

[SOSTENIBILIDAD]

Uso de cenizas procedentes de calderas de biomasa como insumo orgánico en los suelos agrícolas

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

Cuando se utilizan cultivos energéticos o restos vegetales, se retira del suelo materia orgánica incrementando de esta manera la falta de nutrientes de los mismos, haciendo necesario el uso de abonos para restituirlos. Una forma de atenuar estas extracciones de nutrientes es devolver al suelo las cenizas resultantes de la combustión de esta biomasa. De esta manera se restituyen parte de los elementos minerales que fueron extraídos durante su explotación, como es el caso, principalmente, de P, K, Ca y Mg. Al utilizar las cenizas como abono se reducen las necesidades de "inputs" de este tipo haciendo más sostenible todo el proceso.

La producción de energía a partir de biomasa supone un balance neutro en cuanto a emisiones de CO₂ vertidas a la atmósfera. Esta afirmación no quiere decir que estas emisiones sean nulas, sino que la cantidad de CO₂ que se emite en el proceso de combustión de la biomasa es prácticamente la misma que la planta absorbió durante todo su ciclo vegetativo. Si hablamos de la producción de esa biomasa, es decir, si analizamos el ciclo de vida, existen emisiones de CO₂ asociadas a las correspondientes labores e inputs necesarios en su producción.

La utilización de formas renovables de obtención de energía suscita un gran interés entre otras razones, ante la problemática del cambio climático global, cuyo origen parece vinculado al sistema energético actual. De esta forma se persigue reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera para cumplir así con el protocolo de Kyoto.

Esta circunstancia ha motivado que a los criterios tradicionales de seguridad de suministro, se hayan añadido otros tendentes a lograr una mayor protección del medio ambiente, a través de una política que incluye el desarrollo de energías limpias entre

las que se encuentra la biomasa, la cual constituyó tradicionalmente la fuente de energía más importante desde el descubrimiento del fuego hasta la revolución industrial. La biomasa fue la primera fuente de energía que utilizó el hombre y, puede volver a ser una de las energías renovables con las que deberemos contar para cubrir parte de nuestras necesidades energéticas.

[Biomasa

Por biomasa se entiende el conjunto de materia orgánica tanto vegetal como animal, incluyendo, por tanto, los materiales que procedan de su transformación. Así, en la obtención de biomasa para producción de energía



se presentan dos soluciones:

- Producir dicha biomasa con los denominados cultivos energéticos, es decir, cultivos o plantaciones destinados exclusivamente a producir energía, por ejemplo: chopo, cardo, (para biocombustibles sólidos), colza, pataca (para biocombustibles líquidos, biodiesel y bioetanol)...etc

- Utilizar como fuente de biomasa residuos agrícolas, forestales y ganaderos, desde los producidos directamente en la explotación (restos de podas, paja, purines...), hasta los procedentes de industrias agroalimentarias (huesos de aceituna, cáscaras de almendra). También debe englobarse en este apartado a los residuos urbanos (fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradoras).

La Real Academia de la Lengua Española define residuo como “material que queda como inservible después de haber realizado un trabajo u operación”. Cuando se habla de residuos vegetales, normalmente se mete en el mismo saco “restos vegetales” y “residuos” propiamente dichos. En nume-



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

rosas ocasiones los restos vegetales no son un residuo, ya que aunque el hombre no lo utilice si puede hacerlo el suelo. Es el caso de la paja de cereal dejada sobre el mismo tras la cosecha: ese resto pasa a ser alimento del suelo. En otras ocasiones, la práctica habitual es eliminarlos, como ocurre también con los restos de poda. En estos casos se considera realmente un residuo. El sostenimiento climático demanda que el intercambio de CO₂ 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).

Cuando la biomasa 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. Sin embargo, los árboles y plantas que están creciendo capturan nuevamente el CO₂ de la atmósfera, de esta manera, si se utiliza la biomasa de forma sostenible, en términos netos, no se agrega CO₂ a la atmósfera.

