

Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía
Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente

?
?
?
?
?
?
?

Ensayos con Cultivos Energéticos

Período 2005 – 2010

Síntesis de resultados y principales conclusiones

Noviembre de 2012



Destinatario: SECRETARÍA GENERAL DE AGRICULTURA Y ALIMENTACIÓN



Ensayos con Cultivos Energéticos

Período 2005 – 2010

Síntesis de resultados y principales conclusiones

Índice de contenido

1.Introducción.....	2
2.Objetivos y evolución de la red de ensayos con cultivos energéticos.....	4
3.Comportamiento de las especies bajo ensayo.....	7
3.1. <i>Cultivos herbáceos</i>	7
3.1.1. <i>Cynara cardunculus</i>	7
3.1.2. <i>Arundo donax</i> L.....	11
3.1.3. <i>Miscanthus</i> sp.....	16
3.1.4. Cultivos convencionales con uso energético.....	20
3.2. <i>Cultivos leñosos</i>	24
3.2.1. <i>Casuarina</i> sp.....	24
3.2.2. <i>Eucaliptus</i> sp.....	30
3.2.3. <i>Jatropha curcas</i>	36
3.2.4. <i>Paulownia</i> sp.....	37
3.2.5. <i>Populus</i> sp.....	41
4.Indicadores de sostenibilidad de las especies energéticas.....	45
4.1. <i>Indicadores propuestos</i>	45
4.2. <i>Resultados obtenidos</i>	54
5.Conclusiones.....	67
6.Aspectos a considerar en futuros ensayos con cultivos energéticos.....	69
Bibliografía.....	71
Anexo I. Mediciones.....	72

1. Introducción

Los impactos medioambientales generados por el uso masivo de los combustibles sólidos, la volatilidad continuada de los precios del petróleo y de sus derivados, las crisis alimentarias de los últimos años que han puesto bajo sospecha la utilización de determinadas materias primas agrícolas, como cereales y oleaginosas, para la producción de biocombustibles líquidos, así como las críticas de ciertos sectores sociales por el uso de tierras agrarias para la instauración intensiva de especies energéticas, han hecho necesario que en los últimos años se avance y profundice en el **estudio y análisis de especies energéticas** cuyo destino específico sea la **producción de biocombustibles** (sólidos y/o líquidos), y que puedan crecer y desarrollarse en terrenos marginales, dejando los suelos más ricos y con mejores aptitudes agronómicas a las producciones de alimentos.

Durante los últimos años el desarrollo de la biomasa de cultivos energéticos para la producción de combustibles o carburantes se ha convertido en una **actividad innovadora** que está adquiriendo una gran importancia en el marco de la lucha contra la contaminación, y más específicamente, frente al efecto invernadero, así como en las **estrategias de mitigación y de adaptación del cambio climático**. Los cultivos energéticos son una fuente de energía renovable puesto que su contenido energético procede en última instancia de la energía solar fijada por los cultivos en el proceso fotosintético. Asimismo, en general se trata de especies rústicas con una excelente adaptabilidad a diferentes entornos, permitiendo su implantación en suelos poco fértiles y no aptos para el desarrollo de otras especies, así como en condiciones de cultivo más extremas que puedan derivarse las alteraciones derivadas del cambio climático.

En este sentido, especies herbáceas que no compiten directamente en el mercado alimentario, y que se adaptan eficazmente a todo tipo de condiciones de cultivo (caña común, miscanto, etc.), o especies leñosas de rotación corta, que también se adaptan óptimamente a toda clase de entornos, y que presentan una excelente productividad y calidad de su biomasa (casuarina, eucalipto, paulownia, chopo, etc.), se convierten en especies de gran interés por su potencial aprovechamiento energético.

Por otro lado, el desarrollo de los cultivos energéticos generalmente supone la **diversificación del sector agrícola y del mercado laboral en los entornos rurales** en los que éstos puedan implantarse. Además de convertirse en una fuente de energía renovable de gran interés para las propias explotaciones agrarias de los entornos en las que se desarrollan, permitiendo reducir la dependencia energética exterior y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al sector agrario, la producción de biomasa favorece el mantenimiento y desarrollo de los sectores agrario e industrial, generando beneficios añadidos a través de la valorización de los residuos orgánicos, la sustitución de combustibles fósiles en el transporte en el corto y medio plazo, así como la obtención de un gran número de materiales y compuestos químicos de uso agrícola e industrial. Se trata, por tanto, de un subsector innovador y sostenible dentro del sector primario andaluz, que puede establecer sinergias con otros sectores económicos como el secundario (industria, energía, etc.) y terciario (comercio, I+D+i+F, etc.), permitiendo avanzar y profundizar en los ámbitos de actuación en las acciones y estrategias de desarrollo rural en los territorios andaluces.

El fomento del uso de energías procedentes de fuentes renovables, junto con el ahorro energético y una mayor eficiencia energética, son líneas estratégicas fundamentales para lograr la reducción de las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) y cumplir el

Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, así como otro conjunto de compromisos nacionales, europeos e internacionales relacionados con la reducción de las emisiones de GEI más allá del año 2012. En este sentido, el **Cuarto Informe de Evaluación del IPCC** considera que el conjunto de las prácticas agrícolas puede suponer contribuciones significativas a la mitigación del cambio climático. Entre ellas, y en el ámbito que nos ocupa, cabe destacar la **puesta en cultivo de materias primas agrícolas destinadas a la extracción de biocombustibles para usos energéticos**. Asimismo, el **Programa de Mitigación del Plan Andaluz de Acción por el Clima**, en el marco de las energías renovables, señala entre sus objetivos y medidas, el **“aprovechamiento energético de la biomasa”** a través del fomento de los cultivos energéticos y del aprovechamiento de la biomasa forestal.

