



# ECAS

## Cultivos energéticos en el espacio atlántico

Diciembre 2007

# Índice

<b>01</b>	El proyecto ECAS, cultivos energéticos en el espacio atlántico: oportunidades de implantación a gran escala	3
	Objetivos del proyecto	3
	Socios del proyecto y sus cometidos	3
<b>02</b>	Política energética en la UE	5
	La biomasa en la política de la UE	5
<b>03</b>	Los biocarburantes	7
<b>04</b>	Los biocombustibles sólidos	8
<b>05</b>	Los cultivos energéticos	9
<b>06</b>	Especies estudiadas como cultivos energéticos	10
	Cardo	10
	Sorgo	12
	Caña	15
	Eucalipto nitens	17
<b>07</b>	Conclusiones del proyecto ECAS en Galicia	22

## Edición

Asociación Forestal de Galicia

## Coordinación de la edición

Manuel Pazos Lamoso, Francisco Dans del Valle, Carla Pérez Pérez, Julio Ruiz Cagigal, Braulio Molina Martínez, Rafael Abuín Aido

## Colaboradores

Jesús Fernández González, profesor de la Universidad Politécnica de Madrid  
Felipe Macías Vázquez, profesor de la Universidad de Santiago de Compostela

D.L.: C 1091-2008

Santiago de Compostela, diciembre de 2007





EL PROYECTO ECAS se enmarca dentro del Programa INTERREG III B "Espacio Atlántico 2002-2006" y fue cofinanciado por fondos FEDER de la UE. En él participaron instituciones públicas y privadas de Portugal, España, Reino Unido e Irlanda.

ECAS ha pretendido investigar y conocer mejor la capacidad existente en el espacio atlántico europeo para la producción de cultivos con fines energéticos y su posibilidad de implantación a gran escala. Las especies inicialmente incluidas en este proyecto son *Arundo donax* L. (caña), *Sorghum bicolor* (L.) Moench (sorgo) y *Cynara cardunculus* L. (cardo). Algunos de los socios del proyecto propusieron el estudio de otras especies para una mejor adaptación de los objetivos del proyecto a las características de su región. Por este motivo se han estudiado, por parte de algunos socios, otras especies como el miscanto, el cáñamo, el sauce blanco o el eucalipto. Dado el auge en Galicia de la plantación de *Eucalyptus nitens* en terrenos agrarios o terrenos forestales, se consideró importante incorporar esta especie al proyecto.

La Asociación Forestal de Galicia (AFG) participó como socio en dicho proyecto. En este cuaderno técnico se presentan aspectos relevantes del trabajo realizado en Galicia por el equipo técnico de la AFG. El proyecto comenzó su desarrollo en abril de 2004 y finalizó en diciembre de 2007.

## Objetivos del proyecto

Los objetivos generales del proyecto de cooperación son contribuir al desarrollo rural, al uso de energías renovables, al incremento de la sostenibilidad ambiental de las actividades econó-

micas emisoras de gases con efecto invernadero y a la disminución de la dependencia energética exterior.

El proyecto contempla los siguientes objetivos específicos:

- Análisis comparado de los aspectos técnicos y económicos relacionados con la instalación de las siguientes especies básicas: *Cynara cardunculus* (cardo), *Arundo donax* (caña) y *Sorghum bicolor* (sorgo) y de otras específicas de algunas regiones participantes.
- Estudio e implementación de métodos alternativos de conversión de los productos obtenidos (combustión de biomasa de las tres especies consideradas, producción de alcohol a través de la esterificación de aceite de semilla de *Cynara cardunculus* y producción de alcohol de *Arundo donax* y *Sorghum bicolor*).
- Análisis de la viabilidad técnica y económica de las diversas alternativas de cultivo y de transformación industrial, teniendo en cuenta el potencial en términos de protección y preservación ambiental.
- Divulgación de los resultados del proyecto y desarrollo de acciones de formación para los agentes interesados en los temas del proyecto.

## Socios del proyecto y sus cometidos

- **Instituto Superior de Agronomía de la Universidad Técnica de Lisboa (Portugal)**. Coordinadores y jefes de fila del proyecto y responsables de la gestión económica. En el plano técnico fueron los encargados de elaborar estudios sobre la





instalación de los cultivos, centralizar la recogida de datos y también se encargaron de evaluar las posibilidades del cardo para la producción de biodiésel.

- **Departamento de Fitotecnia de la Universidad de Évora (Portugal).** Su papel en el proyecto fue el de evaluar la producción de la biomasa de distintas variedades de sorgo y su capacidad de producción de bioetanol.
- **Centro de Investigación, Demostración y Desarrollo Tecnológico, INETI (Portugal).** Es un laboratorio estatal con sede en Lisboa cuyo cometido en el proyecto fue realizar el trabajo experimental de caracterización de los procesos de gasificación de las especies ensayadas para la producción de energía. Disponen de laboratorios con instalaciones industriales a escala.
- **Asociación de Productores Forestales de Setúbal (Portugal).** Esta asociación de propietarios forestales realizó los ensayos de instalación y cosecha de cultivos energéticos en terrenos agrarios situados al sur de Lisboa, aportando biomasa para los ensayos de laboratorio y difundiendo los resultados del proyecto entre sus socios.
- **Asociación Forestal de Galicia (España).** Su cometido consistió en la realización de ensayos de instalación y cosecha de cultivos energéticos en distintas ubicaciones de Galicia, pe-

ro especialmente en terrenos forestales desarbolados con características de marginalidad y también en terrenos agrícolas. Se realizó una evaluación de los crecimientos de las diferentes especies y costes de los diferentes procesos, así como las posibilidades de utilización de estos cultivos a gran escala en Galicia, difundiendo los resultados del proyecto entre propietarios forestales y comunidades de montes vecinales.

- **Instituto de Investigación Agrícola y Medio Ambiental, IGER (Reino Unido).** Es un centro público con sede en Ceredigion en el que se ha evaluado la capacidad de distintos terrenos del País de Gales para la instalación de cultivos energéticos: miscanto, caña y sauce, realizando también la caracterización de las calidades de la biomasa obtenidas en las cosechas incluyendo la lignina y los componentes celulósicos.
- **Mid-South Roscommon, Ltd. (Irlanda).** Es una sociedad pública que estudió las posibilidades de distintos cultivos energéticos en los suelos de más baja calidad en el condado de Roscommon.
- **Escuela de Ingenieros Agrónomos de Madrid (España).** Un equipo dirigido por el profesor Jesús Fernández realizó los trabajos de asesoría y asistencia técnica para la instalación y cosecha de los cultivos energéticos, así como para la elección de las distintas de semillas utilizadas en los ensayos.





**LAS CONSECUENCIAS AMBIENTALES** del empleo a gran escala de combustibles fósiles y la gran dependencia energética que esto supone para los países europeos, han originado un cambio en la política energética de la UE orientándola hacia el fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.

En este marco de compromiso con el desarrollo de las energías renovables, se han establecido, a escala de la UE, los siguientes objetivos para el año 2020:

- Cuota del 20% de energías renovables sobre el consumo total en la UE.
- Cuota del 10% de energías renovables en el consumo de combustibles para el transporte en cada estado miembro.
- Incremento del 20% en la eficiencia energética.
- Reducción del 20% de las emisiones de gases con efecto invernadero.

Para cumplir estos objetivos, los estados miembro deberán adoptar planes de acción nacionales, en los que se determinarán los objetivos en relación con las cuotas de energía procedentes de fuentes renovables en el transporte, la electricidad, la calefacción y la refrigeración en 2020, así como las medidas adecuadas que deberán adoptarse para alcanzar estos objetivos, incluidas las estrategias nacionales destinadas a desarrollar los recursos de biomasa existentes y a movilizar nuevos recursos de biomasa para usos diferentes, así como las medidas que deberán adoptarse para cumplir los requisitos establecidos.

Los estados miembro notificarán sus planes de acción nacionales a la Comisión a más tardar el 31 de marzo de 2010. A su vez, y cada dos años, presentarán un informe en el que se recogerá la evolución de dichos planes.

## La biomasa en la política de la UE

De acuerdo con los objetivos marcados por la política comunitaria, la UE establece una diferenciación entre biomasa destinada a la producción de biocarburantes y biolíquidos para el consumo en el transporte y la biomasa con otros usos energéticos.

