

## POTENTIAL OF ENERGY CROPS FOR IT USES IN-SITU IN A FARM OF CENTRAL SPAIN

Mauri Ablanque, Pedro Vicente<sup>1</sup>; Plaza Benito, Antonio<sup>1</sup>; Ruiz-Fernández, Juan<sup>1</sup>;  
Curt Fernández de la Mora, María Dolores<sup>2</sup>; Sanz Gallego, Marina<sup>2</sup>;  
Fernández González, Jesús<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IMIDRA, <sup>2</sup> Universidad Politécnica de Madrid

The aim of this communication is the development of an agricultural system that would involve the production of energy crops and the use of their biomass for in-situ energy applications. In the framework of the current project PROBIOCOM (RTA2012-0082-CO2), which is located in the The Encín farm (Alcala of Henares, province of Madrid, Spain), rainfed and irrigated crops have been experimented. This article presents the methodology followed in PROBIOCOM and reports the progress of the work regarding the energy crops of giant reed, cardoon and Siberian elm, besides the utilization of surplus biomass (straw) from conventional cereal crops. Concerns about climate change, energy supply, geopolitical instability of countries producing fossil fuels and forecasted depletion of fossil energy sources have promoted an intense activity in the research field of the renewable energies. The in-situ use of the biomass produced in a farm potentially has many advantages since it would allow to optimize the energy demand of the farm with the production of biomass and its distribution or logistics, this way balancing the energy needs of the farm.

**Keywords:** *Energy crops; Biomass; Sustainable crops*

## POTENCIAL DE PLANTACIONES ENERGÉTICAS PARA SU APROVECHAMIENTO IN SITU EN EXPLOTACIÓN AGRÍCOLA EN LA ZONA CENTRO DE ESPAÑA

El objeto de esta comunicación es el desarrollo de un sistema agrícola de aprovechamiento energético in situ de la biomasa producida a partir de cultivos energéticos en el centro de España. El proyecto PROBIOCOM (RTA2012-0082-CO2) se ubica en la Finca El Encín, situada en el municipio de Alcalá de Henares (Madrid), y comprende cultivos de secano y de regadío. En este artículo se presenta la metodología utilizada y el progreso del trabajo respecto a los cultivos energéticos de caña común, cardo y olmo de Siberia, además de la utilización de restos del cultivo convencional de cereales. Las incertidumbres actuales sobre el cambio climático, aumento de la demanda de energía, inestabilidad geopolítica de los países productores de combustibles fósiles y previsible agotamiento de los recursos fósiles han propiciado una intensa actividad en el campo de las energías renovables. La utilización energética in situ de biomasa producida en una finca agrícola tiene muchas ventajas, ya que permitiría optimizar la la demanda energética con el dimensionamiento de su producción y distribución o logística, adaptándose a las necesidades energéticas de la misma.

**Palabras clave:** *Cultivos energéticos; Biomasa; Cultivos sostenibles*

Correspondencia: Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario (IMIDRA). Finca El Encín. Autovía A-2 km 38,200. C.P. 28800 Alcalá de Henares (Madrid).

## 1. Introducción

En el sector agrario se viene produciendo en los últimos años la convergencia de dos áreas de interés emergente: la conveniencia, ampliamente apoyada de promover nuevos sistemas de producción agraria que redunden en el desarrollo rural sostenible de España, y la necesidad de la sustitución de demandas de energía fósil con energías renovables, fundamentada en el beneficio del medio ambiente y el entorno socioeconómico. El interés e importancia de esta convergencia ha sido reconocido oficialmente dentro de la estructura orgánica del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (RD 401/2012), al especificarse, para la Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal, la función de 'El desarrollo de las competencias relacionadas con el Plan de fomento de energías renovables para el impulso en el sector agrario de la biomasa y los biocarburantes, así como el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia energética en el sector agrario'.

La intensidad de la actividad científica en el área de la biomasa y los biocarburantes así como de organizaciones tecnológicas y empresariales (consúltese por ejemplo la web de la Plataforma Tecnológica Española de la Biomasa, [www.bioplat.es](http://www.bioplat.es), la Plataforma Tecnológica Europea de Biocombustibles [www.biofuelspt.eu](http://www.biofuelspt.eu), o la Asociación de Productores de Energías Renovables [www.appa.es](http://www.appa.es)) demuestran el interés creciente de la I+D+i en biomasa. Es de reseñar que, aunque la biomasa sea el recurso energético renovable por excelencia y su uso se remonte a los orígenes de la humanidad, en su concepto moderno de energía renovable muchos son los aspectos a resolver. Se ha comprobado en los últimos años que el principal cuello de botella para el desarrollo de la energía renovable de la biomasa es la disponibilidad de la materia prima, y que ello ha llegado a crear en ocasiones distorsiones importantes en el mercado. Conviene destacar que existen muy diferentes tipos de biomasa y de vías de conversión energética (véase por ejemplo, las revisiones de McKendry, 2002a, b, c), y las últimas tendencias apuntan a que el tipo de biomasa de mayor proyección es la biomasa lignocelulósica.