Ventajas sostenibles de la biomasa

La biomasa está formada principalmente por carbono y oxígeno. También contiene hidrógeno, nitrógeno, azufre, ceniza y agua, dependiendo de la humedad relativa. Los combustibles biomásicos contienen niveles insignificantes de sulfuro y no contribuyen a las emanaciones que provocan “lluvia ácida”. 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 las importaciones de combustibles, pudiendo incentivar las economías rurales, creando más opciones de trabajo y reduciendo las presiones económicas sobre la producción agropecuaria y forestal.

Como se ha dicho anteriormente el balance de CO₂ emitido a la atmósfera en el proceso de obtención de energía mediante biomasa es neutro, pero si hacemos una evaluación del ciclo de vida del proceso completo, vemos que esta afirmación no es del todo cierta ya que existen otras emisiones de CO₂ inherentes a dicho proceso de las que hay que ser conscientes e intentar mitigar.

Durante el aprovechamiento de las plantaciones de cultivos energéticos se produce una importante extracción de nutrientes del sistema: macro y microelementos del suelo que luego hay que reponer con abonos (Merino *et al.*, 2003) por lo que no se cierra el ciclo del CO₂ (Balboa *et al.*, 2003). Los residuos agrícolas siempre han desempeñado importantes funciones para la conservación y sostenibilidad de nuestros suelos agrícolas: evitan los efectos producidos por la erosión, durante su humificación y mineralización devuelven una parte importante de los nutrientes anteriormente extraídos de ese suelo y mantienen el contenido de materia orgánica y carbono del mismo contribuyendo a su regeneración natural.

Al retirar esa biomasa del suelo la única reposición natural de nutrientes queda limitada a los aportes atmosféricos y la alteración mineral. De esta forma tiene lugar la entrada de elementos como K, Mg y Ca (aunque en cantidades insuficientes para abastecer la demanda del siguiente cultivo). Como consecuencia, la producción de biomasa debe complementarse con programas de fertilización adecuada (Balboa *et al.*, 2003).

La disminución de la materia orgánica del suelo deteriora su estructura, estabilidad de agregados, actividad biológica, y capacidad de retención de agua y nutrientes haciéndose cada vez más vulnerable a la erosión, compactación, acidificación, salinización, carencia de nutrientes y sequía (European Environment Agency, 1998).



Un suelo pobre y mal estructurado es muy erosionable y su erosión la causa principal de los procesos de desertificación (Ayala-Carcedo, 2002). El suelo edáfico (la parte superior del terreno o suelo agrícola) es un recurso de importancia clave ya que de él depende la capacidad productiva de los suelos. La erosión reduce la fertilidad y la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. Se estima que la erosión requiere aumentar cada año un 25% los costes de producción para mantener el mismo nivel productivo (Pimentel *et al.*, 1995).

La desertificación es una herencia histórica de las actuaciones humanas sobre el territorio, principalmente por el cambio de uso de suelo sin tener en cuenta las condiciones de frágil equilibrio de los ecosistemas. La entidad de los ecosistemas depende de la conservación y desarrollo del suelo, ya que la base de todas las cadenas tróficas es la biomasa vegetal, siendo ésta función de suelo y clima. Al utilizar esta biomasa vegetal como combustible sólido en una caldera de biomasa, tras su combustión aparece un residuo: las cenizas, para las que hasta la fecha no se ha encontrado un programa adecuado de reutilización, sino que se acumulan en grandes parques o se trasladan a vertederos.

Como alternativa a su transporte a vertedero, la aplicación de estas cenizas en terrenos agrícolas y forestales aparece como una prometedora vía de

revalorización de este residuo, al tiempo que se colabora con la conservación de ese medio que pretendemos nos provea de energía. En la búsqueda de una biomasa adecuada y sostenible para la producción de energía térmica en nuestra zona (Valladolid) nos hemos inclinado por el sarmiento del viñedo (hasta ahora un residuo) (González –Barragán, M.I. *et al.*, 2007a), y el cultivo del cardo (González –Barragán, M.I. y López, D., 2007b). El interés del aprovechamiento del sarmiento 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 kilocalorías desperdiciadas y miles de toneladas de CO₂ 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 interés de utilizar cardo (*Cynara cardunculus*) como biocombustible sólido viene dado por las ventajas de su cultivo en cuanto a su rusticidad, rápido crecimiento, carácter invasivo, además de poder cultivarse en secano, su perennidad de la permitiendo una cosecha de biomasa anual y su elevado rendimiento.



