

El cardo, un cultivo de secano para producción de biocombustibles

Requerimientos edafoclimáticos, técnicas de cultivo y aprovechamiento de la cosecha

Entre los posibles cultivos alternativos utilizables para la producción de biomasa de uso energético destaca el cardo (*Cynara cardunculus* L.), que es una especie originaria de la región mediterránea, perteneciente a la familia de las Compuestas (*Asteraceae*) y con excelentes condiciones de adaptación a la gran mayoría de las tierras cerealistas de secano o de los regadíos marginales. En este artículo se resumen las técnicas de cultivo, desde la siembra hasta la recolección de la planta y los distintos aprovechamientos como biomasa para fines técnicos o para la producción de biodiésel.

Jesús Fernández. Catedrático de Producción Vegetal. ETSIA. Universidad Politécnica de Madrid.

Según estudios sistemáticos recientes¹, la especie *Cynara cardunculus* agrupa tanto a formas silvestres como al cardo cultivado y a la alcachofa, aunque ésta última fue considerada por Linneo como una especie diferente (*Cynara scolymus* L.).

Los primeros trabajos sobre la utilización del cardo como cultivo energético empezaron hace más de veinte años en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid (ETSIAM), publicándose los primeros resultados en la década de los noventa^{2,3}. En las plantaciones iniciales se utilizaron semillas procedentes de ejemplares de cardo comestible naturalizado, tras un proceso de selección masal. De las semillas iniciales se obtuvo una población que se denominó ETSIA-1, que fue utilizada en cultivos experimentales para producción de biomasa realizados tanto en España como en diversos países de la Unión Europea (Francia, Italia, Grecia y Portugal). Por ser una especie alógama, las plantas que se obtienen de sus semillas presentan un cierto grado de variabilidad, si bien se mantienen los caracteres básicos. En el ámbito europeo de la bioenergía, el cardo

está reconocido y considerado como uno de los posibles cultivos energéticos para producción de biomasa, y se le conoce tradicionalmente con el nombre de cynara.

► Características de la planta

El cardo tiene un sistema radicular pivotante profundo, formado por varias raíces principales largas y fibrosas originadas a partir de la raíz inicial que pueden alcanzar varios metros de profundidad. A partir de las raíces principales se forma un entramado de raíces secundarias que se desarrollan horizontalmente a diversas profundidades.

Las hojas de la roseta basal son muy grandes (más de 50 x 35 cm), tomentosas, de color verde en el haz y blanquecinas en el envés, con un nervio principal muy marcado y engrosado y un limbo con entrantes más o menos pronunciados. En los bordes de las hojas y en los peciolo de las poblaciones silvestres suele haber espinas, mientras que en los cultivares seleccionados para cultivo este carácter es menos patente o falta totalmente.

Al final de la primavera se desarrolla el tallo, que es un escapo floral ramificado que alcanza una altura de alrededor de un metro al final del primer año, pudiendo llegar a los tres metros en los

años sucesivos cuando el cultivo está bien desarrollado. Tiene hojas sentadas.

En el extremo del tallo principal y de las diferentes ramas se desarrolla una inflorescencia de tipo capítulo, de forma globosa (cabezas), de unos 5-8 cm de diámetro. Cada capítulo contiene numerosas flores que, tras la fecundación, dan origen a los frutos, que son alargados, de 6-8 mm de longitud y 3-4 mm de ancho, se encuentran insertos en la base del capítulo (receptáculo o talamo) por uno de sus extremos; cada uno posee adherido un vilano plumoso para su diseminación por medio del viento. La cubierta exterior del fruto (cáscara) representa el 45% del total, siendo el contenido global de aceite del orden del 25% y de proteína del 18-20%. La composición del aceite es análoga a la del aceite de la semilla de girasol, con un contenido medio en los principales ácidos grasos de: 10% de palmítico, 3% de esteárico, 25% de oleico y 60% de linoleico. La semilla contiene también compuestos antioxidantes que protegen al aceite del enranciamiento y aumenta su período de viabilidad. La capacidad germinativa media de las semillas suele ser de 5 a 7 años.



Requerimientos edafoclimáticos

Suelo

Esta especie requiere suelos ligeros y profundos, de naturaleza caliza y con capacidad de retener el agua de invierno y primavera en la zona del subsuelo (1-5 m). Tolerar mal el encharcamiento. Para facilitar las operaciones de siega de la biomasa, es preferible elegir terrenos poco pedregosos o, en el caso contrario, enterrar las piedras con un pase de rulo tras la siembra.