Sobre la biomasa lignocelulósica, desde distintos ámbitos se señala reiterativamente la importancia de la seguridad en su disponibilidad y su sostenibilidad. Aunque la biomasa residual sea la biomasa preferentemente utilizada en nuestro entorno, la alternativa más viable para garantizar su suministro son los cultivos energéticos (Mateo Barrientos, 2012). Cuestiones clave para la biomasa lignocelulósica son la elección de la procedencia de la biomasa (de cultivos energéticos específicos, o biomasa residual), tipo de biomasa (leñosa o herbácea), la capacidad de producción de ese tipo de biomasa en una determinada zona y el dimensionamiento para la sostenibilidad (EEA, 2006).

El Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario (IMIDRA) y el Grupo de Agroenergética de la Universidad Politécnica de Madrid (GA-UPM), como instituciones dedicadas a la I+D+i en el sector agrario y a la subsecuente transferencia del conocimiento a los grupos sociales de interés (comunidad científica, organizaciones agrarias, empresas del sector, instituciones públicas y privadas), han sido conscientes de la importancia de esta línea de trabajo para el sector agrario, y han cooperado muy activamente para su desarrollo a lo largo de los últimos quince años, a través de diversos proyectos de I+D+i.

Las sinergias desarrolladas en trabajos anteriores favorecieron la presentación, por parte del consorcio de IMIDRA y GA-UPM, de una propuesta de proyecto al 'Programa de Proyectos de Investigación Fundamental Orientada a los Recursos y Tecnologías Agrarias en Coordinación con las CCAA' que recibió evaluación positiva. Finalmente, en mayo de 2013, se inició un nuevo proyecto en el área de I+D+i de la biomasa, cuyo título fue: "Producción autosostenible de biocombustibles sólidos en explotación agrícola modelo a partir del cultivo de especies no agroalimentarias de reciente interés energético y de la valoración energética de subproductos de cereales- grano".

En el presente artículo se realiza la presentación del Proyecto, indicándose sus objetivos, antecedentes, metodología y progreso del trabajo alcanzado en el primer año del Proyecto, identificado por el acrónimo PROBIOCOM. Las cuestiones concretas planteadas en PROBIOCOM, y que se esperan poder responder al término del Proyecto, son las siguientes: i) ¿Como es el comportamiento en campo de ciertas especies (caña común, olmo de Siberia) propuestas como cultivos energéticos lignocelulósicos?; ii) ¿Cuál es su manejo para la producción de biomasa? iii) ¿Cuál es el potencial energético de los subproductos de cultivos de cereales-grano? iv) ¿Cómo abordar específicamente la propagación vegetativa de ejemplares de fenotipo sobresaliente? v) ¿Qué productividad en biomasa se puede alcanzar en ciclos productivos sucesivos, y su relación con las condiciones edafoclimáticas ?; vi) ¿Cuáles son las características energéticas de las materias primas producidas?; vii) ¿Cómo conseguir una adecuada transferencia del conocimiento generado y de las aplicaciones del Proyecto a la autosostenibilidad agraria?.

## 2. Objetivos

Genéricamente, PROBIOCOM pretende la promoción del cultivo de nuevas especies de reciente interés socioeconómico y de la valorización de subproductos de cultivos agrícolas tradicionales, con destino a la producción de biocombustibles sólidos para usos térmicos locales, que redunden en el desarrollo rural sostenible. El objetivo final a alcanzar sería la autosostenibilidad de una explotación rural, en lo que respecta a energía térmica, mediante materias primas producidas in situ. Como objetivos específicos se indican los siguientes:

- Fitotecnia de nuevas especies de interés destinadas a usos no agroalimentarios (usos energéticos térmicos)
- Potencial de cereales-grano para la valorización energética de sus subproductos (paja).
- Estudio de las relaciones entre fertilización y producción de biomasa para usos térmicos en un cultivo específico
- Selección fenotípica de una especie leñosa para el desarrollo de clones específicos en cultivos de corta rotación
- Productividad de nuevas especies de interés destinadas a usos térmicos ( no agroalimentarios)
- Caracterización energética de la biomasa producida y evaluación de su calidad
- Producción y caracterización de biocombustibles sólidos densificados en planta piloto, a partir de la biomasa producida
- Transferencia y evaluación de la hipótesis de autosostenibilidad de necesidades térmicas en finca agrícola modelo.