El interés de utilizar cardo como biocombustible sólido viene dado por las ventajas de su rusticidad, rápido crecimiento y carácter invasivo, además de poder puede cultivarse en secano

[Aplicación de las cenizas: objetivos

Este estudio pretende valorar el interés de la aplicación de las cenizas procedentes de plantas de biomasa en suelos agrícolas como abonos. Por ello, además de la viabilidad de sarmiento y cardo para su combustión (publicados en números anteriores), hemos analizado sus cenizas, tanto por su interés en el funcionamiento de la caldera como por su interés de poder utilizarse como insumo orgánico en los suelos.

1. Material y métodos

El ensayo de cardo (*Cynara cardunculus*) 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 cobertera de 400kg/ha de sulfato amónico.

El ensayo de vid 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. El análisis de cenizas se hizo según las normas ASTM 3682 y ASTM 3683.

Tabla 1:
Caracterización de las cenizas de sarmiento y “*Cynara cardunculus*”.

SARMIENTO		CARDO	
COMPOSICIÓN DE CENIZAS (4)	(%)	COMPOSICIÓN DE CENIZAS (4)	(%)
Óxido de Silicio	23,000	Óxido de Silicio	5,300
Óxido de Aluminio	4,300	Óxido de Aluminio	1,200
Óxido de Hierro (III)	2,300	Óxido de Hierro (III)	0,450
Óxido de Calcio	15,000	Óxido de Calcio	33,000
Óxido de Magnesio	6,200	Óxido de Magnesio	5,800
Óxido de Sodio	0,540	Óxido de Sodio	1,800
Óxido de Potasio	28,000	Óxido de Potasio	15,000
Óxido de Titanio (IV)	0,180	Óxido de Titanio (IV)	0,059
Óxido de Fósforo (V)	4,200	Óxido de Fósforo (V)	3,400
Óxido de Cinc	0,032	Óxido de Cinc	0,035
Trióxido de Azufre	3,000	Trióxido de Azufre	3,100
Óxido de Manganeso (III)	0,066	Óxido de Manganeso (III)	0,056
Óxido de Bario	0,016	Óxido de Bario	0,019
Óxido de Estroncio	0,047	Óxido de Estroncio	0,500

(4) Las normas seguidas son la ASTM 3682 y la ASTM 3683.

2. Resultados y discusión

Para garantizar la nutrición de los cultivos y asegurar tanto la cantidad como la calidad de sus rendimientos se suelen emplear fertilizantes minerales y orgánicos. La planta absorbe del medio que le rodea las sustancias (minerales o inorgánicas) que le son necesarias para desarrollarse y crecer.

Entre los elementos que forman parte de esta nutrición se encuentran N, P y K como macroelementos primarios y Ca y Mg como macroelementos secundarios.

Tras la combustión de Sarmiento y de Cardo en una caldera de biomasa, los porcentajes de ceniza han sido:

- En Sarmiento 3,2% sobre base seca y 2,9 sobre base húmeda (9,5% de humedad).
- En Cardo 6,5% sobre base seca y 5,9 sobre base húmeda (10,02% de humedad).

La **Tabla 1** muestra el resultado del análisis realizado a dichas muestras de ceniza de las dos biomasa ensayadas: sarmiento y *Cynara cardunculus*.