Clima

El cardo es una especie propia del clima mediterráneo. En estado de plántula es bastante sensible a las heladas, por lo que, en las siembras de otoño, cuando existe riesgo de heladas, hay que procurar sembrar lo antes posible para que cuando lleguen las primeras heladas, las plantas se encuentren ya en estado de roseta, en el que son más resistentes. Las heladas invernales pueden afectar a las hojas de la roseta, tanto en el primer año como en años sucesivos. Los hielos producen desgarros en las hojas, pudiéndose perder algunas de ellas pero la planta continúa viva, reponiéndose del daño tan pronto como cesen las heladas.

Como recomendación general para la época de siembra en relación con la climatología es necesario prever un período libre de heladas después de la siembra de 1 a 2 meses (dependiendo de la velocidad de desarrollo), pudiendo tolerar el cultivo, después de que tenga cuatro hojas, temperaturas por debajo de los -5°C. Para un buen desarrollo de las plantas, la pluviometría durante los meses de otoño, invierno y primavera debe ser igual o superior a los 450 mm. Con menos pluviometría, las producciones bajan considerablemente.

Épocas de siembra y ciclos de desarrollo

La siembra se puede realizar en otoño o en primavera. A este respecto, hay que tener en cuenta que la planta es sensible a las heladas en las primeras fases de su desarrollo (hasta que alcanza a tener unas cuatro hojas en la roseta basal).

Siembra de otoño. Se debe realizar tan pronto como las condiciones de tempero de la tierra lo permitan, al objeto de que forme la roseta de hojas antes de que lleguen los fríos invernales. Durante el primer año de desarrollo la producción es baja, pero a partir del segundo año y sucesivos las producciones ya son normales, dependiendo en gran medida de las condiciones climáticas. Si existe problema de que las lluvias se retrasen, es preferible sembrar en seco, en septiembre o a principios de octubre, sobre el terreno preparado con anterioridad.

Siembra de primavera. Se recomienda para las zonas en que las primeras heladas otoñales son muy tempranas. En este caso conviene realizar la siembra tan pronto como haya desaparecido el riesgo de heladas. Las plantas utilizan el agua de primavera para nacer y desarrollarse inicialmente, llegando al verano en estado de roseta, aunque pueden perder algunas de las hojas por desecación. En otoño, con las primeras lluvias, las plantas continúan el desarrollo vegetativo aumentando el tamaño de las hojas de la roseta, para completar el ciclo en el verano. En el otoño siguiente las plantas rebrotan y continúan los ciclos de desarrollo normal durante los años sucesivos.



Arriba, rotopaca de cardo. Abajo, detalle de capitulo de cardo seleccionado.

Operaciones de cultivo

Abonado de fondo. Antes de la labor de subsolado y alzado del rastrojo del cultivo anterior, se debe efectuar un abonado de fondo. Aunque la cantidad de abono a utilizar depende de las características de cada suelo y de la cosecha esperada, un tipo de abonado medio podría ser: 500 kg/ha de 9:18:27.

Preparación del terreno. Si el terreno está muy compactado, si existe suela de labor o se conoce la existencia de una costra caliza a poca profundidad, se recomienda dar previamente una labor de subsolado al objeto de facilitar la penetración de las raíces hacia las zonas profundas del perfil del suelo. A continuación se puede realizar la operación de alzar el rastrojo de la cosecha anterior, seguida de un par de pases cruzados de cultivador o de grada para preparar el terreno para la siembra.

Siembra. Se realiza en líneas separadas 75-80 cm aproximadamente, con una distancia entre plantas variable según la densidad requerida. Es recomendable realizar la siembra con una sembradora de precisión colocando los golpes bastante próximos (unos 10 cm) con un consumo aproximado de semilla de unos 4-5 kg/ha. Normalmente las plantas más vigorosas sobreviven a sus vecinas de la línea, quedando al final a una densidad aproximada de unas 15.000-20.000 plantas/ha, lo que también se puede conseguir mediante un pase cruzado para lograr el aclareo de la línea hasta lograr la densidad adecuada. Posteriormente a la



Recolección de semillas de cardo.

siembra, es conveniente dar un pase de rulo para enterrar las piedras que hubieran salido.