La cadena de valor contemplada es la siguiente: desarrollo de cultivos agrícolas (nuevas especies + valorización de subproductos de especies tradicionales) ---- producción de biomasa ----producción de biocombustibles sólidos ---- uso térmico. Se incluyen aquí tanto las prioridades que tratan de promover la eficacia de la producción agraria, como las que promueven su sostenibilidad, su utilización óptima para el consumo y las que fomenten la actividad agraria como soporte del desarrollo rural integrado.

Específicamente, en PROBIOCOM se aborda la determinación de la capacidad productiva de especies alternativas (*Ulmus pumila* L., *Arundo donax* L., *Cynara cardunculus* L.) para la producción de biomasa lignocelulósica y de su calidad energética para biocombustibles sólidos, en el contexto de una explotación agraria en Alcalá de Henares (Madrid), con el

objetivo último de lograr la autosostenibilidad en energía térmica, considerando al tiempo la valorización energética los subproductos del cultivo de cereales-grano también producidos en la misma explotación, y la transferencia del conocimiento

Las especies propuestas como cultivo energético en PROBIOCOM (Figura 1) tienen en común el que son especies perennes para la producción de biomasa lignocelulósica en regiones de climas mediterráneos. Como consecuencia al hecho de que son especies perennes, el potencial del cultivo a lo largo de los años (medio y/o largo plazo) es desconocido, requiriéndose por tanto la continuidad de los ensayos para su conocimiento. Es de reseñar que, tanto a nivel internacional como nacional, la cronología del desarrollo de la I+D+i sobre estas especies es diferente, según se indica en la sección siguiente, de Antecedentes.. El otro recurso propuesto en este Proyecto, es el de la biomasa residual procedente del cultivo agrícola de los cereales-grano, a fin de su valorización energética. A pesar de que son cultivos tradicionales, y por tanto, muy conocidos, el conocimiento de su capacidad de producción del sub-producto valorizable (paja), no es muy extenso.

**Figura 1. Cultivos energéticos estudiados en PROBIOCOM. De izquierda a derecha: *Arundo donax* L., *Cynara cardunculus* L., *Ulmus pumila* L**



### 3. Antecedentes sobre los cultivos energéticos a ensayar

#### 3.1. Antecedentes sobre el olmo de Siberia como cultivo energético

Los primeros estudios sobre las aplicaciones energéticas del olmo de Siberia (*Ulmus pumila* L.) fueron promovidos por Geyer y colaboradores en EEUU en la década de 1980 (véase Geyer 1987,1993, 2006). En España, la propuesta de utilizar esta especie como cultivo leñoso en corta rotación partió del Grupo de Agroenergética de la UPM (GA-UPM), que realizó en el año 2000 el establecimiento de la primera parcela experimental de olmo de Siberia para este fin.

El conocimiento del comportamiento de especies leñosas cuando se proponen para la producción de biomasa en turnos corta rotación requiere muchos años de experimentación, como ha quedado patente en otras especies leñosas recientemente estudiadas en España (Sixto et al. 2007). Por tanto, el conocimiento que existe actualmente sobre esta especie como potencial cultivo energético leñoso en corta rotación es reducido debido a la brevedad del tiempo transcurrido desde que se iniciaron los primeros estudios del olmo de Siberia como cultivo energético en corta rotación; no ha habido experimentación suficiente para conocer su potencial, ni desarrollar material genético específico. En el GA-UPM se realizó la primera Tesis Doctoral monográfica sobre ese tema en España (Iriarte, 2008). Los resultados fueron prometedores y el GA-UPM continuó sus investigaciones sobre el potencial de esta especie cultivada en corta rotación (Fernández et al. 2009, Sanz et al. 2011) en Teruel y Madrid. Otro equipo español, el CEDER-CIEMAT decidió en 2010 iniciar una línea de investigación sobre esta especie en Soria (Pérez et al. 2011). Hasta donde se sabe, son estos los dos únicos equipos españoles trabajando sobre este tema.