Por otro lado, en el **Programa Andaluz de Adaptación al Cambio Climático del Plan Andaluz de Acción por el Clima**, frente a los potenciales impactos derivados del cambio climático, se establecen medidas como son el **“diseño de una estrategia que potencie el desarrollo de cultivos forestales energéticos”** o la **“introducción de variedades y especies de ciclo más largo, más resistentes a la sequía y más tolerantes a las temperaturas”**, ambas en clara consonancia con el marco de análisis del trabajo realizado.

Con el objetivo de avanzar hacia un modelo productivo sostenible de cultivos energéticos en Andalucía que aborde de forma integrada los aspectos de índole económica, social y ambiental que éste supone, la Consejería de Agricultura y Pesca de Andalucía puso en marcha, a través de su Secretaría General de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural¹, una red de ensayos en fincas de titularidad pública que promoviese la introducción de estos cultivos en Andalucía. La Empresa Pública Desarrollo Agrario y Pesquero² como entidad encargada desde su creación de la gestión y administración de las fincas públicas, fue la responsable de ponerlo en marcha en 2006³, continuándolo desde entonces en años posteriores.

El **diseño de los ensayos** partió del conocimiento de los recursos naturales de cada explotación y de la valoración de las alternativas que permitían el desarrollo sostenible de sus aprovechamientos, y que a la vez hiciera compatible una gestión rentable, la mejora de las explotaciones, y la innovación y transferencia al sector.

Si inicialmente la red de ensayos de cultivos energéticos se fundamentó en la puesta en marcha y desarrollo de ensayos en los que se analizaban principalmente especies herbáceas como el cardo en la campaña 2005 – 2006, y el trigo y la colza en la 2006 – 2007, en los años siguientes pivotó en torno a especies leñosas como la paulownia en la campaña 2007 – 2008, y la casuarina, el eucalipto y el chopo a partir de la 2008 – 2009.

La **selección de las fincas y parcelas** en las que se establecieron los cultivos se realizó atendiendo a una serie de particularidades, en concreto, a las potencialidades agronómicas, las condiciones climáticas favorables a la adaptación de los cultivos elegidos, al emplazamiento adecuado que permitiese la demostración y el aprovisionamiento de las posibles empresas

¹ Actualmente, Secretaría General del Medio Rural y Producción Ecológica.

² Actualmente, Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía (AGAPA).

³ En 2005, previamente a la puesta en marcha de la red de ensayos de cultivos energéticos, la Empresa Pública Desarrollo Agrario y Pesquero llevó a cabo unas primeras experiencias con especies energéticas, en particular, con cardo. Así, en ese año se estableció un conjunto de experiencias que tenía como finalidad el conocimiento de la adaptación y evaluación del comportamiento de esta especie en diferentes entornos, condiciones edafoclimáticas, manejos de cultivo, etc., así como su potencial productivo.

interesadas en la producción y a la disponibilidad de superficie suficiente para cubrir las expectativas de la red de ensayos.

Por otra parte, cabe indicar que los ensayos realizados a partir de 2009 forman parte de un Proyecto Piloto de Investigación sobre especies de Cultivos Energéticos para Biomasa en Andalucía, según lo establecido en el Protocolo de Actuaciones Común acordado por todos los participantes de noviembre de 2008.

En este Proyecto, dirigido por la Sociedad Andaluza de Valorización de la Biomasa (SAVB), la Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente asumió las siguientes funciones:

- Participar como socio productor a través de la Empresa Pública de Desarrollo Agrícola y Pesquero y a través de EGMASA
- Estudiar la problemática y plantear las soluciones más convenientes a la situación legal que se crea para aquellos productores de cultivos energéticos que estén sujetos a ayudas PAC, en concreto, y de forma general, estudiar el marco legal más conveniente en el que se deberían mover los cultivos energéticos para no ver dificultado su desarrollo.
- Colaborar en la correcta adecuación medioambiental del proyecto.
- **Transferir y divulgar los resultados, tanto intermedios como finales, mediante los medios adecuados.**
- Participar en las labores de seguimiento y coordinación del proyecto.

Por otra parte, El IFAPA se ha encargado de coordinar y evaluar los ensayos, y la Agencia Andaluza de la Energía es responsable de la caracterización energética de las especies testadas. Igualmente forman parte del Proyecto diferentes empresas públicas y privadas que colaboran a través de la implantación y desarrollo de parcelas de ensayo, o mediante pruebas de consumo de biomasa. En otras cuestiones científico-técnicas se cuenta, además, con la colaboración de otras instituciones públicas y privadas como CIEMAT, CTAER, IDAE, y varias universidades.

Como resultado del Proyecto, IFAPA elaboró un Informe Final que fue presentado por SAVB a todos los socios del mismo el 11 de octubre de 2011 y cuya información se ha utilizado en algunos apartados del presente estudio (como por ejemplo, protocolos de recolección y estimación de las producciones, aspectos climáticos de los ensayos, mediciones de los ejemplares de las experiencias desarrolladas, etc.). Igualmente, la información sobre los cultivos correspondiente a 2009 y 2010 ha sido facilitada por el equipo técnico del Proyecto Piloto.

