

[BIOCOMBUSTIBLES]

Peletizado de *C. cardunculus* para su aprovechamiento energético en calderas de biomasa

Isabel González-Barragán

Dra. Ingeniera Agrónoma. Responsable de proyectos en 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

Ingeniero Industrial

Responsable de proyectos en Cenit Solar Proyectos e Instalaciones Energéticas. Departamento de biomasa

El protocolo de Kyoto exige un compromiso y necesidad de utilizar, cada vez más, energías respetuosas con el medio ambiente. En España, está teniendo un especial despegue la biomasa utilizada como combustible sólido y, sobretudo, en forma de pélet para facilitar su logística, transporte y almacenamiento. Por ello es de especial importancia la búsqueda de una biomasa apta que pueda ser densificada en forma de pélet.

Uno de los cultivos de los que más se habla en la actualidad es del cardo (*Cynara cardunculus*), por lo que este estudio se centra en esta materia prima como posible combustible y en su proceso de peletizado.

Para el estudio se han tomado muestras del cultivo de *Cynara* que han sido analizadas químicamente en laboratorio para caracterizar dicho "combustible". Posteriormente la materia prima se peletizó, y se midieron las características de los mismos comparándolas con normativas europeas.

Los resultados muestran la posibilidad de conseguir una compactación adecuada del pelet pero también los problemas que presentarían en la combustión en calderas pequeñas por la presencia de alto contenido de cenizas y cloro.



Pelets obtenidos

[Introducción y objetivos

Existe evidencia científica de que la actividad humana está aumentando la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y que ese aumento de las concentraciones está incrementando la temperatura del planeta, con graves consecuencias para la estabilidad y el equilibrio del clima. Entre estos gases el dióxido de carbono (CO₂) es el más importante. Se produce por el consumo de combustibles fósiles en medios de transporte, tractores, centrales eléctricas, calefacción de viviendas, etc. Este proceso de cambio climático se ve agravado por la deforestación y los cambios en los usos del suelo.

Según los cálculos sobre la huella ecológica, que intenta calcular la superficie de tierra y agua necesarios para mantener tanto los consumos de energía como para absorber posteriormente las emisiones a la atmósfera procedentes de estos consumos, se precisa una media de 2,18 ha por habitante del planeta (Valero, E., 2007).

Con la adopción del Protocolo de Kyoto se fijaba para la Unión Europea el ambicioso objetivo de reducir las emisiones de CO₂ adoptando las medidas oportunas.

España tiene una doble problemática: por un lado es fuertemente dependiente de las importaciones energéticas y por otro que la economía actual está necesitada de una intensidad energética alta y ascendente. Ambos factores añaden un valor especial a la energía producida con fuentes renovables, autóctonas, e independientes, por lo tanto, de los vaivenes de precio en los mercados internacionales.

Al hablar de energías renovables nos referimos a fuentes energéticas no fósiles: energía eólica, solar, geotérmica, del oleaje, maremotriz e hidráulica, gases de vertedero, gases de plantas de depuración, biogás y biomasa (Directiva 2001/77/CE).

El Sol, la fuente de energía por excelencia, es el origen de todas. A través de la fotosíntesis, la clorofila de las plantas captura su energía y convierte el dióxido de carbono (CO₂) del aire y el agua del suelo en carbohidratos, para formar la materia orgánica. Cuando estos carbohidratos se queman, regresan a su forma de hidratos de carbono y agua, liberando la energía que contienen. De esta manera, los vegetales funcionan como una especie de batería que almacena energía solar.

La Directiva 2001/77/CE define la biomasa como: la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos procedentes de la agricultura (incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal) de la silvicultura y de las industrias conexas, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales municipales.

La disponibilidad de esta biomasa varía de región a región, según el clima, el suelo, las actividades agrícolas y forestales, y las industrias relacionadas, por ello, la infraestructura creada para su aprovechamiento debe adaptarse a sus condiciones específicas.



Cardo triturado

La ventaja de utilizar la biomasa como combustible es que podemos “cultivar” dicho combustible, por eso se dice que se trata de una fuente renovable. Últimamente se habla mucho de la posibilidad de utilizar cardo (*Cynara cardunculus*) como biocombustible sólido. El interés por este cultivo viene dado por su rusticidad, rápido crecimiento, carácter invasivo, puede cultivarse en seco, perennidad de la planta permitiendo una cosecha de biomasa anual y su elevado rendimiento. Si bien no todo son ventajas, el inconveniente principal de este cultivo es su mecanización en el momento de la cosecha.