### Biomasa para biocarburantes y biolíquidos en el transporte

Los aspectos más destacados de política energética europea respecto al empleo de biocombustibles son los siguientes:

- El consumo mínimo del 10% de biocombustibles con relación al conjunto de los combustibles (gasóleo y gasolina) de transporte consumidos en 2020, será un objetivo vinculante para todos los estados miembro, y deberá introducirse respetando la relación coste-eficiencia.
- Los biocarburantes y otros biolíquidos deberán cumplir los criterios de sostenibilidad establecidos por la UE:
  - La reducción de emisiones de gases de efecto invernadero derivada del uso de dichos biocarburantes y biolíquidos será del 35% como mínimo.



- \_ La producción de biocarburantes y biolíquidos no se realizará a partir de materias primas procedentes de tierras de elevado valor en cuanto a biodiversidad, ni de tierra con elevadas reservas de carbono.
- \_ Las materias agrícolas cultivadas en la UE para la producción de biocarburantes y biolíquidos han de cumplir los requisitos y normas medioambientales y agrícolas establecidas por la UE.
- Debido a sus beneficios adicionales, la producción de los biocarburantes obtenidos a partir de desechos, residuos, materias

celulósicas no alimentarias y material lignocelulósico recibirá el apoyo de los estados miembro, y su contribución se considerará que equivale al doble de la de otros biocarburantes.

- Los estados miembro velarán para que antes del 31 de diciembre 2014, todas las estaciones de servicio con más de dos surtidores de gasóleo ofrezcan gasóleo con un contenido mínimo de biocarburantes del 5% en volumen. Para el bioetanol no se contemplan este tipo de obligaciones.
- La política comunitaria contempla medidas para evaluar y registrar:
  - \_ Los cambios en los precios de las materias primas y en la utilización del suelo en los estados miembro, ligados a una mayor utilización de la biomasa.
  - \_ El desarrollo y la cuota de biocarburantes obtenidos a partir de desechos, residuos, materias celulósicas no alimentarias y material lignocelulósico.
  - \_ El impacto estimado de la producción de biocarburantes en la biodiversidad, los recursos hídricos, la calidad del agua y la calidad del suelo.

### Biomasa con usos energéticos diferentes al transporte

La política energética europea contempla las siguientes consideraciones respecto al empleo de biomasa para usos energéticos convencionales:

- Los requisitos de un régimen de sostenibilidad para los usos energéticos de la biomasa, distintos de la producción de biolíquidos y biocarburantes, deben ser analizados por la Comisión hasta el 2010, teniendo en cuenta la necesidad de gestionar los recursos de biomasa de manera sostenible.
- Los planes de acción nacional han de recoger las estrategias nacionales destinadas a desarrollar los recursos de biomasa existentes y a movilizar nuevos recursos para usos diferentes al transporte.
- Los estados miembro fomentarán el empleo de sistemas de producción de electricidad, calefacción o refrigeración a partir de fuentes de energía renovable facilitando la autorización, certificación y concesión de las licencias aplicables.
- Los cambios en los precios de las materias primas y en la utilización del suelo en los estados miembro, ligados a una mayor utilización de la biomasa, serán objeto de seguimiento.



EL TÉRMINO **BIOCARBURANTE** engloba a una serie de productos de origen biológico que son utilizables como combustible de sustitución de los derivados del petróleo o como aditivos de éstos para su uso en el transporte. Representan por tanto una alternativa como sustitutos directos de los combustibles fósiles y pueden integrarse fácilmente como combustibles alternativos para el transporte. De acuerdo con los estados miembro en que se presenten estos productos, pueden ser líquidos o gaseosos.

## Tipos de biocarburantes

Los principales biocarburantes líquidos son los siguientes:

- Bioetanol, se emplea como sustituto total o parcial de gasolinas o de aditivos en motores de explosión para aumentar el octanaje.
- Biodiésel, es un sustituto del gasóleo de automoción, y se produce por transesterificación de aceites vegetales, naturales o usados.
- Otros biocarburantes; como el metanol obtenido a partir de biomasa tratada por procesos termoquímicos, ésteres producidos a través de grasas animales o aceites vegetales sin transesterificar, etc., si bien su producción es muy escasa.

El **bioetanol** se produce a partir de jugos azucarados obtenidos de productos agrícolas ricos en ellos (sorgo azucarero, raíz de remolacha, tallo de la caña de azúcar, etc.) o a partir de productos que contienen almidón o inulina (granos de cereales, tubérculos de patatas, raíces de remolacha, etc.). Así por ejemplo se puede obtener un litro de etanol a partir de 2,5-3 kg de granos de cereal, de 10 kg de raíces de remolacha o de 15-20 kg de caña de azúcar.

Mediante el cultivo de una hectárea de regadío de remolacha se pueden producir 6.000 litros de etanol, mientras que si se cultiva maíz o sorgo dulce se obtienen 3.700 l o si el cultivo es la caña de azúcar se producen entre 10.000 y 13.000 l. Si el cultivo es en secano, una hectárea de trigo produciría 880 l, mientras que el sorgo dulce produciría 700 l.

El empleo de etanol reduce las emisiones de gases contaminantes al ser un ciclo neutro respecto al CO<sub>2</sub>, ya que todo el carbono emitido en la combustión ha sido previamente captado por el cultivo. Además, es un producto soluble en agua y mucho más degradable que los hidrocarburos.

El **biodiésel** se fabrica mediante un proceso relativamente sencillo en el que el aceite vegetal es sometido a una transesterificación, con la presencia de un alcohol como reactivo (metanol o

etanol) y un catalizador (sosa o potasa). De esta forma a partir de 1.000 kg de aceite, 156 kg de metanol y 9,2 kg de potasa se obtienen 965 kg de biodiésel, 178 kg de glicerina y 23 kg de metanol.

Así, a partir de una hectárea de palma en las regiones tropicales se obtiene entre 3.700 y 5.400 l de biodiésel, mientras que si el cultivo es cardo en secano en regiones de clima mediterráneo se obtiene entre 150 y 360 l y además entre 9 y 13,5 t de materia seca.

Determinados sectores sociales se están mostrando críticos con el actual sistema de producción de biocarburantes, hecho que viene motivado por el desvío de parte de la producción mundial de cereales para el consumo animal o humano (maíz, trigo, colza, etc.) hacia procesos industriales para la producción de etanol o biodiésel.

También es cuestionada la baja relación existente entre la energía que se consume en los cultivos energéticos (maquinaria, fertilizantes, transporte, etc.) y la energía final que se obtiene del mismo. Por ejemplo, el trigo puede producir entre 0,46 y 2,33 t de etanol por ha en función del terreno, sin embargo su rendimiento energético final varía entre 0,8 y 2,1. Esto quiere decir que en el mejor de los casos, produce el doble de la energía que la que se consume durante su cultivo y procesado. Los cultivos lignocelulósicos como el eucalipto tienen sin embargo rendimientos energéticos mucho mayores, de entre 5 y 40.

Frente a estas críticas, la UE considera que la producción de biocarburantes puede ofrecer la oportunidad de diversificación de la actividad agrícola y reducir así la dependencia exterior de combustibles fósiles. La estrategia que sigue la UE para reducir la dependencia energética fósil exterior y conseguir así fomentar la utilización de los biocarburantes, se basa en tres objetivos:

- Promover una mayor utilización de los biocarburantes en la UE y en los países en desarrollo para garantizar que su producción y utilización sean positivas para el medio ambiente.
- Preparar la utilización de biocarburantes, mejorando su competitividad con respecto a sus costes mediante la optimización de los cultivos de materias primas especializadas, la investigación en biocarburantes de segunda generación y el apoyo a su introducción en el mercado mediante un aumento de los proyectos de demostración.
- Estudiar las posibilidades dentro de países en vías de desarrollo para que se invierta en la producción de materias primas con destino a biocombustibles y definir el papel que desarrollaría la UE para apoyar el desarrollo de la producción sostenible de biocarburantes.

## 04 Los biocombustibles sólidos



EL TÉRMINO BIOCMBUSTIBLE SÓLIDO agrupa a distintos tipos de biomasa, generalmente materiales lignocelulósicos, procedentes del sector forestal, agrícola o de sus industrias transformadoras y que son destinados a la generación de energía térmica o eléctrica.