### 3.2. Antecedentes sobre la caña común como cultivo energético

El historial de I+D+i sobre el cultivo energético de la caña común (*Arundo donax* L.) es mucho más amplio tanto a nivel internacional como nacional. La propuesta de utilizar esta especie como cultivo perenne con cosechas anuales de la biomasa lignocelulósica data, aproximadamente, de la década de 1980; desde entonces, se han hecho muchas contribuciones científicas por parte de distintos grupos de investigación europeos. Caben destacar los equipos investigadores del CRES (Centro de Energías Renovables) de Grecia - líderes del primer proyecto europeo sobre ese tema (Arundo Network)- y de la Universidad de Catania (Italia), que en la actualidad continúan esa línea de investigación. En este tiempo, se han realizado contribuciones significantes al conocimiento de esta especie en diversos países mediterráneos, y en relación con los temas que se plantean en este Proyecto, se destacan, respecto a: capacidad productiva de biomasa, Christou M. et al. (2002), y Mantineo et al., (2009); a variabilidad clonal, Cosentino et al (2006); a composición, Pascoal Neto et al. (1997); y, respecto a comportamiento térmico, Jeguirim et al. (2010). En España, en cambio, la I+D+i sobre este cultivo es mucho más escasa, y, hasta donde se sabe, el equipo investigador que viene estudiando este cultivo energético con una cierta continuidad, es el GA-UPM (véase Hidalgo & Fernández, 2000; Curt, 2009); a ello se suman recientes desarrollos empresariales en España, como el lanzado por Biothek Ecologic Fuel ([www.cultivosenergeticos.com](http://www.cultivosenergeticos.com)), que comercializa un clon de caña común mejorado y desarrolla, junto con otra empresa del sector, maquinaria específica de cosecha de la biomasa de caña común. Estas empresas iniciaron su colaboración con el consorcio de PROBIOCOM en 2012 (véase Curt et al 2013a, 2013b). Se puede decir que, los aspectos más desconocidos sobre este cultivo en España son su comportamiento local y clonal, y su capacidad productiva a lo largo de los años.

### 3.3. Antecedentes sobre el cardo como cultivo energético

Respecto al cultivo energético del cardo, cabe indicar que su historial como cultivo energético es en cierto modo paralelo al de la caña común, si bien, por distintas razones, al primero se le ha dedicado más esfuerzo investigador en España que al segundo.

En España, el GA-UPM ha hecho contribuciones significativas al conocimiento del cultivo energético del cardo y así, Fernández (2009) publicó un compendio de las actividades realizadas, publicaciones y conocimiento desarrollado sobre este cultivo, con el apoyo del Ministerio de Agricultura. También ha habido contribuciones relevantes por parte de equipos investigadores de Extremadura (véase por ejemplo, González Cortés, 1996; Encinar et al., 2000). Fuera de Europa, han contribuido significativamente equipos investigadores del CRES (Grecia), la Universidad de Catania (Italia), Universidad de Bolonia (Italia) y el Instituto de Lisboa ISA (Portugal), que mantienen una estrecha relación con GA-UPM; se señalan como publicaciones de estos equipos, relevantes para este Proyecto, las de Mantineo et al (2009), Cosentino et al. (2008), Gominho et al. (2011).

A lo largo de los años de experimentación, se ha demostrado el gran potencial de esta especie para su cultivo en climas mediterráneos en régimen de secano (450-550 mm), así como la gran dependencia de las condiciones edafoclimáticas sobre las capacidades productivas de este cultivo. Se han realizado ensayos previos sobre este cultivo por parte del GA-UPM en colaboración con IMIDRA (Fernández et al., 2005) que indican, por una parte, que la etapa de establecimiento del cultivo es crítica, y que es necesario continuar las investigaciones sobre su establecimiento y sobre la dependencia de la producción con las condiciones edafoclimáticas locales.

### 3.3. Antecedentes de experimentación conjunta de los tres cultivos energéticos

El antecedente de I+D+i sobre estos cultivos más inmediato en España, y del que se beneficia la presente propuesta, es el desarrollado durante el Proyecto Singular Estratégico sobre Cultivos Energéticos (PSE-On Cultivos), (2006-2011) que contó con la participación del GA-UPM e IMIDRA.

En el año 2007, el GA-UPM propuso el establecimiento de una plantación que sirve de referencia para PROBIOCOM. La plantación incluye el cultivo energético de caña común (cerca de 9.000 m<sup>2</sup>) y de olmo de Siberia (8.000 m<sup>2</sup>), en la finca de IMIDRA (El Encín, Alcalá de Henares, Madrid). Se superó satisfactoriamente el año del establecimiento (2007-2008) y en la actualidad ambos cultivos están en plena producción. Las cosechas se realizan periódicamente según el plan pre-establecido (cosecha anual de la biomasa de caña y turnos de 1,2 y 3 años de la biomasa de olmo). También en el seno del PSE-On Cultivos se realizaron contribuciones sobre el cultivo del cardo y sobre la valorización de sub-productos de cultivos de cereales-grano, que incluye PROBIOCOM.

PROBIOCOM parte de plantaciones energéticas ya establecidas de especies perennes y en plena producción: *Arundo donax* L. (caña común) y *Ulmus pumila* L. (olmo de Siberia) y aborda el establecimiento de otra especie de interés energético (*Cynara cardunculus* L.) y el cultivo multipropósito (doble aplicación) de cereales-grano mediante la evaluación y valoración de los subproductos (paja) de su producción.