2. Objetivos y evolución de la red de ensayos con cultivos energéticos

El **objetivo general** del presente informe es **resumir los resultados y principales conclusiones de las experiencias realizadas con cultivos energéticos** llevadas a cabo durante los últimos cinco en fincas de titularidad pública.



Cabe indicar que los objetivos que se perseguían poniendo en marcha los ensayos con especies energéticas eran los siguientes:

1. Avanzar en el conocimiento de especies específicamente energéticas, profundizando en el estudio y evolución de su comportamiento en campo, en particular en la adaptación de éstos durante los años posteriores a su puesta en cultivo.
2. Conocer los problemas y obstáculos a los que tiene que hacer frente un agricultor al poner en cultivo especies específicamente energéticas, en cuanto al material vegetal empleado, manejo de cultivo, etc.
3. Estudiar los costes en los que se incurre a la hora de implantar los cultivos.
4. Transferir y divulgar los resultados y experiencias en cuanto a la instauración, desarrollo y producciones potenciales de los cultivos energéticos incluidos en la red de ensayos.

Los primeros ensayos relacionados con cultivos energéticos que se iniciaron en fincas de titularidad pública comenzaron en **2005** con ***Cynara cardunculus***, antes de que se pusiera en marcha la red de ensayos como tal. En ese año se iniciaron ensayos para estudiar su adaptación y evaluar su comportamiento frente a distintas técnicas de cultivo, tipos de suelos, condiciones climáticas, etc., así como su potencial productivo. Con ellos, se pretendía conocer el adecuado manejo de esta especie y analizar sus potencialidades para la obtención de biomasa y de aceite para la producción de biodiésel.

En **2006** arranca la red de ensayos de cultivos energéticos de la Consejería de Agricultura y Pesca. En ella se incluyeron los ensayos con el **cardo** iniciados el año precedente, y otros con **trigo** para producción de etanol y **colza** para producción de biodiésel.

Durante 2006 y 2007, el contexto de los mercados internacionales y nacionales de las materias primas agrícolas, principalmente cereales y oleaginosas, se caracterizó por un notable desabastecimiento y un acusado incremento de los precios. Fue esta una de las razones por las que en **2008** se introdujeron especies específicamente energéticas, en concreto, cultivos cuyo principal destino era la obtención de biomasa lignocelulósica para la producción de biocombustibles sólidos y líquidos. Así, pasaron a formar parte de la red de ensayos especies como el ***Arundo donax L.*** (caña común), la ***Paulownia sp.*** y el ***Sorghum bicolor*** (sorgo papelero) para la producción de biomasa lignocelulósica, y la ***Jatropha curcas L.*** para la producción de biodiésel. Igualmente, continuaron las experiencias iniciadas con ***Cynara cardunculus L.*** en los años anteriores.

Los resultados de los ensayos pusieron de manifiesto la buena adaptabilidad de la caña común y la paulownia a las zonas en las que fueron instauradas. Asimismo, en relación a la caracterización de la biomasa de estos cultivos resaltar que se obtuvieron resultados que revelaron su buena calidad para este aprovechamiento.

En cuanto al sorgo papelero y al cardo señalar que presentaron ciertas limitaciones para su expansión como fuente de biomasa lignocelulósica con aprovechamiento energético. Igualmente, las plantaciones de jatrofa sufrieron importantes daños como consecuencia de las heladas acaecidas a finales de noviembre y principios de diciembre de 2008, propiciando que se desestimara la continuidad de sus ensayos durante el siguiente año.

En **2009**, además de continuar con los ensayos iniciados años anteriores con **cardo** y **caña común**, y tras los excelentes resultados obtenidos en los ensayos de **paulownia** en 2008, se ampliaron las superficies dedicadas a esta especie, tanto en las fincas en las que ya que se encontraba instaurada como en otras nuevas. Asimismo, se iniciaron ensayos con otras tres



especies leñosas de rotación corta: ***Casuarina sp.***, ***Eucaliptus sp.*** y ***Populus sp.*** Todas ellas presentaron una excelente adaptabilidad en los entornos en los que se instauraron, sin incidencias significativas durante sus primeros estadios de desarrollo y crecimiento.

Finalmente, en **2010** se mantuvieron los ensayos con especies energéticas iniciadas en 2005, con ***Cynara cardunculus***, en 2008 con ***Arundo donax*** y ***Paulownia sp.***, y en 2009 con ***Casuarina sp.***, ***Eucaliptus sp.***, ***Miscanthus sp.*** y ***Populus sp.***

Tabla 1 Evolución de los ensayos con **cultivos herbáceos** (período 2005 – 2010).

Cultivo	Año de inicio del primer ensayo	¿Continúa bajo ensayo?	Ultimo año en ensayo
<i>Arundo donax</i> L.	2008	SI	-
<i>Brassica carinata</i>	2006	NO	2007
<i>Cynara cardunculus</i> L.	2005	SI	-
<i>Miscanthus</i> sp.	2009	SI	-
<i>Sorghum bicolor</i>	2008	NO	2008
<i>Triticum</i> spp.	2006	NO	2007

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2 Evolución de los ensayos con **cultivos leñosos** (período 2005 – 2010).

Cultivo	Año de inicio del primer ensayo	¿Continúa bajo ensayo?	Ultimo año en ensayo
<i>Casuarina</i> sp.	2009	SI	-
<i>Eucalyptus</i> sp.	2009	SI	-
<i>Jatropha curcas</i>	2005	SI	-
<i>Paulownia</i> sp.	2008	SI	-
<i>Populus</i> sp.	2009	SI	-

Fuente: Elaboración propia.