En la actualidad, los biocombustibles sólidos suelen proceder de las siguientes actividades:

- Actividades forestales: cultivos energéticos de corta rotación, tratamientos selvícolas en los bosques, restos de podas, aclareos o cortas finales, carbón vegetal, etc.
- Actividades agrarias: cultivos energéticos como el sorgo o el cardo, restos de poda de vid, olivo o frutales, etc.
- Actividades industriales: restos de la industria de madera y mueble y de la industria agroalimentaria como cáscara de frutos secos, huesos de aceituna, orujillo, etc.

Aunque desde los tiempos más remotos de la humanidad los biocombustibles sólidos fueron, y todavía lo siguen siendo, utilizados directamente como fuente energética, la utilización moderna de los mismos requiere de acondicionamientos especiales. Por este motivo las principales formas de utiliza-

ción actuales entre los materiales de origen forestal son las siguientes:

- La **astilla** permite una mayor movilidad en el transporte, ya que su volumen es menor que el de la materia prima en bruto de la cual proviene. El problema que presenta la astilla es que posee una mayor humedad y superficie específica inferior a la de otros productos.
- El **pellet**, es un biocombustible que procede de la transformación de residuos de materiales sólidos orgánicos y que se caracteriza por ser altamente densificado (1.000-1.200 kg/m<sup>3</sup>) y de pequeño tamaño (6-12 mm de diámetro y longitudes de 10-30 mm).
- La **briqueta** es un material lignocelulósico compactado. Se presenta como un cilindro de 5 a 13 cm de diámetro y una longitud de entre 5 y 30 cm. La densidad es elevada y varía entre 800 y 1.300 kg/m<sup>3</sup> en función del proceso de producción realizado.
- El **carbón vegetal** procede de la combustión incompleta de restos vegetales. El proceso tecnológico seguido para la obtención de carbón vegetal (pirólisis) es una combustión incompleta de la biomasa en ausencia de oxígeno, a unos 500 °C.



SE DENOMINAN CULTIVOS ENERGÉTICOS al conjunto de actividades realizadas en terrenos agrícolas o forestales destinadas a la cosecha y producción de material vegetal que va a ser utilizado para la generación de energía como producto final o en procesos de conversión que proporcionan, además, otros productos distintos a los energéticos. El término se emplea también para referirse al conjunto de las especies vegetales que se cultivan en este tipo de explotaciones.

Además de su creciente importancia en la demanda energética, los cultivos energéticos pueden contribuir a dar salida a cientos de miles de hectáreas abandonadas o que podrían serlo por la bajada de precios de los productos primarios, y la fuerte competencia con otros países. En Galicia, por ejemplo, puede ser una posibilidad a emplear en la gran superficie rasa o inculta de numerosos montes, lo que permitiría diversificar las fuentes de ingreso, disminuir el periodo de retorno de la inversión y conseguir un ingreso sostenido.

En función del destino de la producción, los cultivos energéticos se pueden encuadrar en distintos grupos: los destinados a la producción de alcoholes, los destinados a la producción de aceite transformable en biodiésel para la sustitución del gasóleo de automoción (se están utilizando cultivos de colza para esta finalidad en los países del centro y norte de Europa y otros cultivos como el girasol para países mediterráneos) y los lignocelulósicos destinados a la producción de biocombustibles sólidos utilizables con fines térmicos, para calefacción, usos industriales, producción de electricidad o para biocarburantes de segunda generación.



Cultivos alcoholígenos para la producción de bioetanol	
Tipo de cultivo	Especies aptas
CONVENCIONAL (materias primas agrícolas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>█ Cereales (trigo, maíz, cebada...)</li> <li>█ Remolacha</li> <li>█ Caña de azúcar</li> </ul>
CULTIVOS ALTERNATIVOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>█ Sorgo sacarino</li> <li>█ Patata</li> <li>█ Chumbera</li> </ul>
Cultivos oleaginosos para la producción biodiésel	
CONVENCIONAL (materias primas agrícolas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>█ Colza</li> <li>█ Girasol</li> <li>█ Soja</li> <li>█ Palma</li> </ul>
CULTIVOS ALTERNATIVOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>█ Jatrofa</li> <li>█ Cardo</li> <li>█ Ricino</li> <li>█ <i>Brassica carinata</i></li> </ul>
Cultivos lignocelulósicos para la producción de biocombustibles sólidos	
LEÑOSOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>█ Eucalipto</li> <li>█ Chopo</li> <li>█ Sauce</li> <li>█ Acacia</li> <li>█ Caña</li> </ul>
HERBÁCEOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>█ <i>Miscanthus</i></li> <li>█ <i>Phalaris arundinacea</i></li> <li>█ Cardo</li> <li>█ Sorgo forrajero</li> <li>█ <i>Panicum virgatum</i></li> </ul>

En los cultivos lignocelulósicos que producen este tipo de biomasa se emplean especies leñosas de rápido crecimiento o herbáceas perennes de alta producción. Entre las especies leñosas podemos destacar al eucalipto, chopo, sauce, robinias o acacias. Estas especies se pueden plantar en altas densidades de 10.000 a 20.000 plantas por ha y con turnos de corta de 1-6 años, aprovechando la capacidad del rebrote para continuar la plantación en años sucesivos.

La productividad que se puede obtener con estos cultivos debería ser en torno a 5-20 toneladas de materia seca por ha y año.

LAS ESPECIES ESTUDIADAS en el marco del proyecto ECAS son aptas para la producción de biocarburantes o biocombustibles sólidos. En este apartado se presenta información sobre la botánica, ecología, cosecha productividad y costes de implantación y manejo de cada una de las especies experimentadas en distintas localizaciones gallegas.

Durante la realización del proyecto en Galicia se han establecido los principales condicionantes geológicos, edáficos, climáticos y de disponibilidad de agua para cada especie estudiada. El tratamiento de la información cartográfica disponible de estos condicionantes mediante SIG ha permitido ofrecer una orientación sobre la aptitud de Galicia para el cultivo de estas especies.

## Cardo

El cardo (*Cynara cardunculus* L.), perteneciente a la familia de las Compuestas (*Asteraceae*), es una especie herbácea perenne, es decir, que vive más de dos o tres años.

Posee un sistema radicular pivotante y profundo, formado por varias raíces principales originadas a partir de la raíz inicial que puede alcanzar varios metros, pudiendo llegar a longitudes superiores a los 4,5 m al final del primer año de crecimiento.

Las hojas de la roseta basal son muy grandes, tomentosas, de color verde en el haz y blanquecinas en el envés. En las poblaciones silvestres el carácter espinoso puede ser muy acusado. Al final de la primavera se desarrolla un tallo, que es un "escapulo floral" que puede alcanzar alturas superiores a 2,5 m. En el extremo del tallo principal y de las diferentes ramas se desarrolla una inflorescencia de tipo capítulo, de forma globo-



sa de unos 5-8 cm de diámetro. Los frutos a los que comúnmente se denominan semillas son alargados de 6-8 mm de longitud y 3-4 mm de ancho.

## Fines energéticos

El cardo es una especie que se puede emplear para distintos fines energéticos, básicamente:

- Producción de biodiésel: mediante la recolección del grano producido por la planta y la posterior extracción y tratamiento de su aceite, sirve de materia prima para la producción de biodiésel.
- Producción térmica o eléctrica: el uso de la biomasa seca producida tras su cultivo, con o sin semilla, sirve para su uso en la producción de calor o electricidad.

## Ciclos de desarrollo

En el ciclo natural del cardo, la semilla se produce y se disemina en el verano, germina en otoño cuando las condiciones de humedad y temperatura son favorables, formando una roseta basal que se va desarrollando hasta la primavera. A mediados o finales de primavera se desarrolla un tallo de 1 metro de altura con varios capítulos que se secan al final del verano, permaneciendo vivas las raíces y yemas remanentes. Las plantas continúan su crecimiento en otoño, invierno y primavera para completar el primer ciclo el año siguiente.