## 4. Metodología

PROBIOCOM está estructurado en 2 Subproyectos inter-dependientes, cuya orientación respectiva es: i) manejo de cultivos y desarrollo avanzado de material vegetal para transferencia y autosostenibilidad, y ii) Producción y caracterización de materias primas para biocombustibles sólidos. Consta de 7 Tareas con metodología específica, las cuales se reseñan brevemente a continuación.

### *Tarea 1. Manejo y operaciones de cultivo en especies de interés energético*

- *Tarea 1.1. Manejo y operaciones de cultivo del olmo de Siberia (Ulmus pumila L.).*

El objeto de esta tarea es el mantenimiento de una plantación experimental adulta de olmo, implantada en 2007 a partir de plántones procedentes de semilla del GA-UPM con tres densidades de plantación 3333, 6666 y 10000 plantas/h, y previsión de tres regímenes hídricos.

- *Tarea 1.2. Manejo y operaciones de cultivo de la caña común (Arundo donax L.).*

De manera similar a la de la tarea anterior, se trata del mantenimiento de una plantación experimental adulta de caña. La plantación de caña se implantó en el año 2008 a partir de rizomas procedentes de una colección de clones de diferentes orígenes del GA-UPM.

- *Tarea 1.3. Manejo y operaciones de cultivo del cardo (Cynara cardunculus L.).*

Se trata del mantenimiento de una plantación de cardo, a realizar para este Proyecto, cuya característica diferencial, con respecto a otros ensayos, radica en la utilización de semilla producida a partir de 1 único clon seleccionado.

### *Tarea 2. Ensayo de cereales grano*

Esta Tarea se apoya en las experiencias en curso de IMIDRA dentro del programa de experimentación Genvce (Grupo de Evaluación de Nuevas Variedades de Cultivos Extensivos en España). Se pretende cuantificar la cantidad de paja producida y de grano,

por variedad ensayada para estimar el potencial de la utilización energética de la biomasa residual.

*Tarea 3. Estudio de relaciones fertilización-calidad de biomasa en la caña común.*

En una primera fase, se pretende el establecimiento de una plantación de cañas de 1 único clon, en condiciones de regadío, para estos ensayos. Una vez establecida, se prevé el ensayo de 4 tratamientos de fertilización (0, 25, 50 y 100 %) con una superficie de 5 x 10 metros y 4 repeticiones.

*Tarea 4. Selección fenotípica y clonación in vitro del olmo de Siberia.*

- *Tarea 4.1. Selección fenotípica de individuos de olmo de Siberia*

La plantación adulta de olmo de Siberia de que se dispone, consta de una colección de cerca de 3.500 ejemplares, plantados en condiciones de alta densidad y procedentes de plantones de semilla, con la consiguiente variabilidad natural, por lo que se dispone de un material muy valioso para realizar una selección masal inicial. En esta Tarea se pretende realizar una selección de ejemplares singulares, que exhiban las mejores características para el cultivo de corta rotación.

- *Tarea 4.2. Macropropagación de los individuos de olmo de Siberia seleccionados.*

Esta actividad pretende la propagación vegetativa por estacuela de los ejemplares que previamente han sido individualmente seleccionados, a fin de conseguir clones que potencialmente tendrían características mejoradas para la producción de biomasa.

- *Tarea 4.3. Establecimiento de nuevas parcelas después de la realización de la multiplicación de *Ulmus pumila* L.*

A partir de la multiplicación de clones seleccionados, se realizarán parcelas experimentales de cada clon y al término de los turnos productivos se llevará a cabo su evaluación y caracterización.

*Tarea 5. Producción de materias primas*

- *Tarea 5.1. Producción de materias primas. Implantación de parcela de cardo a partir de semilla seleccionada (CIV).*

Se trata del establecimiento de un cultivo de cardo previamente seleccionado fenotípicamente, para estudiar su comportamiento productivo. Este cultivo se realizará a partir de aquenios obtenidos de una parcela experimental establecida a partir de plantas micropropagadas de 1 único clon.

- *Tarea 5.2. Producción de biomasa leñosa*

Se pretende conocer el potencial del olmo de Siberia en un sistema de cultivo de corta rotación para producción de biomasa leñosa, partiendo de una plantación adulta, en plena producción, establecida durante el desarrollo de un proyecto anterior de este consorcio. La plantación fue implantada en el año 2007 y tiene una superficie de 6.000 m<sup>2</sup>; consta de 54 líneas de 37 m de olmos cada una con tres densidades de plantación (3.333, 6.666 y 10.000 plantas/ha). El diseño experimental que se ha seguido es: 2 turnos de corta x 3 densidades de plantación x 3 regímenes hídricos objetivo.