3. Comportamiento de las especies bajo ensayo

3.1. Cultivos herbáceos

3.1.1. *Cynara cardunculus*

Descripción general

Especie herbácea vivaz perteneciente a la familia de las Compuestas, que presenta **gran potencial productivo de biomasa** y cuyo ciclo natural tiene una duración que varía entre 6 y 15 años

Su **sistema radicular pivotante** le permite utilizar las aguas de lluvia infiltradas en el subsuelo durante el otoño, invierno y primavera y ser **muy eficiente en la utilización de nutrientes**

Sus yemas de recambio originan nuevas plantas en los años siguientes al de su plantación (se trata de un **cultivo plurianual**)

La rápida cobertura de la superficie por el cultivo favorece la captación de radiación solar y que disminuya la cantidad de malas hierbas adventicias que afectan al cultivo

Su **período de producción es largo**, y tiene capacidad de realizar la fotosíntesis a bajas temperaturas durante la época invernal

Su ciclo de desarrollo se encuentra adaptado a la sequía estival



Orientación del cultivo		Lignocelulósico y oleaginoso
Posibles destinos de la producción		Obtención de energía térmica y eléctrica a partir de su biomasa Producción de biodiésel a partir del aceite que hay en su semilla
Cualidades agronómicas	Generales	Cultivo plurianual de secano muy productivo y de gran rusticidad adaptado a las condiciones de clima semiárido
	Limitantes para su cultivo	No resiste las heladas durante sus primeros estadios de desarrollo Sensible al encharcamiento
Aspectos teóricos relativos al manejo del cultivo		Aunque no hay constancia de producción comercial de semilla en Andalucía, no se ha tenido dificultad para obtener la necesaria Posibilidad de realizar dos recolecciones de masa aérea al año El manejo durante el primer año de cultivo es diferente al que requiere el resto de años de la plantación (en los que sólo se realiza el mantenimiento y la recolección del cultivo, y si acaso una fertilización) Los tratamientos contra plagas (<i>cassida</i> y pulgón) son importantes ya que éstas pueden afectar gravemente al cultivo provocando defoliaciones masivas (IFAPA, 2011)
Maquinaria utilizada	Siembra	No existe maquinaria específica para la siembra. En los ensayos realizados se emplearon sembradoras de precisión, mecánicas y de chorrillo

	Recolección	<p>No existe maquinaria específica para la recolección, si bien se suelen emplear cosechadoras convencionales de cereal o girasol modificadas</p> <p>Durante las campañas en las que se han realizado ensayos con esta especie se ha empleado maquinaria diversa para la recolección en función, de su disponibilidad en los momentos de la cosecha, y con el fin de profundizar en la mejora de la eficacia y eficiencia de esta labor Destaca el uso de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Segadoras de cuchillas, segadoras-acondicionadas de forraje y segadoras picadoras de forraje • Cosechadoras de forrajes autopropulsadas con picador • Picadoras autopropulsadas de forraje de maíz • Desbrozadoras manuales <p>En algunas experiencias también se empleó maquinaria para la recogida, acopio y acondicionamiento de la biomasa cosechada:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hileradoras • Rastrillos hileradores • Empacadoras • Rotoempacadoras • Tractores con remolque • Tractores con rulo
Caracterización de su biomasa		<p>El aprovechamiento energético de la biomasa lignocelulósica del cardo es poco viable debido a su bajo poder calorífico y a los elevados niveles de cloro e índice álcali que presenta su biomasa, que resultan importantes factores limitantes para su empleo en calderas</p> <p>Además, genera fibras en la combustión en calderas, que perjudican el proceso, en particular en las etapas de triturado y cribado</p> <p>También presenta dificultad para su peletización (su pelet tiende a desmoronarse con gran facilidad) por lo que ha de mezclarse con otros tipos de biomasa, como restos de poda de olivar, para mejorar su compactación</p>
Potencialidad de cultivo en Andalucía		Necesidad de mayor experimentación, fundamentalmente en relación a su manejo

Duración de los ensayos

Cultivo	Finca	Localización	Año		Superficie (ha)	
			Inicio ensayo	Fin ensayo	Inicio	Actual
CYNARA CARDUNCULUS	"Cortijo de Enmedio"	Moclín (Granada)	2006	Continúa	2,00	0,082
	"La Parra"	Puebla de Don Fadrique (Granada)	2006	2007	2,00	0,00
	"Los Embalses"	Campillos (Málaga)	2006	Continúa	2,00	1,50
	"Majarambú"	Castellar (Cádiz)	2005		10,00	8,00
	"Somonte"	Palma del Río (Córdoba)	2005		2,00	1,50
	Total					18,00

Fuente: Elaboración propia.

Productividad

La **productividad** del cardo durante el período de estudio presenta una **gran variabilidad** que puede ser debida a que sus ensayos se realizaron en emplazamientos con características

edafoclimáticas muy distintas así como al hecho de que la estimación de sus rendimientos se hizo con metodologías diferentes. Así, en 2009 y 2010 la estimación del rendimiento se hizo pesando la producción de una superficie determinada, en una o varias subparcelas de cada ensayo, por lo que se obtuvieron producciones potenciales, y no reales (puesto que no se pesó todo el material cosechado).

Tabla 3 Evolución del rendimiento del cardo en el periodo 2006 – 2010 (kg materia seca/ha).