Con el aporte de las cenizas procedentes de la combustión de la biomasa al suelo se devuelve al mismo parte de los nutrientes anteriormente extraídos por el cultivo, pudiendo incre-

mentar las concentraciones P, Ca y Mg como formas asimilables en la fracción sólida del suelo, lo que conlleva a aumentos en la producción (Solla *et al.*, 2001). No obstante hay que tener en cuenta que algunos estudios han señalado que la eficacia de las cenizas para aumentar el contenido de P disponible en el suelo es menor que la obtenida con los fertilizantes minerales convencionales (Erich y Ohno, 1992). En el trabajo realizado

Tabla 2:
Riqueza de P₂O₅ en fertilizantes simples fosfatados

Fertilizantes Fosfatados. Riqueza en P ₂ O ₅	(%)
Solubles	
Superfosfato de cal simple	16
Superfosfato de cal doble	25
Superfosfato de cal triple	38
Liposolubles	
Fosfato bicálcico	38
Escorias Thomas	12
Insolubles	
Fosfato natural parcialmente solubilizado	20
Fosfato calcinado	25
Fosfato aluminocálcico	30
Fosfato natural blando	25

por Solla *et al.*, 2001 puede verse como la adición de cenizas a un suelo incrementó significativamente los niveles de P, Ca, Mg, K, Mn. Sin embargo, no influyó en Fe, Ni, Cu, Cr, Cd, Pb.

Lo que las cenizas no devuelven es uno de los tres macroelementos primarios: el nitrógeno. La absorción de fósforo por parte de la planta se hace principalmente en forma iónica (H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻), aunque las cantidades absorbidas se expresan en forma de P₂O₅. En la **Tabla 2**, se muestra en una tabla las riquezas mínimas exigibles a los diferentes abonos simples fosfatados existentes en el mercado (Bascones, E., 2004):

Con la aplicación de estas cenizas al suelo puede reducirse en parte las necesidades de estos abonados. La riqueza de P₂O₅ en las cenizas estudiadas supone el 4,2% en las de sarmiento y 3,4% en las de cardo. Otro elemento primario en las necesidades de las plantas es el potasio. Las plantas absorben el potasio (K⁺) por vía radicular a partir de la solución del suelo. Los fertilizantes minerales potásicos simples de uso habitual son los que ilustra la **Tabla 3** (Bascones, E., 2004).

Tabla 3:
Riqueza de K₂O en fertilizantes simples potásicos

Fertilizantes Fosfatados. Riqueza en K ₂ O	(%)
Cloruro potásico (KCl)	50-60
Sulfato potásico (K ₂ SO ₄)	48-50

La riqueza de potasio en cenizas de sarmiento es del 28% y las cenizas del cardo del 15%. Por lo que la aplicación de cenizas en las tierras de cultivo puede restituir este elemento aunque con mayores dosis que con los fertilizantes tradicionales. Con el aporte de cenizas, además de elementos primarios como fósforo y potasio, incluye la adición de otros elementos secundarios, no por ellos menos importantes, como calcio y magnesio.

En los cultivos leñosos y especialmente en el viñedo, son frecuentes las carencias de Mg, y este se aporta normalmente en forma de sulfato de magnesio (16 % MgO). Las cenizas de sarmiento y de cardo tienen una riqueza de 6,2% y 5,8% respectivamente que pueden suplir esas carencias.



La adición de cenizas puede incrementar el pH de un suelo por la abundancia de óxidos, principalmente de Ca, Mg y K, que confieren a este material un marcado carácter alcalino

El aporte de magnesio al suelo contribuye no sólo a satisfacer las necesidades de los cultivos sino también a corregir la acidez del suelo.

El calcio como alimento de la planta suele formar parte de los fertilizantes nitrogenados y fosfatados en riquezas variables. Las cenizas estudiadas son capaces de aportar cantidades importantes que no sólo colaboraran en la nutrición de las plantas y microorganismos, sino que son necesarias para una buena estructura del suelo al floccular el complejo arcillo-húmico y a aumentar el pH del suelo.

La adición de cenizas, por tanto, puede incrementar el pH de un suelo por la abundancia de óxidos, principalmente de Ca, Mg y K, que confieren a este material un marcado carácter alcalino (Etiégni y Campbell, 1991). Este uso de cenizas como enmienda para corregir suelos ácidos ha sido mostrada en diferentes trabajos por Ohno y Erich (1990), Vance (1996) y Solla *et al.*, (2001).