La biomasa (leña) ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego, aunque en las últimas décadas el progreso y la industrialización la fueron sustituyendo por combustibles fósiles. Ahora se trata de volver a su uso aprovechándonos de una mayor tecnología que nos proporcionará mayor confort, comodidad y eficiencia en su utilización. La vida moderna requiere de calderas

automatizadas y regulables que no necesiten mano de obra en su manejo, a diferencia de las antiguas calderas de leña en que era imprescindible realizar una carga cada cierto tiempo, limpiezas frecuentes de ceniza, etc... Para ello resulta imprescindible su densificación en forma de pélet compactando la materia prima.

La peletización supone una forma de revalorización energética de la biomasa debido a las ventajas que supone su compactación en la logística y gestión del residuo, reduciendo el coste del transporte y las necesidades de almacenamiento. Además, permite alcanzar un alto grado de automatización y control en los equipos que utilizan pellets de biomasa como combustible. De esta manera la biomasa puede ser manejada como un combustible líquido, es decir transportado en camiones cisterna, descargado a través de mangueras a los depósitos (silos) e introducido en la caldera de forma automática según las necesidades de esta.

Actualmente se está desarrollando una norma europea de estandarización de biocombustibles (CEN/TC 335 solid biofuel standard) para regularizar este mercado y que el consumidor pueda obtener un producto uniforme.

La biomasa está formada principalmente por carbono y oxígeno. También contiene hidrógeno, nitrógeno, azufre, ceniza y agua, dependiendo de la humedad relativa.

Cuando ésta se quema, se efectúa una reacción química que combina su carbono con oxígeno del ambiente, formándose dióxido de carbono (CO₂) y combinando el hidrógeno con oxígeno para formar vapor de agua. Cuando la combustión es completa, o sea la biomasa se quema totalmente, todo el carbono se transforma en CO₂. Sin embargo, los árboles y plantas que están creciendo capturan nuevamente el CO₂ de la atmósfera y, al usar la biomasa en forma sostenible, en términos netos, no se agrega CO₂ a la atmósfera.

No obstante, cuando la combustión no es completa, se forman monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HCs,



Los pellets de cardo no cumplen con la normativa europea ya que estas normas están extraídas de los valores que se obtienen con pellets de madera

Tabla 1:
Caracterización de “*Cynara cardunculus*”

ANÁLISIS INMEDIATO ⁽¹⁾	s/seco	s/húmedo (materia prima)	s/húmedo (pelet)
Humedad Total (%)	-	10,02	8,90
Volátiles (%)	77,20	69,46	70,33
Carbono Fijo (%)	16,30	14,67	14,85
Cenizas (%)	6,50	5,85	5,92
ANÁLISIS ELEMENTAL ⁽²⁾	s/seco	s/húmedo (materia prima)	s/húmedo (pelet)
C - Carbono (%)	45,20	40,67	41,18
H - Hidrógeno (%)	6,30	5,67	6,73
O - Oxígeno (%)	40,60	46,55	44,90
N - Nitrógeno (%)	1,21	1,09	1,10
S - Azufre (%)	0,09	0,08	0,08
Cl - Cloro (%)	0,10	0,09	0,09
PODER CALORÍFICO ⁽³⁾	s/seco	s/húmedo (materia prima)	s/húmedo (pelet)
Poder Calorífico Superior (kcal/kg)	4.440	3.995	4.050
Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)	4.130	3.638	3.720
OTROS ANÁLISIS	Materia prima		Pelet
Densidad Aparente	156 kg/m ³		660 kg/m ³
Contenido de metales	No detectado		No detectado
Contenido de objetos extraños/impurezas	No detectado		No detectado

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

⁽²⁾ 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.

⁽³⁾ La norma seguida es la UNE 32006.

por ejemplo metano), N₂O y otros materiales. Estos pueden generar impactos serios en la salud de los usuarios siendo al mismo tiempo gases de efecto invernadero, por lo que se debería minimizar su formación.

Para estudiar las posibilidades de aprovechamiento energético de una biomasa es determinante analizar sus propiedades físicas, químicas y energéticas. Una caracterización completa de ésta, aporta información para determinar si dicha biomasa 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 esta biomasa presenta para la fabricación de pelets con fines energéticos.