Finca	Rendimiento (kg materia seca/ha)				
	2006	2007	2008 (**)	2009	2010
“Cortijo de Enmedio (*)	554	19.801	37.643	26.000	40.000
“La Parra”	-	4.000	-	-	-
“Los Embalses”	-	-	5.777	18.500	33.750
“Majarambú”	-	5.000	3.370	5.700	4.620
“Somonte”	500	-	6.801	25.000	28.529

(*) Para los años 2006 y 2007 se presentan valores medios de los ensayos llevados a cabo en Cortijo de Enmedio: en 2006 se obtuvieron dos datos de rendimiento, uno en la parcela de laboreo convencional y otro en la parcela de no laboreo, de 518 y 589 kg materia seca/ha respectivamente; y en 2007 se obtuvieron cinco datos de rendimiento, dos en una parcela de laboreo convencional y tres en una parcela de no laboreo, de 14.886, 45.498, 20.000, 4.716 y 35.962 kg materia seca/ha respectivamente.

(**) Los rendimientos de 2008, inicialmente en verde, se transformaron en rendimiento seco extrapolando el dato de humedad de dos fincas: “Los Embalses” y “Majarambú” (humedad del 30%).

Fuente: Elaboración propia.

Respecto al **suelo**, las experiencias se desarrollaron en terrenos con **características muy diferentes**:

- En “Cortijo de Enmedio” el suelo es básico, tiene un nivel adecuado de materia orgánica pero es pobre en nitrógeno.
- En “La Parra” el suelo es arcillo-arenoso, fuertemente básico y presenta un alto contenido en materia orgánica y adecuado en nitrógeno.
- En “Los Embalses” el suelo es arcilloso, básico y presenta un contenido adecuado de materia orgánica.
- En “Majarambú” el suelo es arenoso, muy poco fértil, básico y tiene un contenido moderado en materia orgánica y nitrógeno.
- En “Somonte”, el suelo es franco-arcilloso, básico y su contenido de materia orgánica es medio-alto.

Respecto a las **condiciones climáticas** bajo las que ha crecido el cardo, destacar lo sucedido en la campaña agrícola 2009/2010, climáticamente atípica, con un otoño seco, unos inviernos y primavera con abundantes precipitaciones, muy superiores a la media andaluza, y un verano muy caluroso. La campaña agrícola 2010/2011 también fue atípica en cuanto a la abundancia de precipitaciones, si bien éstas se registraron desde el inicio del otoño, alternando períodos de varios días de abundantes precipitaciones con otros de días secos. Asimismo, la primavera fue cálida, con temperaturas muy elevadas (IFAPA, 2011).



No obstante, de los resultados obtenidos destaca la evolución positiva de la productividad de los ensayos de “Los Embalses” y “Somonte”. Igualmente, resaltan los rendimientos alcanzados en “Cortijo de Enmedio”. Respecto a “Majarambú”, si bien entre 2007 y 2010 presenta una productividad muy pareja, se trata de la finca en la que, en general, se han obtenido menores rendimientos, hecho que podría justificarse por el tipo de suelo en el que se ha venido desarrollando el ensayo, que corresponde a un suelo arenoso, que ha hecho que quedase limitada su producción. Asimismo, la finca de “Majarambú” se localiza en una zona muy azotada por vientos de Levante, lo que dificulta un desarrollo óptimo de los cultivos.

Conclusiones a destacar tras los ensayos con el cultivo

- Se trata de un cultivo de **gran rusticidad**, que se adapta a todo tipo de entornos.
- Su **manejo cultural es sencillo**; precisa de escasas labores de mantenimiento.
- Posee un **gran potencial productivo de biomasa y gran capacidad de rebrote**.
- Posee **baja calidad como forraje y para aprovechamiento energético**: biomasa con escaso poder calorífico, elevados niveles de cloro e índice álcali (que limitan su uso en calderas), genera fibras perjudiciales durante su combustión en calderas y de difícil peletización (tendencia al desmoronamiento; necesidad de mezclar con otras biomásas).

3.1.2. *Arundo donax* L.

Descripción general

Planta herbácea, perenne, rizomatosa, perteneciente a la familia de las Poáceas

Considerada como una importante especie invasora, coloniza zonas húmedas y ocupa grandes extensiones de terreno en poco tiempo, no permitiendo la recuperación de la vegetación natural

Su principal uso es ornamental (formación de setos), si bien, **su tallo presenta aprovechamiento energético** y maderero