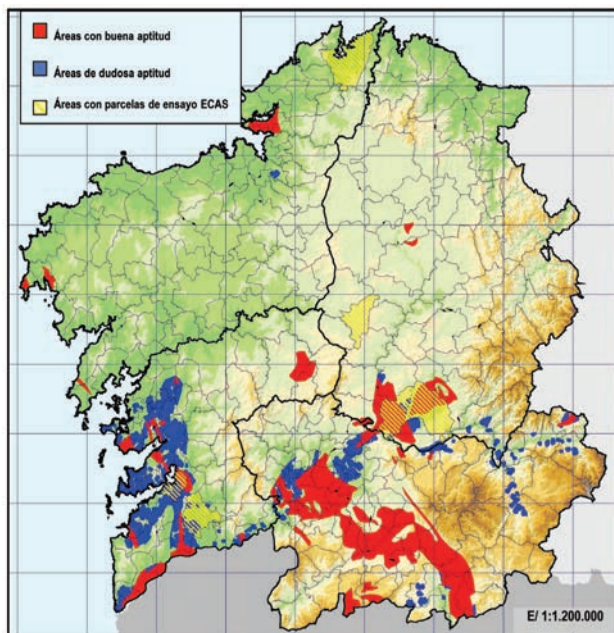
A principios de otoño, varias de las yemas de recambio (de 2 a 4 normalmente) que quedan en la base del tallo, brotan con fuerza formando una nueva roseta de hojas que se desarrollan más rápidamente que en el ciclo inicial. Éstas se siguen desarrollando durante el otoño, invierno y primavera y posteriormente se forma un nuevo tallo floral de hasta 2,5 m.

## Ecología del cardo

En estado de plántula es bastante sensible a las heladas, aumentando considerablemente la resistencia al frío cuando se encuentra en estado de roseta. Por este motivo se debe plantar de 2 a 3 meses antes de las primeras heladas. Para un buen desarrollo de las plantas, las precipitaciones durante los meses de otoño hasta primavera deben ser superiores a 450 mm. Con menos precipitaciones las producciones bajan significativamente.

Esta especie requiere suelos ligeros y profundos, de naturaleza caliza y con capacidad de retención de agua en el subsuelo. Tolerancia mal el encharcamiento y no es muy sensible a la pedregosidad.



Áreas de aptitud del cardo (*Cynara cardunculus*)

## Distribución potencial en Galicia

Los principales condicionantes ambientales que se han manejado para definir las áreas aptas de distribución teórica del cultivo del cardo en Galicia son los siguientes: suelos terciarios y cuaternarios profundos, aireados pero habitualmente con capa freática en profundidad y con un clima más mediterráneo, con déficit hídrico mayor de 100 mm. Se han considerado zonas dudosas las áreas de viñedo.

Las zonas que se mostraron más aptas para este cultivo en Galicia son las comarcas orensanas de A Limia y Verín, así como las del sur de Lugo como Terras de Lemos o Chantada.

## Sistema de cultivo

## Preparación del terreno para la siembra

Previamente a la implantación del cultivo se recomienda hacer un abonado de fondo adecuado y en los años sucesivos efectuar abonados de restitución en función de los nutrientes exportados con la cosecha. Se pueden emplear para esto purines o compost. En caso del que el terreno tenga suelo de labor o esté excesivamente compactado es interesante efectuar un subsolado para facilitar la penetración de las raíces.

Con una labor de vertedera se efectúa el alzado de la cosecha anterior y posteriormente se hace un pase de cultivador o grada para preparar el terreno para la siembra.

## Siembra

Generalmente se realiza la siembra en otoño para que la roseta dé hojas y se desarrolle antes de que llegue el período de heladas. En las zonas con heladas otoñales muy tempranas se puede plantar en primavera, tan pronto haya terminado el riesgo de heladas, llegando al verano en estado de roseta y creciendo posteriormente en el otoño.

Se utiliza sembradora de precisión, sembrando en líneas separadas entre sí 75-80 cm. La separación entre plantas es variable según la densidad final buscada. La densidad final óptima es entre 15.000 y 25.000 plantas por ha en función de la frescura y déficit hídrico. La profundidad de siembra de las semillas varía entre 2 y 4 cm. Es aconsejable dar un pase de rulo posterior a la siembra.

## Control de malas hierbas, plagas, ataques o enfermedades

Es muy importante que tras la siembra y antes de la emergencia del cultivo se realice un tratamiento herbicida. El cardo en la nascencia tiene una sensibilidad a los herbicidas parecida a la del girasol. En años posteriores el alto desarrollo de la roseta reduce la aparición de malas hierbas.

Durante el ciclo de vida del cultivo puede ser necesaria la aplicación de productos químicos contra determinadas plagas, ataques o enfermedades. En caso de producirse es conveniente consultar la bibliografía existente.

## Cosecha

Existen diversos métodos de efectuar la recogida de la cosecha según se quiera recoger toda la biomasa existente en la parcela o bien si se prefiere seleccionar el grano del resto de la planta.



## 06 Especies estudiadas como cultivos energéticos



La forma más económica consiste en segar la planta lo más abajo posible y empacar la biomasa directamente, sin triturarla, mediante una rotoempacadora. Si se utiliza una segadora de tambores, la biomasa queda hilerada en el suelo, con los tallos alineados en la hilera, dispuesta para ser empacada tan pronto tenga la humedad adecuada (15% o menos). Si la segadora no deja los cardos hilerados, habría que dar un pase con un rastrillo hilerador antes de proceder al empacado.

Se pueden emplear también segadoras desgranadoras con frente de trigo o maíz que permite el aprovechamiento del grano para producción de biodiésel.

### Productividad y costes

La productividad del cardo se ve condicionada por las precipitaciones, especialmente por el régimen de lluvias en primavera. En zonas donde se superan los 450 mm se alcanza una productividad de 20 t/ha al 15% de humedad. Si las precipitaciones son del orden de 300 mm la productividad desciende significativamente hasta el orden de 6 t/ha. En diversos ensayos realizados en el marco del proyecto ECAS se pudo comprobar que la producción realmente aprovechable mediante una recolección mecanizada se sitúa entorno a las 10 t/ha al 15%, si bien en algunas parcelas descendió a 5,3 t/ha.

Los costes de instalación del cultivo varían lógicamente en función de múltiples factores, pero con un esquema de instalación como el aquí reflejado los costes de implantación del cardo son de 400-500 €/ha, muy influenciados por el tipo de fertilización. Los costes anuales de mantenimiento son de 200 €/ha.

Los costes de recolección son también variables en función del método de cosecha escogido y de la maquinaria empleada. El coste medio de este proceso es de 180 €/ha.

### Ventajas e inconvenientes del cultivo del cardo

Las principales ventajas del cultivo del cardo son las que a continuación se reflejan:

- Se adapta muy bien a condiciones de clima mediterráneo con poca exigencia de agua.
- Cultivo permanente para secano, con aproximadamente 15 años de duración del cultivo una vez instalado con cortes anuales.
- Cosecha en períodos diferentes a otros cultivos.
- Escasos costes de mantenimiento.
- No es necesario el empleo de maquinaria específica.
- Producciones medias de entre 10 y 15 t/ha al 15% de humedad.
- No compete con fines alimentarios.
- Las comarcas gallegas con buena aptitud para el cultivo tienen alta vocación agraria y el tamaño medio de las parcelas es mayor que en otras comarcas.

Como inconvenientes destacan:

- Menor producción por hectárea de aceite para biodiésel que otros cultivos como el girasol o la colza.
- Menor rentabilidad actual del cultivo frente a otros ya presentes en las comarcas gallegas como patata o trigo para fines distintos al energético.
- Las zonas óptimas para el cultivo en Galicia son escasas.

### Sorgo

El sorgo, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, pertenece a la amplia familia de las gramíneas. Se utiliza principalmente para la obtención de forrajes y para la producción de grano con destino a la alimentación animal. Además, proporciona almidones, dextrinas, dextrosa y aceite para otros fines industriales.

La planta de sorgo alcanza una altura de entre 1 y 2 metros. Posee un sistema radicular potente y desarrollado, que profundiza en el suelo hasta los 1,5-2 metros. El tallo es erguido, con un número de hojas que varía entre 5 y 24. Las hojas son estrechas, con nervios paralelos y relativamente largas (30-100 cm). Posee una vaina más larga que los entrenudos a los que cubre y rodea completamente. Las flores se presentan en inflorescencias de tipo panícula. Las semillas son esféricas, con diámetro comprendido entre 3 y 6 mm.