- *Tarea 5.3. Producción de biomasa lignocelulósica herbácea.*

- *Tarea 5.3.1. Producción de biomasa de caña común (Arundo donax L.)*

Se pretende conocer el potencial productivo de la caña común (*Arundo donax L.*) en ciclos productivos anuales sucesivos. Al igual que para la tarea anterior, se parte de una plantación en plena producción, que fue implantada en el año 2008 a partir de rizomas de la colección de 10 clones del GA-UPM. Tiene una superficie de 8.000 m<sup>2</sup> en los que se ensayan 9 clones en condiciones de regadío.

- *Tarea 5.3.2. Producción de biomasa de cardo seleccionado (Cynara cardunculus L.)*

El objeto de esta actividad es conocer el comportamiento productivo de una población seleccionada de cardo. Se trata de evaluar la productividad de la parcela de cardo implantada en la Tarea 5.1 y estudiar si los caracteres por los que se seleccionó el clon origen (plantas madre) se mantienen en la población generada (plantas producidas de sus semillas).

*Tarea 6. Caracterización energética de la biomasa producida y evaluación de su calidad.*

El objeto de esta Tarea es conocer las características energéticas de la biomasa producida por los cultivos energéticos en estudio e interpretar su relación con las características morfológicas de las plantas en cosecha y climáticas del ciclo de cultivo, para finalmente diagnosticar su calidad en relación con otras biomásas lignocelulósicas en lo que respecta a sus características químicas y energéticas (análisis elemental y análisis inmediato).

*Tarea 8. Transferencia y evaluación de la hipótesis de autosostenibilidad de necesidades térmicas en finca agrícola modelo.*

- *Tarea 8.1. La hipótesis de sostenibilidad de las necesidades térmicas de una finca agrícola modelo.*

Una de las aspiraciones de IMIDRA ha sido la sostenibilidad energética de sus fincas. En la finca "El Encín" con la implantación de los cultivos energéticos se podría realizar el aprovechamiento de los mismos incorporando a las instalaciones una caldera de biomasa con la que se produciría energía térmica para satisfacer sus necesidades de calor y frío. Para esta Tarea se realizará un estudio de necesidades térmicas, que se acompañará de un estudio de viabilidad.

- *Tarea 8.2. Transferencia de la hipótesis de autosostenibilidad de necesidades térmicas en finca agrícola modelo.*

El objeto de esta subtarea es realizar la transferencia de los conocimientos adquiridos mediante el desarrollo de este proyecto mediante la difusión de las labores propias de esta línea de investigación del IMIDRA y del GA-UPM. Se plantean tres tipos actividades. La primera estaría encuadrada dentro de las actividades de divulgación durante las jornadas de puertas abiertas (Semana de la Ciencia, mes de noviembre de cada año). La segunda, será una jornada específica para visitantes con cierto grado de especialización a las parcelas de ensayo. La tercera será una jornada técnica con grupos de interés empresarial.

## **5. Resultados**

Se han realizado todas las actividades previstas en la Memoria Técnica para el primer año de Proyecto (2013/2014), llevándose a cabo actuaciones importantes a nivel de campo para el establecimiento de instalaciones de riego y fertirrigación, implantación de nuevos cultivos,



manejo de cultivos existentes y recién implantados, y evaluaciones de la productividad. A continuación se reseñan los principales resultados obtenidos en este primer año (datos preliminares), desglosados por cultivos.

- *Plantación adulta de olmo de Siberia (Ulmus pumila L.) en corta rotación.*

Todas las parcelas de la plantación de 2007 se mantuvieron en régimen de secano en el ciclo 2013/2014. Según se planificó, el 5 de mayo de 2014, ya fuera del periodo de lluvias, y antes de la brotación (es especie de hoja caduca) se realizó la evaluación de la productividad de las parcelas correspondientes al turno de corta de 3 años. El contenido medio en humedad de la biomasa fue del 57.1% (coeficiente de variación: 3%) y las producciones medias obtenidas, anualizadas para el periodo de los 3 años, estuvieron en el rango de 1.4 y 5.2 kg/árbol/año, obteniéndose mejores resultados de producción por ejemplar en la parcela con menor densidad de plantación (3333 plantas/ha), si bien se registró una alta variabilidad entre el peso individual de los árboles.

- *Plantación adulta de caña común (Arundo donax L.).*

Al igual que para la plantación anterior, todos los clones de esta plantación se mantuvieron en régimen de secano en el ciclo 2013/14. El hecho de que esta especie es sensible a la sequía se manifestó progresivamente, registrándose heterogeneidad en el desarrollo de las parcelas, por lo que se evaluaron por separado las áreas que tenían buen desarrollo de aquellas en las que el desarrollo era deficiente. En la evaluación de la productividad realizada el 25 de febrero 2014, el contenido en humedad de los tallos osciló entre el 50 y el 62%, obteniéndose valores más altos en las áreas de mejor desarrollo. Ese efecto se registró también para el contenido en humedad de las hojas, en donde el rango de variación fue del 17.0-37.8%, así como para el reparto de la biomasa, representando los tallos (fracción de mejor calidad y más valorizable) entre el 78.6 y el 94.5% de la biomasa seca cosechada. En el conjunto de la plantación, las alturas mínima absoluta y máxima absoluta de la cubierta vegetal fueron 1 y 4 m. Respecto a las producciones en biomasa, el rango de valores medios extremos observado para el conjunto de la plantación, fue 0.9-4.9 kg ms/m<sup>2</sup>, siendo la zona de evaluación un factor de variación mucho más importante que el clon.