Orientación del cultivo		Lignocelulósico
Posibles destinos de la producción		Obtención de energía térmica o eléctrica a partir de su biomasa
Cualidades agronómicas	Generales	Rusticidad: se adapta bien a muy diversos entornos Tolera la salinidad en la costa, presenta elevada nitrofilia y crece bien tanto en suelos pesados como en suelos arenosos Desarrolla una intensa cobertura del suelo que dificulta el crecimiento de malas hierbas Resiste tanto condiciones muy húmedas como secas prolongadas
	Limitantes para su cultivo	Los hábitats preferentes para su cultivo son los bordes de cursos de agua Tolera todo tipo de suelos No presenta, en general, limitantes para su cultivo. Crece mejor si, durante el primer año de cultivo, dispone de riego, si bien posteriormente los requerimientos hídricos que necesita son mínimos (entre 300 y 400 mm/año)
Aspectos teóricos relativos al manejo del cultivo		Existe carencia de clones y/o material vegetal mejorado por lo que para su implantación se debe recurrir a cañaverales silvestres para la extracción del material vegetal de partida. Los ejemplares situados en el perímetro externo del cañaveral son los que al encontrarse en condiciones de mayor aireación, tienen mejor desarrollo vegetativo (mayor y mejor exposición a la luz solar) Igualmente, a la hora de seleccionar el material vegetal de partida, es necesario tener en cuenta la presencia de <i>Phytophthora</i> , así como el grado de humedad del mismo Necesidad de escasas labores de cultivo para su instauración, crecimiento, mantenimiento y desarrollo Equilibrio entre el consumo de agua de la planta y el rendimiento obtenido por el cultivo
Maquinaria utilizada	Siembra	Tras los ensayos realizados se constata que se obtienen mejores resultados con la siembra horizontal del material vegetal de partida frente a su enterramiento en vertical
	Recolección	En la primera campaña se empleó una cosechadora picadora de maíz forrajero. El resto de campañas esta labor cultural fue manual, utilizándose una desbrozadora con disco de corte de sierra
Caracterización de su biomasa		La biomasa presenta excelentes valores de PCI en base seca , un nivel de cenizas algo elevado y niveles de cloruros , en general, por debajo del límite máximo recomendado para su uso en calderas , si bien, en algunos casos puede presentar niveles significativos que provoquen emisiones y corrosión de las calderas Se recomienda controlar la temperatura de la caldera, mezclar biocombustibles de distinta calidad, usar aditivos, y optimizar el diseño de las parrillas y la configuración de la caldera

Potencialidad de cultivo en Andalucía	Hábitats con cierta humedad edáfica (lugares de vías de aguas en riachuelos, márgenes de cañaverales, etc.) Proximidades a canales y canalizaciones
---------------------------------------	--

Duración de los ensayos

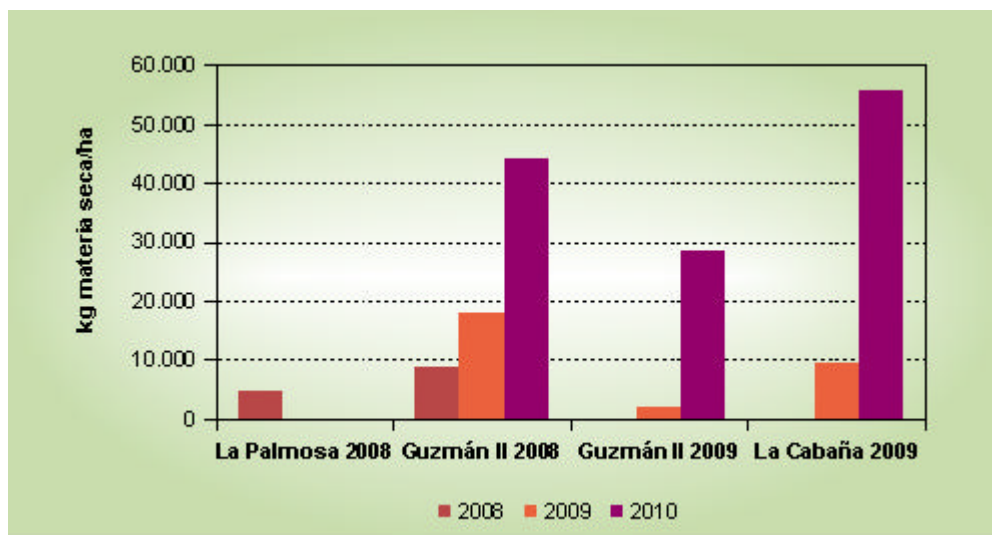
Cultivo	Finca	Localización	Año		Nombre del ensayo	Superficie (ha)	
			Inicio ensayo	Fin ensayo		Inicio	Actual
ARUNDO DONAX	"Guzmán II"	Palma del Río (Córdoba)	2008	Continúa	Guzmán II 2008	0,20	0,20
			2009		Guzmán II 2009	0,50	0,50
	"La Cabaña"	La Rinconada (Sevilla)	2009		La Cabaña 2009	0,42	0,42
	"La Palmosa"	Palma del Río (Córdoba)	2008	2008	La Palmosa 2008	0,10	0,00
	Total						1,22

Fuente: Elaboración propia.

Productividad

En el siguiente gráfico se muestra la evolución del rendimiento de la caña común en 2008, 2009 y 2010, para cada uno de los ensayos. El número después de la ubicación del ensayo es el año de inicio de éste.

Gráfico 1 Evolución del rendimiento de los ensayos con caña común en el período 2008 – 2010 (kg materia seca/ha).



Fuente: Elaboración propia (datos de 2009 proporcionados por SAVB).

Como ya se ha mencionado, se observan importantes diferencias en los rendimientos obtenidos tanto entre fincas, como entre localizaciones dentro de una misma finca y entre años de ensayo. Estas diferencias pueden deberse a **diversos factores** que intervienen en el rendimiento, principalmente suelo (textura, pH, contenido en N y materia orgánica), clima, riego, precipitaciones y manejo.

Respecto a la **textura del suelo**, partiendo de que la caña común puede desarrollarse incluso en terrenos arenosos, como se señalaba en la ficha de cultivo, las parcelas donde se instauró presentan una textura franco-arcillo-arenosa en “La Palmosa”, franco-arcillosa en “Guzmán II” y arcillosa en “La Cabaña”), no siendo posible determinar si las variaciones en rendimientos tienen que ver con este factor.