### Fines energéticos

El sorgo, además de fines como el forrajero, se emplea para los siguientes fines energéticos:

- Producción de bioetanol: mediante la extracción y procesado de los azúcares contenidos en el tallo de la planta.
- Producción térmica o eléctrica: el uso de la biomasa seca producida tras su cultivo sirve para su uso en la producción de calor o electricidad, si bien existen cultivos más productivos en biomasa seca por hectárea.

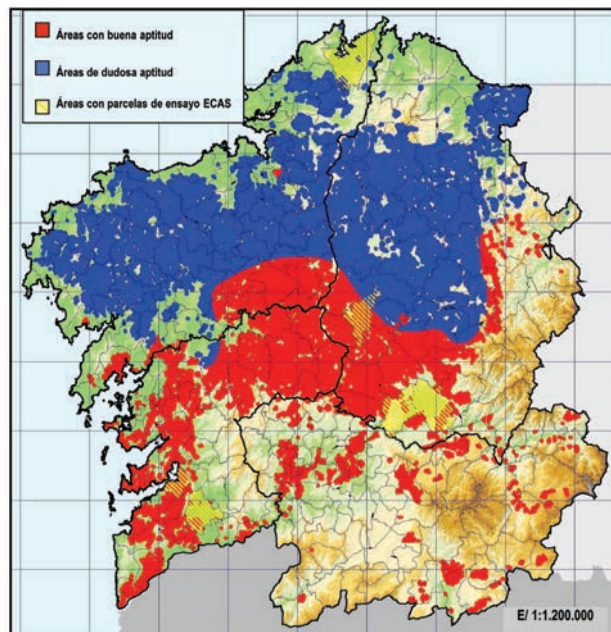
### Ecología

Edáficamente esta especie prefiere suelos profundos, poco pesados y bien drenados, sin capas endurecidas, con buena fertilidad y pH entre 6,2 y 7,8, aunque se adapta a la mayor parte de los suelos existentes. Se desarrolla bien en suelos alcalinos, especialmente las variedades azucaradas que requieren carbonato cálcico para aumentar su contenido en sacarosa en tallos y hojas. Resiste muy bien las altas temperaturas y la falta de humedad y es capaz de aguantar largos períodos sin agua y reiniciar su crecimiento cuando termine la sequía. Tolerancia mejor la sequía y el exceso de humedad en el suelo que la mayoría de los cereales.

Requiere un mínimo de precipitaciones de 250 mm durante su ciclo para llegar a producir grano, pero para lograr altas produc-



### Áreas de aptitud del sorgo (*Sorghum bicolor*)



ciones el requerimiento de agua varía entre 450 y 600 mm en función del ciclo de la variedad y de las condiciones ambientales.

Por ser una especie de origen tropical requiere para germinar temperaturas entre 10 y 13 °C, por lo que su siembra se suele hacer 3 o 4 semanas después del maíz. La temperatura ideal para su desarrollo está en torno a los 30 °C.

### Distribución potencial en Galicia

Los principales condicionantes que se han manejado para definir las áreas aptas de distribución teórica del cultivo del sorgo en Galicia son los siguientes: zonas dedicadas a pastizal (forraje), con topografía suave y capacidad de retención de agua en el suelo en las zonas de más eficacia térmica estival ( $C > 50\%$ ).

Existen multitud de zonas en Galicia con buena aptitud para el cultivo del sorgo.

### Sistema de cultivo

#### Preparación del terreno para la siembra

Primeramente se realizará un alzado profundo con arado de vertedera, seguida de un pase superficial de grada. De no ser suficiente se aplicará un rotovator o similar para conseguir un terreno fino, desterronado y sin costra superficial. Estas labores se deben realizar antes de sembrar para lograr que la tierra absorba bien la humedad.



Inmediatamente antes de proceder a la siembra se vuelve a realizar otra labor de grada para eliminar las malas hierbas.

### Siembra

Para sembrar se emplean las mismas máquinas sembradoras que para el maíz, con la correspondiente modificación en los platos distribuidores, ya que la semilla del sorgo es de menor tamaño que el maíz. La siembra debe realizarse en primavera con una profundidad no superior a 30 cm en terrenos arcillosos y hasta 5 cm en terrenos sueltos y arenosos.

La densidad de las plantas recomendada es de 20-30 plantas por m<sup>2</sup> con una separación entre líneas de 25-30 cm.

### Escarda química y riego

El sorgo es una planta muy sensible a la acción de los herbicidas, siendo el momento más oportuno para aplicarlos la fase de pre-emergencia. Los herbicidas con mejor resultado son las triazinas.

No necesita grandes aportes de agua, debido a su sistema radicular. Sin embargo, las precipitaciones escasas, inferiores a 450 mm anuales provocan una disminución en la producción del cultivo. El momento en el que no debe existir ausencia de agua es desde el momento de aparición de las panículas hasta el final del estado lechoso del grano.

### Cosecha

La cosecha del sorgo es sencilla. En grandes extensiones se realizará mediante el empleo de una máquina cosechadora, generalmente igual a la empleada para el trigo o la cebada. El perio-

do apropiado de la recolección es al final del verano, cuando el grano se encuentre en un estado lechoso-pastoso.

### Productividad y costes

Diversos estudios realizados con sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench ssp. *Saccharatum*) variedad India, por la Universidad de Évora dentro del proyecto ECAS, demuestran que con riego de 450 mm en una plantación con 10 plantas/m<sup>2</sup> se obtiene la máxima producción de materia seca de tallos, siendo de 17 t/ha, frente a una producción de 12 t/ha para riegos de 250 mm. La producción de azúcar, y por tanto de etanol, también es superior con riegos de 450 mm (2.560 l etanol/ha) frente a riegos de 250 mm (2.230 l etanol/ha).

Cuando se analizan diferentes variedades de sorgo sacarino con riegos de 450 mm se obtienen diferencias sustanciales, estando la producción de etanol en márgenes de entre 2.300 y 3.100 l/ha. De todas formas, las cifras están lejos de otras plantaciones realizadas que ofrecen cifras de 7,4 t de azúcar por ha de plantación de sorgo en Madrid o 11,7 en Badajoz según Jesús Fernández (2004). Con estas productividades se obtendría del orden de 3.500 a 6.000 t de etanol/ha.

Los costes de instalación realizando la instalación anteriormente mencionada y aportando 350 kg de abono 15-15-15 y un posterior complemento nitrogenado, son del orden de 450-500 €/ha.

Los costes de recolección empleando una máquina cosechadora suponen entre 210 y 240 €/ha.



### Ventajas e inconvenientes del sorgo

Las principales ventajas del sorgo sacarino como cultivo son las siguientes:

- Se puede emplear el bagazo para aplicaciones térmicas o eléctricas.
- No es necesario el empleo de maquinaria específica.
- Es un cultivo alternativo al empleo de cereales (trigo, maíz, etc.) para la producción de etanol.
- Amplias áreas en la geografía gallega con aptitud para su cultivo.

Como inconvenientes destacan:

- Mala capacidad de conservación de los tallos almacenados.
- Demanda el mismo tipo de terrenos que los cultivos cerealistas y forrajeros, compitiendo por tanto con cultivos para la alimentación humana o animal.
- Menor rentabilidad actual del cultivo frente a otros ya presentes en las comarcas gallegas como trigo, maíz, etc. para fines de alimentación humana o animal.

### Caña

La caña, *Arundo donax* L., es una especie vegetal de procedencia asiática, siendo en nuestros días una especie cosmopolita que se encuentra en zonas templadas, tropicales e intertropicales del globo.



Pertenece a la familia de las *Poaceae*, es una planta herbácea vivaz que puede llegar a alcanzar una altura de 8 m, aunque normalmente su altura suele ser de 5-6 m. El tallo es de color amarillo brillante, robusto, de 3 cm de diámetro, y se vuelve leñoso a partir del segundo año. Posee rizomas largos, gruesos y muy ramificados. Las cañas se ramifican en los nudos bajos a partir del segundo o tercer año, a costa de reducirse o cesar el crecimiento en altura.

Las hojas son anchas, largas, lineales, con orejuelas y una vaina que envuelve el tallo en una gran parte. Son de borde áspero y de color verde. Las espiguillas son pequeñas, agrupadas formando unha panícula laxa, oblonga, de color verde violáceo, que luego se vuelve grisácea y persiste todo el invierno, muy contraída. Florece a finales del verano y durante el otoño.