- *Establecimiento de cardo (Cynara cardunculus L.) a partir de semilla seleccionada.*

En junio de 2013 se estableció una plantación de cardo de 4000 m<sup>2</sup> a partir de semilla seleccionada y se implementó un sistema de riego por goteo para su mantenimiento. El desarrollo de las plantas fue muy bueno a lo largo de 2013. Sin embargo, las condiciones climáticas benignas habidas en 2014 propiciaron un ataque dramático de cáscida, que por su intensidad requirió el corte de las rosetas en abril, 2014, y varios tratamientos de dimetoato.

- *Establecimiento de nueva plantación de cañas.*

Fuera de temporada, con el objetivo de poder adelantar la experimentación de fertilización en el cultivo de las cañas, se estableció una nueva plantación el 11 de octubre de 2013. La plantación fue dotada de riego por goteo y las plantas procedieron del cultivo in vitro de material meristemático de 1 único clon. La experiencia fue exitosa, ya que se consiguió una alta tasa de supervivencia, estimada en un 67% en primavera de 2014. Se prevé el ensayo de 4 tratamientos de fertilización (0, 25, 50 y 100 %) con una superficie de 5 x 10 metros y 4 repeticiones tras la superación de la etapa de establecimiento del cultivo.

- *Producción de clones de olmo de Siberia*

En una primera fase se realizó la selección de ejemplares de mejores características para la producción de clones potencialmente mejorados, con vistas al cultivo en condiciones de alta densidad y corta rotación. Se prepararon estaquillas de diferentes calibres para ensayar su propagación vegetativa. A la fecha, se ha conseguido desarrollar 5 clones, que se prevén testar en futuros ensayos de campo.

## Agradecimientos

Ministerio de Economía y Competitividad. Proyecto RTA2012-0082-CO2.

## 6. Referencias bibliográficas

- Christou M., Mardikis M., Alexopoulou E., Kyritsis S., Cosentino S., Vecchiet M., Bullard M., Nixon P., Gosse G., Fernandez J. & El Bassam N. (2002). *Arundo donax* productivity in the EU. Results from the Giant reed (*Arundo donax* L.) Network (1997-2001). Proc. 12th EU Biomass Conf. Vol. I: 127-130.
- Cosentino S., Copani V., D'Agosta G.A., Sanzone E. & Mantineo M. (2006). First results on evaluation of *Arundo donax* L. clones collected in Southern Italy. *Industrial Crops and Products* 23: 212-222.
- Cosentino S.L., Copani V., Patanè C., Mantineo M. & D'Agosta G. (2008). Agronomic, Energetic and Environmental Aspects of Biomass Energy Crops Suitable for Italian Environments. *Italian Journal of Agronomy* 3(2): 81-95.
- Curt M.D. (2009). Cultivo de caña común (*Arundo donax* L.) para producción de biomasa. Hojas Divulgadoras, núm. 2129 HD. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 24 pp. ISBN: 978-84-491-0891-4.
- Curt M.D., Sanz, M., Mosquera, F., Mauri, P.V., Plaza, A., Aguado, P.L. & Fernández, J. (2013a). Harvest mechanisation of *Arundo donax* L. in Spain. Proc. 21st EU Biomass Conf. and Exhibition, pp. 302-307. ISBN 978-88-89407-53-0.
- Curt M.D., Sanz, M., Mosquera, F., Mauri, P.V., Plaza, A., Aguado, P.L. & Fernández, J. (2013b). La recolección mecánica de la caña común cultivada para biomasa. *Agrotécnica* 10 (Octubre 2013): 82-88.
- EEA (European Environment Agency). (2006). How much bioenergy can Europe produce without harming the environment. EEA Report no 7/2006. ISSN 1725-9177.
- Encinar J.M., González J.F., González J. (2000). Fixed-bed pyrolysis of *Cynara cardunculus* L. Product yields and compositions *Fuel Processing Technology* 68(3): 209-222.
- Fernández J. (2009). El cultivo de cardo (*Cynara cardunculus* L.) para producción de biomasa. Hojas Divulgadoras, núm. 2130 HD. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 44 pp. ISBN: 978-84-491-0890-7.
- Fernández, J., Curt, M.D., Aguado, P.L. (2006). Industrial applications of *Cynara cardunculus* L. for energy and other uses. *Industrial Crops and Products* 24(3): 222-229.
- Fernández, J., Curt, M.D., Aguado, P.L., Sanz, M. & García-Müller, M. (2005). Performance of *Cynara cardunculus* grown on a Calcic Haploxeralf soil under xeric Mediterranean climate. Proc. 14th EU Biomass Conf. pp. 371-374
- Fernández J., Iriarte L., Sanz M. & Curt M.D. (2009). Preliminary study of Siberian elm as an energy crop in a continental-mediterranean climate. En: G.F. de Santi, J.F. Dallemand, H. Ossenbrink, A. Grassi & P. Helm (Ed.), Proc. 17th European Biomass Conference. p. 148-153. ISBN 978-88-89407-57-3.
- Geyer WA, Naughton G.G. & Melicar M.W. (1985). Biomass gains in coppicing trees for energy crops. Proc. Energy for biomass third E.C. conference. Venice, Italy; March 25-29, 1985. London and New York: Elsevier Applied Science Publishers, pp. 269-73.