El **pH de los suelos**, básico en todas las parcelas, no ha resultado un factor restrictivo a la implantación y desarrollo del cultivo. En cuanto al **contenido en nitrógeno**, tanto las parcelas de ensayo de “La Palmosa” como las de “Guzmán II” y “La Cabaña”, son pobres o muy pobres respectivamente, en dicho elemento. No obstante, en la bibliografía se recomienda no abonar con N durante el primer año de cultivo para evitar la proliferación de malas hierbas⁴, y sí hacerlo, mediante abonados de restitución, en los años sucesivos de la plantación. Esto fue lo que se hizo en los ensayos de caña.

Relacionado con lo anterior, el **contenido en materia orgánica** de las parcelas de ensayo resultó adecuado en “La Palmosa”, mientras que en los ensayos que aún continúan en “Guzmán II” y “La Cabaña”, los suelos se caracterizan por ser pobres en materia orgánica.

Respecto a la elevada **salinidad del agua utilizada para regar** en los ensayos de caña donde se cultivó en regadío, indicar que no limitó el desarrollo del cultivo en ninguna de las dos fincas donde se dieron riegos (“Guzmán II” y “La Cabaña”). Ya se mencionó que la caña tolera bien la salinidad.

El aporte de nitrógeno y el riego sí parecen tener un papel relevante, y por otro lado esperable, en los incrementos de rendimiento del cultivo. En la Tabla 4 se presenta la información relativa a **rendimientos y aportes anuales de nitrógeno y agua de riego** realizados en cada ensayo, por fincas, fecha de inicio de los ensayos y año de ensayo.

Tabla 4 Rendimiento seco, fertilización nitrogenada y dosis de riego en los ensayos de caña común iniciados en 2008 y 2009 en “La Palmosa”, “Guzmán II” y “La Cabaña”.

Año de cosecha	Ensayos iniciados en 2008					
	“La Palmosa”			“Guzmán II”		
	kg materia seca/ha	kg nitrógeno/ha	m ³ /ha	kg materia seca/ha	kg nitrógeno/ha	m ³ /ha
2008	4.560	-	-	8.928	nd	600
2009	-	-	-	17.957	34,50	1.528,45
2010	-	-	-	44.010	nd	5.294,60
Año de cosecha	Ensayos iniciados en 2009					
	“Guzmán II”			“La Cabaña”		
	kg materia seca/ha	kg nitrógeno/ha	m ³ /ha	kg materia seca/ha	kg nitrógeno/ha	m ³ /ha
2009	1.983	-	4.429,80	9.300	-	8.388,31
2010	28.426	76,00	5.586,24	55.550	154,76	10.795,24

Fuente: Elaboración propia.

⁴ “Informe Final. Proyecto Piloto de Investigación sobre Especies de Cultivos Energéticos para Biomasa en Andalucía” (Cultivo de Arundo donax para biomasa) (Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura y Pesca. 2011).



En 2008, los ensayos iniciados en “Guzmán II” se realizaron en regadío y los de “La Palmosa” en secano, resultando el rendimiento de ese primer año de cultivo (único año en el que los datos permiten realizar la comparación) en Guzmán II casi el doble que el de “La Palmosa”.

Del mismo modo en los ensayos iniciados en 2009 en “Guzmán II” y “La Cabaña”, ambos en regadío, también se observa la respuesta positiva del rendimiento ante el riego.

Los rendimientos de estos ensayos en 2010 son aún superiores probablemente debido a que además del riego, se realizan aportes de N, siendo su efecto en el rendimiento proporcional a la cantidad proporcionada al cultivo.

En condiciones de secano, la **pluviometría y el consumo de agua por la planta son factores muy relevantes** para el desarrollo del cultivo al ser la caña, como ya se ha mencionado, una especie muy eficiente en el uso del agua.

Tras la instauración de la caña en Guzmán II y La Cabaña en 2009, una primavera seca y de elevadas temperaturas motivó que se acentuasen las diferencias en rendimiento entre ensayos regados con distintas dosis.

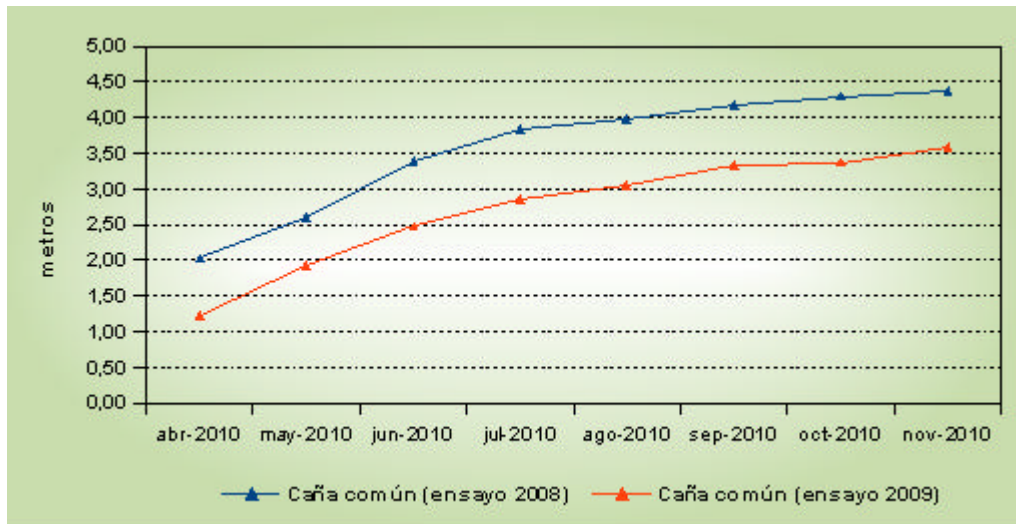
Lo comentado anteriormente, hace necesario **avanzar en el conocimiento de las necesidades de riego de esta especie** con el objetivo de lograr un **equilibrio entre su productividad y su consumo de agua**.