[Material y métodos

El ensayo se localizó en el Municipio de Villamediana (Palencia). Las muestras de cardo se recogieron en diciembre de 2006 de forma aleatoria segando la planta por la base, incluyendo por tanto capítulos, caña y hojas. El porcentaje de estas últimas fue escaso ya que en la época de recogida son pocas las que permanecen en la planta.

El cultivo fue sembrado en otoño de 2006 (por lo que este ensayo corresponde a la primera campaña del cultivo). Se aplicó un abonado de fondo de 400kg/ha de triple 15 y un abonado de cobertura de 400kg/ha de sulfato amónico.

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, generando los resultados que se muestra-

rán más adelante. El conjunto de equipos que constituye dicha planta de peletizado se compone de los siguientes elementos:

- Trituradora. Dota a la materia prima de la granulometría adecuada para su posterior peletización. Trituradora de cuchillas con una producción entre 20-25 kg/h de biomasa.
- Tolva de almacenamiento: almacenamiento de biomasa previo a su densificación, que es alimentada mediante bigbags elevados.
- Prensa. Es el equipo propio de densificación de la planta. A través de la presión ejercida por los rodillos giratorios, se hace pasar la biomasa por la matriz plana de compresión perforada. Tiene una producción de 200 kg/h y dispone de matrices que permiten obtener pelets de seis y ocho mm de diámetro. A la salida de la matriz existe un dispositivo de corte formado por unas cuchillas, que rompe la biomasa desalojada de la matriz para obtener los pelets.
- Dispositivo de descarga de pelets. Una vez compactada la biomasa, el producto fabricado cae sobre una plataforma giratoria, solidaria con el eje de la prensa, que desplaza los pelets hasta la boca de descarga habilitada en el extremo de la línea de densificación.
- Enfriador de pelets. Dado que el producto sale de la prensa a una temperatura elevada (80-90° C), es conveniente instalar un sistema de enfriamiento de los pelets producidos, con el fin de que el producto adquiera unas características adecuadas para su uso en equipos de combustión de biomasa. Consiste en la aplicación de un flujo de aire en contracorriente sobre una plataforma de transporte que recoge los pelets.

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 comparativa con normativas europeas.

PRETRATAMIENTO

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

La humedad en el momento de re-

cepción era entorno al 10-15%, por lo que no fue necesario realizar un secado previo sino que se pasó directamente a la etapa de trituración. Se utilizó un tamiz de cinco mm para conseguir una materia prima de diámetro inferior al de los pelets que se quieren producir, que en este caso es de seis mm.

Se analizaron las características químicas de la biomasa.

PELETIZACIÓN

El cardo triturado se condujo hasta la tolva desde la que se alimenta la matriz peletizadora.

Tras probar varias matrices, con distintas compresiones, los mejores resultados se obtuvieron con la matriz de acero al carbono de ocho mm. Se comprobó que la calidad del producto mejoraba al añadir un 5% de agua, que se incorporó en fase líquida, aunque industrialmente se suele adicionar vapor.

POSTRATAMIENTO

En la salida de la prensa se hacen pasar a los pelets por una fase de enfriamiento mediante una contracorriente de aire, para aportarles la durabilidad y resistencia exigibles al producto, ya que un descenso rápido de temperatura aumenta su dureza. A continuación se realizó un cribado para eliminar el polvo generado en el proceso y obtener el producto limpio para ensacar o almacenar.

COMPARACIÓN CON NORMATIVAS

Un parámetro que determina la calidad de un pélet es la durabilidad, indicando la dureza del pélet fabricado 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 consistente en voltear los pelets en un recipiente perforado. La durabilidad se expresa como el cociente del material contenido en el recipiente al final del ensayo 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) y CTI -R 04/5 A.1 (Italia).

Tabla 2:

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

CEN/TS 14961:2005 Anexo A		Cardo
Origen		Cultivo agrícola o herbáceo- cultivos con semillas oleaginosas- Planta entera
Especificaciones reguladas por la Norma		
Dimensiones (mm) 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)
Humedad (% s/húmedo)	M10 <= 10 % M15 <= 15 % M20 <= 20 %	M10 <= 10 % (8,9 %)
Cenizas (% s/seca)	A 0.7 <= 0,7 % A 1.5 <= 1,5 % A 3.0 <= 3 % A 6.0 <= 6 % A 6.0+ > 6 %	A 6.0+ > 6 % (6,5 %)
Azufre (% s/seca) 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.10 <= 0,10 % (0,09 %) No sería normativo
Durabilidad	DU97.5 >= 97,5 DU95.0 >= 95,0 DU90.0 >= 90,0	DU95.0 >= 95,0 (97 %)
Finos en % < 3 mm (salida de planta)	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
Aditivos (% s/seca)	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
Nitrógeno (% s/seca)	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 % (1,21 %)
Especificaciones informativas		
Densidad aparente	Recomendable determinarla si la compraventa se realiza en base volumen	660 kg/m3
Poder Calorífico Inferior (s/seca)	Recomendable >16,9 MJ/kg (4.037kcal/kg) o 4,7 kWh/kg	4.130 kcal/kg
Cloro (% s/seca)	Recomendado establecer las categorías: Cl 0,03 Cl 0,07 Cl 0,10 Cl 0,10+ (si Cl > 0,10 % valor)	Cl 0,10 (0,10 %)



Con el peletizado se logró un incremento de la densidad aparente del combustible mejorando la logística de transporte y almacenamiento

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos tras las pruebas de peletizado del cardo son satisfactorios en cuanto a sus propiedades físicas, ya que se ha demostrado que se pueden obtener pelets con una compactación adecuada. Sin embargo, en cuanto a la composición química, el cardo implica una serie de problemas en la combustión que se analizarán más adelante.

El pélet obtenido fue de buena calidad física en cuanto a su dureza y su aspecto exterior, con una superficie brillante y casi sin fisuras o resaltes. Simplemente fue necesaria la adicción de un 5% de agua, sin emplear otros aditivos, consiguiéndose una mayor compactación con la matriz de ocho mm (compresión de 35 mm).

Tras analizar la materia prima (*Cynara cardunculus*) con las condiciones previas a ser peletizado, los resultados obtenidos fueron los mostrados en la **Tabla 1**.

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

La durabilidad de los pelets se midió en los dos tipos de pélet producidos, resultando del 92,2% en los de seis mm y del 97% en los de ocho mm. Este valor indica que con las condiciones y la matriz adecuada se pueden obtener pelets con la dureza y consistencia adecuada.

Durante el proceso de peletizado, se alcanzan elevadas temperaturas que provocan la evaporación de parte del

agua contenida y del que se adiciona, por lo que la humedad de los pelets se redujo a un 8,9 %. Esto hace que todos los datos en base húmeda varíen en función de ese valor.

Con la peletización de la materia prima la densidad aparente aumentó desde los 156 kg/m³ triturado hasta los 660 kg/m³.

Los valores de cloro, azufre y nitrógeno fueron un poco elevados, por lo que el uso de esta biomasa como combustible en una caldera habrá que tener en cuenta los peligros de corrosión en la parrilla e intercambiadores y habrá que controlar las emisiones vertidas.

En las cenizas, destaca el alto porcentaje de óxido de potasio (álcalis) que puede tener un efecto perjudicial en la fusibilidad de las mismas y el ensuciamiento de los intercambiadores, aun-

Tabla 3: Caracterización de “Cynara cardunculus”

	PELETS DE CARDO		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)	8		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
Análisis	s/seco	s/humedad												
Humedad total (%)	0,00	8,9	<10	SI	<12	SI	<10	SI	≤10	SI	<10	SI	<10	SI
Cenizas (%)	6,5	5,92	<0,5	NO	<1,5	NO	<0,5	NO	≤0,7	NO	<0,7	NO	<0,7	NO
N-Nitrógeno (%)	1,21	1,10	<0,3	NO	<0,3	NO	<0,3	NO	≤0,3	NO	<0,3	NO		
S-Azufre (%)	0,09	0,08	<0,04	NO	<0,08	SI	<0,04	NO	≤0,08	SI	<0,05	NO	<0,05	NO
Cl-Cloro (%)	0,10	0,09	<0,02	NO	<0,03	NO	<0,02	NO	≤0,03	NO	<0,03	NO	<0,03	NO
Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)	4.130	3.720	>4.299	NO	4.200-4.680	NO	>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/m³)	660	660									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						



Cultivo de cardo

que se contrarresta con el porcentaje de óxido de calcio que disminuye el efecto perjudicial de los álcalis.