- Geyer, W.A. (1993). Influence of environmental factors on woody biomass productivity in the Central Great Plains, U.S.A." *Biomass and bioenergy* 4(5): 333-337.
- Geyer W.A. (2006). Biomass production in the Central Great Plains USA under various coppice regimes. *Biomass and Bioenergy* 30 (8-9): 778-783.
- Gominho J., Lourenco A., Palma P., Lourenco M.E., Curt M.D., Fernández, J. & Pereira H. (2011). Large scale cultivation of *Cynara cardunculus* L. for biomass production. A case study. *Industrial Crops and Products* 33: 1-6.
- Gonzalez Cortes J. (1996). Estudio de la productividad del cardo (*Cynara cardunculus* L.) y obtención de combustibles a partir de su biomasa lignocelulósica por procesos termoquímicos. Tesis Doctoral. ETS Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.
- Hidalgo M. & Fernández J. (2000). Biomass production of ten populations of giant reed (*Arundo donax* L.) under the environmental conditions of Madrid (Spain). 1st World Conf. on Biomass for Energy and Industry. Vol. I: 1881-1884.
- Iriarte L. (2008). Caracterización del olmo de Siberia (*Ulmus pumila* L.) como cultivo energético. Tesis Doctoral. ETS Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.
- Jeguirim M., Dorge S. & Trouvé G. (2010). Thermogravimetric analysis and emission characteristics of two energy crops in air atmosphere: *Arundo donax* and *Miscanthus giganteus*. *Bioresource Technology* 101 788–793
- Mantineo M., D'Agosta G.M., Copani V., Patane C. & Cosentino S.L. (2009). Biomass yield and energy balance of three perennial crops for energy use in the semi-arid Mediterranean environment. *Field Crops Research* 114: 204–213.
- Mateo Barrientos, F. (2012). Co-Combustion. Iberdrola. Ponencia presentada en el Ciclo 'Biomasa' del Seminario Permanente de Tecnologías Energéticas. Instituto de la Ingeniería de España. 21 marzo 2012.
- McKendry P. (2002a). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology* 83: 37–46
- McKendry P. (2002b). Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource Technology* 83: 47–54.
- McKendry P. (2002c). Energy production from biomass (part 3): gasification technologies. *Bioresource Technology* 83: 55–63
- Pascoal Neto C., Seca A., Nunes A.M., Coimbra M.A., Domingues F., Evtuguin D., Silvestre A. & Cavaleiro J.A.S. (1997). Variations in chemical composition and structure of macromolecular components in different morphological regions and maturity stages of *Arundo donax* *Industrial Crops and Products* 6: 51-58.
- Pérez, I., Pérez, J., Carrasco, J.E. & Ciria, P. 2011. *Ulmus pumila* under irrigated and rainfed continental conditions in the first year of growth. En: Faulstich M., Ossenbrink H., Dallemand J.F., Baxter D., Grassi A. and Helm P (Ed.), Proceedings of the 19TH European Biomass Conference, p. 765 – 769. ISBN 978-88-89407-55-7.
- Real Decreto 401/2012, de 17 de febrero, por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Sanz M., Curt M.D., Plaza A., García-Müller M. & Fernández J. (2011). Assessment of Siberian elm coppicing cycle. En: Faulstich M., Ossenbrink H., Dallemand J.F., Baxter D., Grassi A. and Helm P (Ed.), Proceedings of the 19th European Biomass Conference, p. 601-605, ISBN 978-88-89407-55-7.
- Sixto H., Hernández M.J., Barrio M., Carrasco J., Cañellas I. (2007). Plantaciones del género *Populus* para la producción de biomasa con fines energéticos: revisión. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 16(3), 277-294.