### Fines energéticos

Desde el punto de vista energético el uso principal de la caña es la producción de calor o electricidad mediante su combustión, también podría llegar a emplearse para la producción de biocombustibles de segunda generación, que utilizan material lignocelulósico como materia prima.

### Ecología

La caña apareció de forma natural en Galicia en riberas, vaguadas, bordes de acequias y lagunas. A menudo se encuentra en dunas arenosas o terrenos próximos a la costa.

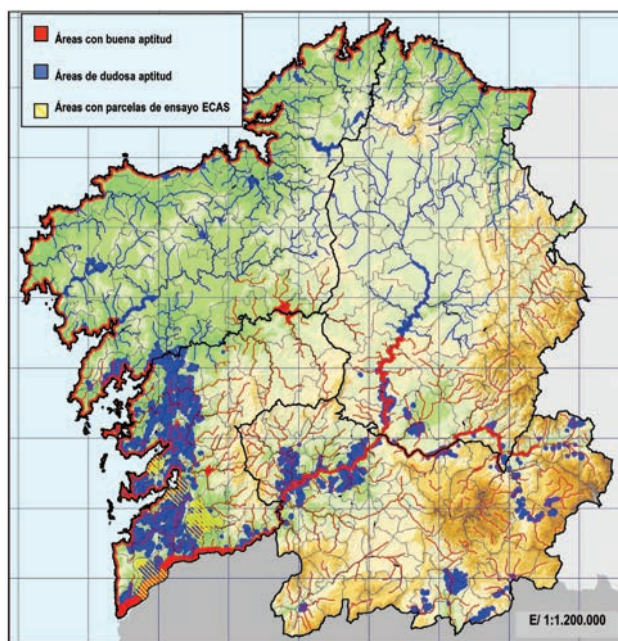
Indiferente respecto a la naturaleza del suelo, tolera desde suelos arcillosos pesados a arenas sueltas y suelos guijarrosos, requiere que el substrato tenga agua dulce (saturación en el período vegetativo o abundante reserva de humedad accesible). Le gustan los suelos muy profundos con elevada humedad pero sin encharcamiento superficial, por lo menos en el período vegetativo, con un aporte hídrico permanente por una capa freática a la que accedan las raíces con cierto aireamiento de la parte alta del perfil, es decir, no puede haber sequía edáfica.

La caña común tolera precipitaciones anuales de 300 a 4.000 mm y temperaturas anuales de 9 a 28,5 °C y suelos con pH de 5,0 a 8,7. Su crecimiento se ve muy favorecido por la disponibilidad de agua, siendo en terrenos pobres y secos muy escasa.

Existen diversas especies forestales que son indicadoras de terrenos aptos son para la caña, como pueden ser los del género *Fraxinus*, *Populus*, *Salix*, *Sambucus* o *Rubus*.

## 06 Especies estudiadas como cultivos energéticos

### Áreas de aptitud de la caña (*Arundo donax*)



### Distribución potencial en Galicia

Los principales condicionantes que se han manejado para definir las áreas aptas del cultivo del sorgo en Galicia son los siguientes: zonas de influencia de ríos, 50 metros a cada lado desde el eje central de los mismos con la finalidad de conseguir suelos frescos y profundos con un gran contenido en nutrientes, todo ello dentro de la zona de más calor de verano. En segundo lugar se añadió otro piso de información de tres kilómetros en el tramo bajo del río Miño, que al igual que los anteriores se trata de suelos aluviales con gran contenido en nutrientes y con abundante humedad, clima excelente para la especie y donde se observa una abundante presencia. Esta información se completó con toda la franja costera de Galicia realizando otro piso de información de mil metros hacia el interior de la misma, caracterizada por un ambiente termófilo marítimo en la que vegeta muy bien esta especie, sobre todo en las áreas con presencia de arenas y suelos sedimentarios, presentes en gran parte de la costa. En las tres zonas destaca la bondad del clima, que tanto favorece a esta especie termófila dentro de la región gallega.

Como zonas dudosas se escogieron las zonas de viñas, ya que son zonas de clima más suave y cálido, además de predominar suelos de buenas condiciones para el cultivo: sueltos, con abundante materia orgánica y que gozan de las mejores orientaciones. Además coincide con la zona de más expansión de la caña,

por ser de interés para sujección de las vides en el sistema de cultivo tradicional de parra.

### Sistema de cultivo

La caña puede ser instalada de diferentes formas. Las principales son las siguientes:

- Mediante reproducción vegetativa. Para ello se deben plantar en el terreno los tallos, bien sean los nudos o el tallo entero, y así se consigue la implantación del cultivo. Previamente se debe realizar un arado del terreno con líneas separadas 90 cm entre sí. Posteriormente se realiza el soterramiento de los tallos entre 20 y 40 cm de profundidad para que a partir de ahí se instale el cultivo.
- Mediante su reproducción por rizomas. La planta es capaz de ir ocupando más superficie a partir de la colonización que efectúa su sistema radical. Este sistema de propagación no es válido para instalar un nuevo cultivo, pero sí para aumentar la extensión de un cultivo ya instalado.
- Favoreciendo la colonización natural de la semilla transportada por el viento que termina germinando en una determinada ubicación. Este método o el de la siembra no se emplea para su instalación en régimen de producción

### Productividad y costes

De los sistemas de reproducción antes mencionados, el más común es mediante reproducción vegetativa a partir del tallo de la planta. Sin embargo, presenta el inconveniente del alto coste





que tiene su primera instalación al ser un trabajo que permite una escasa mecanización y requiere mucha mano de obra.

Diversos ensayos realizados en el marco del proyecto ECAS reflejan costes productivos de 650-700 €/ha en los que se incluye la preparación del terreno, plantación y fertilización, lo que supone un coste relativamente elevado. Los costes anuales de mantenimiento, con aportaciones pequeñas de fertilizante se sitúan entre 170 y 200 €/ha.

Las productividades medidas son muy variables en función de la disponibilidad hídrica. Por ese motivo, en zonas de precipitaciones escasas del orden de 400 mm anuales se obtienen producciones del orden de 5 t materia seca por hectárea y año. Con precipitaciones menores llegan a impedir un correcto desarrollo del cultivo. En terrenos óptimos para la especie, como se dan en determinadas ubicaciones en Galicia, se llegaron a obtener productividades de 35 t/ha año.

### Ventajas e inconvenientes del cultivo de la caña

El cultivo de la caña a gran escala presenta las siguientes ventajas:

- Es un cultivo perenne que una vez instalado puede dar producciones durante más de 15 años, con una elevada capacidad de reproducción vegetativa.
- Bajo coste de mantenimiento anual.
- Tiene una fácil mecanización en las labores de cosechado.
- Su productividad en terrenos aptos es muy elevada.

Como principales inconvenientes hay que destacar:

- Sus costes de instalación son elevados al ser escasamente mecanizables.
- Puede sufrir frecuentes daños por caballos, vacas, etc.
- En Galicia su mejor adaptación se produce en terrenos de gran valor para cultivos más rentables como la vid, o de gran presión urbanística.
- Los terrenos de mejor adaptación para esta especie en Galicia se caracterizan por su elevado minifundismo y su escasa vocación agraria.
- Impacto paisajístico del cultivo, asociándose a zonas marginales y en estado de abandono.
- Escasas posibilidades de empleo en terrenos de vocación forestal.



### Eucalipto nitens

El eucalipto nitens, *Eucalyptus nitens* Maiden, es una mirtácea originaria de Australia que ha sido introducida en Galicia en tiempos recientes por su alto crecimiento en condiciones adversas de frío y de suelos.

Su corteza tiene una coloración que puede ser gris marronácea, blanca o amarillenta y se puede separar del tronco en tiras. Presenta acusadas diferencias entre las hojas jóvenes y las adultas: las hojas jóvenes presentan una disposición opuesta. El borde es entero, con verde grisáceo (glauca), sésiles de 17 cm de longitud y 8 mm de ancho. Las adultas tienen una disposición alterna, son lanceoladas, acuminadas, inclinadas o patentes, de color verde lustrosas, gruesas de 15-25 cm de longitud y de ancho entre 1,5-2 mm.