Se ha analizado también la temperatura de fusibilidad que indica la temperatura a la que las cenizas se funden y quedan adheridas a la parrilla y al cenicero, generando problemas en el correcto funcionamiento de la parrilla y haciendo necesaria su limpieza, con el consiguiente aumento en los costes de mantenimiento de los equipos. *Cynara* 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 cardo 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.

Por último, se establece una comparación entre las características obtenidas para los pelets de cardo y las Normativas existentes para pelets de madera de muy alta calidad y consumo en calderas domésticas. En la **tabla 3** se puede apreciar que no se cumplen la mayoría de las normas, especialmente en el apartado de cenizas, Cl, S, y N.

Conclusiones

El pélet obtenido presenta una compactación adecuada comprobada mediante el ensayo de durabilidad. Sin embargo, la presencia de alto contenido de cenizas y cloro puede presentar problemas en calderas pequeñas.

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

- No fue necesario realizar un secado forzado, ya que tras permanecer

unos días en una nave cerrada y a temperatura estable (18° C), la humedad alcanzada fue la adecuada para el proceso.

- El triturado óptimo de la materia prima fue a un tamaño de 2,5-3,5 mm.
- El análisis de *Cynara* muestra unos niveles muy altos de cenizas y de cloro, que puede ocasionar problemas en la combustión en calderas domésticas que no estén preparadas para este tipo de materia prima. Por el contrario se ha determinado que la temperatura de fusibilidad de las cenizas del cardo supera los 1.400° C, evitando su fusión en la parrilla y los consiguientes costes de mantenimiento y limpieza de los equipos de combustión.
- Con el peletizado se logró un incremento de la densidad aparente del combustible desde los 156 kg/m³ (triturado) hasta los 660 kg/m³ mejorando de esta manera la logística de transporte y almacenamiento.
- La durabilidad del pelet de ocho mm fue del 97,0%, considerándose que a partir del 90% la calidad del pélet es aceptable.
- El proceso de peletizado no presentó dificultades, aunque fue necesario añadir agua para mejorar la consistencia del proceso. A nivel industrial podría ser aconsejable añadir vapor para mejorar la compactación y aumentar el rendimiento.
- Los pelets de cardo no cumplen con la normativa europea de pelets para uso en calderas domésticas, aunque esto era predecible ya que estas normas están extraídas de los valores que se obtienen con pelets de madera. El elevado contenido de cenizas no perjudica a los sistemas de combustión sino que supondría mayor frecuencia de limpieza del cenicero. Sin embargo el cloro puede producir corrosión en los equipos por lo que se tendría que utilizar materiales especiales, que suelen ser mucho más costosos. Otro factor que hay que tener en cuenta es el

alto porcentaje de nitrógeno que producirá mayores emisiones de NO_x.

- Los pelets de cardo podrían utilizarse en grandes calderas que estén preparadas para soportar esos valores, o también, donde se incluyan mezclado con otros materiales que no presenten estos inconvenientes. En calderas de uso doméstico los propios fabricantes no permitirían que se usase un pélet con esta calidad.

De estos resultados y conclusiones se deducen la necesidad de seguir investigando en este campo y se abren dos vías de investigación:

- por un lado en la mezcla del cardo con otras materias primas hasta conseguir un pélet que cumpla con todos los requisitos,
- y por otro, ensayar con las prácticas y labores de cultivo, comprobando la influencia de los abonados y el tipo del suelo en la composición final de la biomasa.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Alfonso Ballesteros (INEA) y a ACOR, en especial a Miguel Ángel Plaza, su colaboración al proporcionar información técnica sobre *Cynara*. Igualmente agradecen a Secundino Puerta su colaboración con el cultivo.

Bibliografía

- Valero Gutierrez del Olmo, Enrique. 2007. Los bosques como sumideros de CO₂. Congreso Internacional de Energías y Medio Ambiente. 7-9 de Junio, Vigo.
- Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Kyoto, 1997.
- ÖNORM M 7135. (2000) "Compressed Wood and compressed bark in natural state. Pellets and briquettes" (Austria)
- DIN 51731 (1996) "Testing of solid fuels-compressed untreated wood. Requirements and testing" (Alemania)
- SS 187120 (1998) "Biofuels and peat-Fuel pellets" (Suecia)
- SC09-GC02 (2004) "Combustibili solidi di origine vegetale" 090200008-R04/5 Pellet (Italia)
- prCEN/TS 14961 (en desarrollo) "Solid Biofuels - Fuel specifications and classes"
- CEN/TC 335 (en desarrollo) "Solid biofuels". •