Corregir la acidez del suelo es importante ya que el pH, entre otras cosas, determina la disponibilidad de nutrientes de carácter metálico para las plantas e influye sobre la capacidad de intercambio catiónico (que es menor en suelos ácidos que en los básicos). De esta forma los suelos ácidos provocan una carencia de Ca para plantas y microorganismos y un exceso de Al y Mn en la solución del suelo, que pueden alcanzar valores tóxicos para los cultivos. En el control de la acidez se emplean habitualmente compuestos cálcicos y magnésicos (carbonatos, óxidos e hidróxidos). Al reducir la acidez de un suelo puede modificarse la dinámica de diferentes elementos (Kabata-Pendias y Pendias, 1984; Roy *et al.*, 1988) eliminando estos problemas.

En diversos estudios se han descrito descensos de la disponibilidad de algunos de estos metales después de la

adición de cenizas como consecuencia de la menor solubilidad de éstos al aumentar el nivel de pH del suelo (Huang *et al.*, 1992; Krejzl y Scanlon, 1996). De esta manera diversos autores han comprobado como el aporte de cenizas aumenta el pH del suelo derivando en una disminución del Al y Ni en disolución (Solla *et al.*, 2001).

Si comparamos el aporte de elementos minerales procedentes de las cenizas de biomasa con una enmienda orgánica como los estiércoles, vemos la ventaja de las cenizas sobre estos. En la **Tabla 4** se muestra las riquezas de los elementos que irán apareciendo durante su biodescomposición en distintos tipos de estiércoles.

Tabla 4:
Riqueza de P₂O₅, K₂O y CaO en distintos tipos de estiércoles

Estiércol de:	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)
Caballo	0,28	0,53	0,20
Vaca	0,16	0,40	0,30
Oveja	0,23	0,67	0,30
Cerdo	0,19	0,60	0,08

En las **Tablas 5 y 6** se muestran en sendas tablas los complejos binarios y ternarios (NPK) más utilizados para que sirvan de comparativa con las cenizas. Como se comentó al principio, las cenizas no aportan nitrógeno por lo que su riqueza ha sido excluida de estas tablas, excepto en la de ternarios puesto que la riqueza de N forma parte de su denominación.

Tabla 5:
Riqueza de P₂O₅, K₂O en fertilizantes binarios

Denominación	Sigla o formulación	Riqueza (%)	
		P ₂ O ₅	K ₂ O
Superfosfato potásico	0-14-7	14	7
Fosfato monoamónico	MAP	48-52	0
Fosfato diamónico	DAP	46	0
Nitrato potásico	KNO ₃	0	44

Tabla 6:
Fertilizantes ternarios más utilizados en agricultura española (Bustamante, I. y Corral, P., 1999)

Pobres en nitrógeno
4-12-8
5-15-5
7-12-7
8-8-8
8-10-30 (3S)(2MgO)(0,1B)
8-15-15
8-24-8
8-24-16
8-24-24
8-18-27
8-36-16
20-10-5S (3,3MgO)
Medios en nitrógeno
9-18-27
10-15-24 (5S)(3MgO)(0,8Zn)
12-10-17 (3MgO)
12-12-24
12-24-8
P ₂ O ₅ (%)
15-15-15
15-15-15S
17-8-13 (4MgO)(4S)
28-8-14 (0,1B)(3S)
20-10-10

Conclusiones

La adición de cenizas procedentes de la combustión de biomasa en calderas para la producción de energía puede ser añadida a las tierras de cultivo para restituir parte de los elementos minerales que fueron extraídos durante su explotación, como es el caso, principalmente, de P, K, Ca y Mg. Es posible su uso de las cenizas para corregir la acidez de suelos ácidos, evitando así los riesgos de estos suelos sobre los vegetales.

La utilización de cenizas como abonado en suelos cultivados, supone la revalorización de un residuo de nueva aparición con el uso de la biomasa como fuente de energía que en grandes plantas resulta un residuo que hay que eliminar, muchas veces con su traslado a vertedero.

Bibliografía

Queda a disposición del lector en los siguientes correos electrónicos: igonzalez@cenitsolar.com y redaccion@editorialagricola.com.