Tratamiento insecticida del suelo. En el caso de que existan insectos del suelo que ataquen al cultivo en estado de plántula (rosquillas), sería necesario dar un tratamiento adecuado. También sería necesario si existieran caracoles o babosas.

Tratamiento herbicida. Tras la siembra y antes de la emergencia del cultivo, es necesario dar un tratamiento herbicida, que se determinará en función de la flora existente en el lugar y teniendo en cuenta que el cardo en la nascencia tiene una sensibilidad a los herbicidas parecida a la del girasol. En el segundo año del cultivo, si éste está bien implantado, el rápido desarrollo de la roseta de hojas basales hace innecesario el control de las malas hierbas. Hasta ahora se han tenido buenos resultados con una mezcla de alacloro + linurón. También se pueden utilizar anilinas (trifluralina) en dosis análogas a las que se utilizan con el girasol, pero no resulta muy efectivo si la población de malas hierbas está formada por Crucíferas (jaramagos) o Compuestas (magarzas).

Control de plagas y enfermedades. Entre las principales plagas que pueden atacar a los cardos cabe citar los pulgones (*Aphis* ssp.), casida (*Cassida deflorata* Suff.), vanesa de los cardos (*Pyrausta nardii* L.), taladro o barrenador (*Gortyna xantenes* Germ.), pulguilla (*Sphaeroderma rubidum* Graells) y apion (*Apion carduorum* Kirby), entre otras, así como los gusanos grises del suelo (*Agrostis segetum*) y la rosquilla negra (*Spodoptera littoralis*), también del suelo. Se pueden tratar con insecticidas específicos o polivalentes. Insecticidas fosforados suelen dar buenos resultados en muchos casos.

Entre las principales enfermedades posibles causadas por hongos cabe citar el mildiu, el oídio, la viruela de las hojas y la

podredumbre gris, aunque no son frecuentes.

Abonado de restitución. A partir del segundo año, se deben dar abonados de restitución en otoño principalmente. Es importante vigilar la fertilidad del suelo en las zonas profundas (1-3 m) ya que, a veces, la acumulación de nutrientes procedentes de la lixiviación del abonado de cultivos anteriores puede evitar durante algunos años la operación de abonado. Según cifras medias obtenidas experimentalmente, se puede establecer que una cosecha de biomasa integral de cardo extrae por cada tonelada (con el 15% de humedad) 9 kg de N, 1,4 kg de fósforo (equivalente a 3,22 kg de P_2O_5) y 12,7 kg de potasio (equivalente a 15,24 kg de K_2O). Después del abonado conviene enterrar el abono y a continuación dar un pase de rulo para enterrar las piedras, si las hubiere.

Cosecha. Cabe considerar dos situaciones, según se quiera recoger la semilla separada del resto de la biomasa o se desee reco-

CUADRO I. PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN UN EXPERIMENTO MULTILOCAL DE CULTIVO DE CARDO DURANTE DOS CICLOS PRODUCTIVOS, EN EL MARCO DE UN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FINANCIADO POR LA UE.

Población	1994-95		1995-96	
	Lluvia (mm)	Producción (t ms/ha)	Lluvia (mm)	Producción (t ms/ha)
Madrid	280	6,5	529	23,1
Tebas (Grecia)	490	28,6	324	33,4
Forly (Italia)	752	17,5	837	24,6
Policoro (Italia)	316	7,5	722	15,6
Sicilia (Italia)	387	15,9	654	-
Media	445	15,2	646	24,2

CUADRO II. PRINCIPALES PROPIEDADES DE LOS ÉSTERES ETÍLICOS Y METÍLICOS PRODUCIDOS CON ACEITE DE CYNARA Y REQUERIMIENTOS EN LA NORMA EN-14214 EN TRÁMITE DE APROBACIÓN. ANÁLISIS EFECTUADOS POR LOS LABORATORIOS DE REPSOL-YPF Y CEPESA.