Las inflorescencias se encuentran en umbelas (en grupos de 7), pedúnculos estrechos planos o angulosos (de 3 mm de ancho), de 6-15 mm de longitud. Las flores son ovoides o cilíndricas, glaucas y pruinosas, de 5-7 mm de longitud y de 3-4 mm de diámetro. Las flores son blancas o color crema. Posee un opérculo en forma de cono, que se encarga de la protección de las flores.

Los frutos son cilíndricos u ovoides, sésiles, de pequeño tamaño con 4-7 mm de longitud y 4-6 mm de diámetro. Granos bimórficos, lineales o cúbicos.

## 06 Especies estudiadas como cultivos energéticos

Comparación de condiciones climáticas para distintos eucaliptos

Especies	Temperatura media máx del mes más cálido	Temperatura media mín del mes más frío	Temperatura mínima absoluta	Precipitaciones anuales	Días de helada
<i>E. globulus</i>	18-23 °C	4 °C	-4 °C	500-1.500 mm	0-5
<i>E. nitens</i>	21-24 °C	-2+2 °C	-10 °C	750-1250 mm	50-150
<i>E. delegatensis</i>	21 °C	0 °C	-9 °C	2500-3500 mm	10-100
<i>E. obliqua</i>	27-32 °C	2 °C	-9 °C	2500-3500 mm	10-100
<i>E. dalrympleana</i>	27 °C	0 °C	-11 °C	875-1400 mm	20-100

Esta especie se caracteriza entre otras cosas por poder alcanzar grandes dimensiones al poder llegar a alturas entre 40-60 m aproximadamente (puede llegar a tener 90 m) y diámetros de hasta 1-2 m.

### Ecología

Mientras que las bajas temperaturas y las heladas constituyen las principales limitaciones para el cultivo de *E. globulus* en Galicia, soportando difícilmente más de 10 días de heladas al año, *E. nitens* es resistente al frío, soportando heladas de hasta -12 °C y más de 50 días de helada e incluso nevadas. *E. nitens* también parece mejor adaptado para resistir los ataques del

goníptero, cuyos daños sobre *E. globulus* en estaciones adversas han sido muy perjudiciales.

Además de soportar temperaturas muy bajas, el eucalipto *nitens* también puede vivir en terrenos áridos y secos. En cuanto a la pluviosidad necesita entre 750 y 1.250 mm en 90-140 días, aguanta nevadas de moderadas a fuertes, con un número de heladas desde 50-90 llegando incluso a 122 días.

Puede soportar suelos desde arcillosos, limosos húmedos, podsoles, permeables, etc. Aunque su óptimo son suelos bien drenados y moderadamente fértiles.

### Distribución en Galicia

Esta especie parece más adaptada a las condiciones de las comarcas interiores de Galicia como son la Meseta Central y la Montaña Nororiental, mostrando buenos crecimientos en ensayos realizados en la Terra Chá y Fonsagrada. Para *E. nitens* se marcan unos límites de altitud entre 600-1.200 m.

### Sistema de cultivo

#### Control de la vegetación de competencia

El objetivo de la eliminación del matorral previa a la plantación es conseguir que la planta tenga la menor competencia posible durante los dos primeros años, tanto por los nutrientes del suelo como por la luz. Cuanto mejor sea la calidad del terreno mayor interés hay que poner en el control previo de la vegetación de competencia y en el posterior a la plantación, puesto que la calidad de estación beneficiará tanto a los eucaliptos como a otras plantas competidoras.

El desbroce se puede realizar mediante diversos métodos: mecánico, manual o químico. Es preferible la utilización de medios mecánicos ya que reducen los costes frente a los otros métodos.





### Preparación del terreno

Uno de los trabajos más importantes en la plantación es la correcta preparación del terreno para permitir un buen desarrollo de la planta. Según sean las características del terreno se realizarán subsolados lineales en profundidad o acaballonados para facilitar la instalación de las plantas.

### Plantación

La plantación de esta especie se realiza entre octubre y principios de marzo y generalmente se realiza de forma manual.

El marco de plantación es variable en función de la finalidad perseguida. Cuando la finalidad es el cultivo energético se emplean marcos de plantación de 1x0,5 m, 1x1 m, 2x1 m, si bien es necesario profundizar todavía más en el estudio del marco óptimo con el fin de abaratar costes de instalación y seguir obteniendo el máximo de producción. Se debe tener en cuenta que el máximo de producción de la especie se sitúa entre los 5 y los 10 años.

Durante la plantación es importante la realización del abonado para potenciar el crecimiento y desarrollo de la planta. El tipo de abono que se suele utilizar son abonos complejos 8-24-16 (N, P, K) en presentación granulada.

### Costes y productividad

Dentro del proyecto ECAS se evaluaron parcelas de *E. nitens* ya instaladas, con diferentes ubicaciones, edades y densidades. Básicamente se distinguieron dos grupos de parcelas:

El primer grupo incluye parcelas con marco aproximado de 3x3 m. En este grupo la silvicultura que se aplica es básicamente para la producción de madera para la industria de pasta de papel o para la industria del tablero.

En el segundo grupo se incluyeron parcelas plantadas con alta densidad de modo experimental. El marco de plantación es de 1,0x0,5 m y están situadas en el término municipal de As Pontes, en A Coruña. Estas parcelas podrían considerarse como muestras piloto de cultivo energético con esta especie, destinada a la producción de biomasa forestal primaria.

#### Grupo 1: parcelas de baja densidad

A partir de una tarifa de cubicación, desarrollada por la Universidad de Santiago de Compostela, cuyos autores son J. J. Lorenzo y J. G. Álvarez, se ha procedido al cálculo del volumen de árboles individuales. Se han medido parcelas en los términos municipales de As Pontes y Brión en A Coruña y Guitiriz, Orol, Cervo, Riotorto y Meira en la provincia de Lugo.

Producción y crecimiento de <i>E. nitens</i> en parcelas de baja densidad								
PARCELA	Edad	Nº inicial	Nº actual	D medio	H media	Vcc	Vsc	Cm
	años	pies/ha	pies/ha	cm	m	m³/ha	m³/ha	m³/ha año
Chamosa 1	5	953	764	15,24	12,03	96,09	83,41	19,22
Chamosa 2	5	953	700	15,14	11,99	83,97	72,99	16,79
San Salvador 1	6	1111	955	15,80	12,26	121,59	101,35	20,27
San Salvador 2	6	1111	923	14,93	11,90	108,44	93,88	18,07
A Cenlla 1	11	1111	956	16,60	15,74	163,44	146,94	14,86
A Cenlla 2	11	1111	987	17,74	16,77	187,69	168,79	17,06
A Fraga 1	8	1111	1019	19,53	18,27	229,34	207,03	28,67
A Fraga 2	8	1111	1019	19,06	17,89	221,34	199,82	27,67
Deveso 1	7	1333	796	13,52	12,56	89,97	80,05	12,85
Deveso 2	7	1333	1114	14,53	13,67	149,59	133,45	21,37
Garita 1	5	1667	1114	11,47	10,01	90,14	79,67	18,03
Garita 2	5	1667	1114	11,44	9,97	90,03	79,62	18,01
Garita pequena 1	5	1667	1432	11,71	10,09	113,80	100,63	22,76
Garita pequena 2	5	1667	1305	14,05	13,15	159,80	142,44	31,96

D medio = diámetro medio; H media = altura media; Vcc = volumen con corteza; Vsc = volumen sin corteza; Cm = Crecimiento medio

## 06 Especies estudiadas como cultivos energéticos

Los datos de crecimientos difieren bastante de unas parcelas a otras, incluso encontrándose parcelas próximas entre sí, esto es debido principalmente a diferencias altitudinales y a la profundidad de suelo, que favorecen o desfavorecen el crecimiento del eucalipto y que dan lugar a un mayor o menor porcentaje de marras. Se puede ver que en todos los casos el crecimiento medio se mueve en una horquilla entre 15 y 32 m<sup>3</sup> con corteza/ha/año.

Los costes de instalación de este cultivo, siguiendo el esquema silvícola tradicional –desbroce, preparación del suelo, abonado localizado y plantación–, varía entre 1.000 y 1.400 €/ha.

