porcentaje en cenizas y cloro

lo que evitará problemas en la combustión en las calderas.

Del análisis de la materia prima y del proceso de peletizado, así como del propio pélet se han extraído las siguientes conclusiones:

- Por las condiciones de humedad del sarmiento tras la poda no fue necesario secado forzado de la materia prima aunque sí un tiempo de secado natural, primero del sarmiento entero y posteriormente del sarmiento astillado.
- No existieron problemas de fusión de las cenizas en la parrilla ya que las temperaturas de fusibilidad de las mismas superan los 1.400° C, reduciendo así los costes de mantenimiento y limpieza de los equipos de combustión.
- El peletizado resultó ser un método muy interesante de densificación aumentando la densidad aparente del combustible desde los 198 kg/m<sup>3</sup> (triturado) hasta los 716 kg/m<sup>3</sup> facilitando la logística de transporte y almacenamiento.

- Los ensayos de durabilidad ofrecieron valores del 97,0% para los pelets de ocho mm, considerándose que a partir del 90% la calidad del pélet es aceptable.

- El mayor inconveniente a la hora de cumplir las normas europeas está en el nivel de cenizas y de N, cumpliendo la mayoría de las condiciones en el resto de elementos analizados. Aunque el nivel de cenizas es bajo no cumple las normativas europeas ya que estas son muy restrictivas al estar basadas en maderas de gran calidad.

- Los pelets de sarmiento podrían presentar problemas a la hora del inicio de la combustión en la caldera debido a su gran dureza.

- El aprovechamiento energético de los restos de poda del viñedo constituye una alternativa ecológica a la incineración de los sarmientos.

De estos resultados y conclusiones se deducen la necesidad de seguir investigando en este campo abriéndose nuevas vías de investigación como la mezcla del sarmiento con otros tipos de biomasa hasta conseguir un pélet que cumpla con todos los requisitos.

#### Agradecimientos

Los autores agradecen a Bodegas Pedro Escudero de La Seca (Valladolid) su colaboración al proporcionar la materia prima para este estudio.

#### Bibliografía

Queda a disposición del lector en el e-mail: [igonzalez@cenitsolar.com](mailto:igonzalez@cenitsolar.com) y también en: [redaccion@editorialagricola.com](mailto:redaccion@editorialagricola.com) •