Propiedad	Ésteres etílicos	Ésteres metílicos	EN-14214
Densidad a 15°C (g cm ⁻³)	0,8794	0,889	0,86-0,90
Viscosidad a 40°C (mm ² s ⁻¹)	4,479	5,101	3,5-5
Punto de inflamación (°C)	184	182	> 101
Punto de turbidez (°C)	-5	-4	-
Punto de obstrucción del filtro en frío (CFPP, °C)	-10	-10	< -10**
Número de cetano	66	59	> 51
Residuo carbonoso (% m/m) (10% residuo de destilación)	0,28	0,36	< 0,3
Índice de yodo	109	117	<120 (140*)
Fósforo (mg kg ⁻¹)	< 5	< 5	< 10
Azufre (% m/m)	< 0,02	< 0,02	< 0,02

(*) 140 es el valor máximo permitido en España para el índice de yodo.

(**) Valor para las condiciones climáticas españolas.

ger todo en conjunto. En el primer caso, hay que efectuar las siguientes operaciones: a) pase de cosechadora, b) pase de rastrillo hilerador de la biomasa y c) empaçado; en el segundo caso, o bien se puede efectuar la operación directamente en una sola pasada si se dispone de una segadora-empaçadora autopropulsada (aunque todavía no existen en el mercado equipos comerciales de esta naturaleza), o bien se necesitarían dos operaciones: una primera consistente en el corte de la biomasa mediante una máquina segadora-hileradora (de tambores) y una segunda de empaçado con rotoempaçadora.

► Rendimiento y aprovechamiento de la cosecha

La producción de biomasa aérea por el cultivo de cardo depende en gran manera de la disponibilidad de agua en el suelo por la planta en la época del crecimiento activo, es decir, en primavera. En experiencias realizadas sobre producción de biomasa de cardo en condiciones de secano en diversos países del área mediterránea (en el marco de un proyecto de investigación coordinado por la Universidad Politécnica de Madrid y financiado por la Unión Europea)⁴, se pudo comprobar que existe una fuerte correlación entre la pluviometría del año agrícola (de septiembre a agosto del año siguiente) y la producción global de biomasa de cardo, siendo especialmente incidente la cantidad de agua de lluvia caída en primavera. También se pudo observar que después de un año de baja productividad por efecto de la sequía, el desarrollo del cultivo al año siguiente queda algo resentido, aunque se produzca una pluviometría adecuada, recuperándose completamente el cultivo al año siguiente. En estas experiencias, para pluviometrías superiores a los 450 mm se obtuvieron productividades medias alrededor de las 16,5 toneladas de materia seca/ha, equivalentes a 19,4 t/ha de biomasa con el 15% de humedad, aunque para pluviometrías anuales inferiores a 300 mm, el rendimiento bajó considerablemente, obteniéndose producciones del orden de las 6,5 t de materia seca/ha y año (**cuadro I**).

El conjunto de la biomasa integral del cardo cosechado de este modo puede utilizarse para fines térmicos, con un poder calorífico inferior del orden de las 3.000 kcal/kg (para un contenido en humedad del 15%), o puede someterse a un proceso de separado selectivo de los frutos y partes más valiosas de la biomasa, lo cual se podría realizar mediante un sistema estático, antes de utilizar la biomasa para fines térmicos. Los frutos se podrían usar como materia prima para la producción de aceite, del que se podría obtener un biodiésel de una calidad aceptable⁵ (**cuadro II**). ■

Bibliografía

¹ Wiklund A., 1992. The genus *Cynara* L. (Asteraceae-Cardueae). Bot. J. Linn. Soc. 109, 75-123.

² Fernández, J., Manzanares P., 1990. *Cynara Cardunculus* L. A new crop for oil, paper pulp and energy. In: Grassy G, Gosse G, dos Santos G (Eds). Proceedings of the 5th International Conference on Biomass for Energy and Industry. Barking: Elsevier Science Publishers Ltd, p. 1184-1189.

³ Fernández, J., 1993. Production and utilization of *Cynara cardunculus* L. Biomass for energy, paper-pulp and food industry. Final Report JOUB 0030-ECCE, Commission of the European Communities, Brussels, 92 pp.

⁴ Fernández, J., 1998. *Cynara cardunculus* Network. Final Report AIR CTT 921089, Commission of the European Communities, Brussels, 248 pp.

⁵ Fernández, J y MD. Curt. Biodiésel de bajo coste a partir de aceite de cardo. *Energía* nº 183. Enero/Febrero 2005. pp 96-102.



Rotocultivadores y Trituradoras



TRV

TRITURADORAS



TRO

PROFESIONALES



TRR