### Grupo 2: Parcelas de alta densidad

Estas parcelas forman parte de un estudio dirigido por el profesor Felipe Macías de la Universidad de Santiago de Compostela (USC) acerca de *E. nitens*, están ubicadas en Xermade. Estas parcelas tienen un marco de plantación 1x0,5 m.

Para el cálculo de las alturas se realizó una regresión altura-diámetro igual que en el caso anterior. El cálculo del volumen a partir de la ecuación proporcionada por la USC que se indicó anteriormente presenta errores inaceptables al no ser una fórmula representativa para árboles de diámetros tan escasos. Por este motivo, se realizó un apeo de árboles y una medición diametral a lo largo de todo el fuste del mismo. A partir del volumen cubicado por trozas de todos los árboles tipo se realizó una regresión entre el diámetro normal de los árboles y el volumen de las mismas, obteniéndose una regresión muy precisa.

El volumen con corteza existente en las parcelas objeto de evaluación muestra en la siguiente tabla.



Producción y crecimientos de *E. nitens* en parcelas de alta densidad

PARCELA	Edad	Nº inicial	D medio	H media	Vcc	Cm
	años	pies/ha	cm	m	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha año
Momán A-1	3	20.000	2,66	3,98	32,59	10,86
Momán A-8	3	20.000	3,09	4,31	42,01	14,00
Momán A-12	3	20.000	3,17	4,38	43,86	14,62
Momán B-5	3	20.000	3,2	4,78	46,64	15,55
Momán C-1	3	20.000	3,02	4,42	40,71	13,57
Momán C-8	3	20.000	3,2	4,5	45,41	15,14
PROMEDIO	3	20.000	3,06	4,37	41,87	13,96

D medio = diámetro medio; H media = altura media; Vcc = volumen con corteza; Vsc = volumen sin corteza; Cm = Crecimiento medio





Los resultados expresados en m<sup>3</sup>/ha año muestran un crecimiento total muy elevado, considerando que con 3 años de edad ya muestra un crecimiento medio de 14 m<sup>3</sup>/ha/año.

Los costes de instalación de *E. nitens* a marcos de 1x0,5 m son más elevados debido al número de plantas y al mayor coste de plantación. Pese a la escasez de experiencias a gran escala, los costes de este tipo de plantaciones se cifran para terrenos medios en Galicia entre 3.400 y 4.000 €/ha.

#### Ventajas e inconvenientes del cultivo de *E. nitens*

Las principales ventajas para el cultivo del *E. nitens* son las siguientes:

- Gran adaptabilidad de esta especie a terrenos fríos y de baja calidad.
- Alta productividad y capacidad de crecimiento.

Como principales desventajas destacan:

- Menor capacidad de rebrote que otras especies como *E. globulus*.
- Alto coste de plantaciones de altas densidades.
- Escaso conocimiento de un sistema silvícola específico para la producción de biomasa.

- Aumento de la demanda de esta especie para la producción de pasta de papel.
- Desconocimiento de sistemas de cosecha específico y escasez de maquinaria adaptada.







EL INCREMENTO DE LA DEMANDA de cultivos energéticos nace derivado del aumento del precio de los combustibles fósiles y de las medidas de fomento impulsadas por la Comisión Europea para incentivar el uso de las energías renovables. Sus destinos pueden encaminarse a varios sectores de la energía como el térmico o el eléctrico y en la sustitución de hidrocarburos, adoptando un mayor interés en el destino eléctrico y en la transformación en bioetanol y en biodiésel.

En general, el territorio gallego presenta unas buenas condiciones ambientales para la implantación de cultivos energéticos debido a su alta productividad. Sin embargo, se debe profundizar en el estudio de los cultivos energéticos para que éstos sean realmente rentables. En ese sentido, se debe hacer constar la fuerte incidencia de la capacidad de los terrenos para una mecanización completa y del tamaño de las explotaciones en la rentabilidad de los cultivos energéticos, tanto en los terrenos agrícolas como en los forestales.

En la actualidad, sólo se dispone en Galicia de cultivos energéticos de carácter experimental. Su introducción en terrenos forestales debe ser proyectada para una implantación progresiva, en paralelo a los resultados obtenidos en las experiencias, reduciendo los riesgos de fracaso en las inversiones, sobre todo en lo referente a las técnicas de cultivo, las técnicas de cosecha y las especies a utilizar.

Por su parte, es necesario desarrollar maquinaria específica para la instalación y cosecha de estos cultivos, y se deben plan-

tear criterios de planificación que primen la instalación de estos cultivos en tierras ociosas, haciendo compatible su cultivo con las restantes producciones convencionales.

El trabajo realizado en Galicia con el proyecto ECAS y la cooperación establecida con expertos de otros países y regiones permiten plantear las siguientes conclusiones:

- Con los precios actuales, las producciones conseguidas en las parcelas establecidas de sorgo y cardo permiten cubrir los costes de plantación y explotación. Sin embargo, la ausencia de un verdadero mercado de estos productos, donde exista una industria consumidora y de precios previamente establecidos, hacen que su cultivo sea hoy por hoy aventurado. Su introducción en terrenos forestales tiene el riesgo añadido de los daños producidos en los cultivos por la fauna silvestre.
- La instalación de la caña como cultivo energético en el territorio gallego lleva consigo una serie de dificultades, como puede ser el impacto visual que produce en zonas de interés turístico y alto valor del suelo, así como dificultades en su explotación debido al carácter minifundista de la zona de adaptación y el escaso interés agrario existente en la zona. Estos factores inciden negativamente sobre el cultivo, convirtiéndolo en un cultivo energético con pocas expectativas en esta área.
- Como especie leñosa muy interesante para cultivos energéticos forestales se contempla la utilización de *Eucalyptus ni-*





*tens*, de introducción reciente en Galicia. Los resultados obtenidos en la evaluación de las parcelas ofrecen una alta productividad, buen crecimiento con altas densidades, buena adaptación al frío y a suelos de baja calidad y poca exigencia de fertilidad y humedad. Por su parte, goza de buena aceptación entre los propietarios de montes por su mejor resistencia a ataques de góncipero y por la facilidad de suministro de planta y semilla en la región.

- La utilización de eucalipto nitens como cultivo energético requiere el desarrollo de modelos de silvicultura adaptados a este uso y en la planificación territorial de su implantación es preciso considerar la previsible demanda por parte de la industria de la madera y hacer compatibles ambos usos.
- En las áreas forestales es necesario seguir estudiando la implantación de especies vegetales que tengan como fin principal su aprovechamiento energético. Se debe probar la instalación de diferentes especies forestales, diseñar nuevos esquemas selvícolas y analizar su productividad y rentabilidad, de tal forma que se puedan generar nuevas rentas en los montes. De esta forma, estos cultivos pueden ayudar a valorizar áreas actualmente improductivas del territorio gallego.
- Es necesario profundizar en el conocimiento de las producciones de las distintas especies en las distintas áreas geográficas para poder así garantizar el suministro de las plantas industriales transformadoras de estos productos. De esta forma

se conseguirá reducir la importación de productos foráneos y aumentar la producción agrícola de Galicia.

- Uno de los aspectos positivos que presenta el destino energético es que no necesita un cuidado tan exhaustivo del proceso como el que hay que tener con los cultivos agrícolas, mejorando así la rentabilidad y el cuidado del medio ambiente.
- En la obtención de biodiésel y bioetanol se generan una serie de subproductos como los piensos y glicerina que podrían aportar una renta mayor dentro del sector agroganadero.
- En muchas áreas de Galicia los cultivos energéticos estudiados entrarían en competencia con los cultivos agrícolas tradicionales. Por ejemplo, en la Terra Chá existe un interés agrícola elevado y sería una de las áreas de mejores características para la instalación de cultivos energéticos.
- La inexistencia de maquinaria específica para la cosecha con destino energético provoca dificultades en la transformación del producto, encareciendo el procesado del mismo, como sucede en el caso de los cultivos de caña y del eucalipto.
- Las ayudas actualmente concedidas por la UE para cultivos energéticos (45 €/ha) son insuficientes para garantizar el atractivo de su producción por parte del agricultor o del selvicultor.
- El proceso administrativo que tiene lugar para la obtención de las ayudas a la instalación de cultivos energéticos es largo y muy exigente, por lo que resulta un factor de desincentivación para los posibles interesados.