Por otra parte, cabe señalar que parte de la **variabilidad de rendimientos** registrada puede también ser debida a los **métodos de estimación** utilizados en cada año no han sido idénticos. Así, en 2009 se cortó la totalidad de la superficie de los ensayos y se procedió al pesado de la biomasa cosechada. Por el contrario, en 2010 se muestreo la producción de superficies de pequeña dimensión (diez metros cuadrados) de cada uno de los ensayos, estimándose los rendimientos a partir de dichos resultados.

Adicionalmente se ha de tener en cuenta que el rendimiento de la caña el primer año de cultivo es siempre inferior al que se obtiene los años posteriores. Esto se debe a que el primer año la planta desarrolla la raíz y tallos, mientras que a partir del segundo año las plantas desarrollan fundamentalmente biomasa aérea. Asimismo, los crecimientos en altura que se registran a partir del segundo año son superiores⁵ (Gráfico 2).

⁵A partir de abril de 2010 se iniciaron las tareas de medición de una muestra de plantas de caña común de las dos plantaciones de “Guzmán II” con el objetivo de analizar el desarrollo y crecimiento vegetativo de esta especie vegetal.

Gráfico 2 Evolución de la altura media de las plantas medidas en “Guzmán II” en 2010.



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones a destacar tras los ensayos con el cultivo

- ? **Necesidad de escasas labores culturales**, recomendándose la siembra horizontal frente al enterramiento del material vegetal de partida de forma vertical.
- ? **Carencia de clones y/o material vegetal mejorado** como material de partida.
- ? Si se usan cañaverales silvestres para iniciar los cultivos, elegir preferiblemente, **plantas situadas en el perímetro externo del cañaveral**.
- ? **Excelente calidad de la biomasa lignocelulósica**: excelente valor de PCI en base seca; nivel de cloruros, por debajo del límite máximo recomendado para su uso en calderas, si bien en algunos casos puede presentar niveles significativos de cloruros que generan emisiones y corrosión de las calderas; y nivel de cenizas, algo elevado.

3.1.3. *Miscanthus sp.*

Descripción general

Gramínea vivaz procedente de Asia que resulta particularmente interesante para la producción de biocarburantes

Muestra una **notable productividad**, que se explica por su metabolismo fotosintético C4

Se trata de una especie con **gran poder de rebrote** a partir de sus **rizomas**, por lo que el **ciclo del cultivo** puede tener una duración de **más de quince años**



Orientación del cultivo		Lignocelulósico
Posibles destinos de su producción		Obtención de energía térmica o eléctrica a partir de la biomasa
Cualidades agronómicas	Generales	Tras el primer año de cultivo, su crecimiento es rápido y no requiere el uso de herbicidas
	Limitantes para su cultivo	El primer año de cultivo es crítico (es en ese período cuando la planta desarrolla sus raíces). En esta fase el crecimiento vegetativo es escaso y la aparición de malas hierbas muy rápida, por lo que es necesario emplear herbicidas para asegurar el correcto enraizamiento de las plantas Tolera un amplio rango de suelos, si bien es necesario que presenten alta capacidad de retención de agua (aunque se trata de un cultivo sensible al encharcamiento). Prefiere suelos de textura arenosa o franco limosa, bien aireados y ricos en materia orgánica
Aspectos teóricos relativos al manejo del cultivo		Requiere pocos insumos para su cultivo, no requiriendo, en general, el empleo de fungicidas ni de insecticidas Posee altos requerimientos hídricos ; su respuesta al incremento de la dosis de riego es muy buena (mayor altura de caña, de número de hojas, de área foliar y, en definitiva, de rendimiento en biomasa)
Maquinaria utilizada	Siembra	Se propaga mediante reproducción vegetativa por rizomas o fragmentos de ellos, puesto que la producción de semilla de genotipos fértiles es escasa. En los ensayos desarrollados con esta especie se emplearon rizomas o fragmentos de éstos
	Recolección	Existen prototipos de cosechadoras para miscanto y también se utilizan cosechadoras de forraje modificadas (con cabezal tipo "Kemper") o segadoras-picadoras de forraje. En los ensayos esta tarea se realizó manualmente mediante desbrozadoras con disco de corte de sierra
Caracterización de su biomasa		Excelente poder calorífico Niveles de azufre y cloro óptimos Bajo nivel de ensuciamiento de calderas Presencia algo elevada de cenizas
Potencialidad de cultivo en Andalucía		Alto potencial como cultivo energético en Andalucía

Duración de los ensayos

Cultivo	Finca	Localización	Año		Superficie (ha)	
			Inicio ensayo	Fin ensayo	Inicio	Actual
MISCANTHUS SP.	"Cortijode Enmedio"	Moclín (Granada)	2009	Continúa	0,50	0,50
	"Guzmán II"	Palma del Río (Córdoba)			0,50	0,50
	"La Cabaña"	La Rinconada (Sevilla)		2009	0,50	0,00
	"Servicio de Plagas"	Dos Hermanas (Sevilla)		Continúa	0,50	0,50
	Total					2,00

Fuente: Elaboración propia

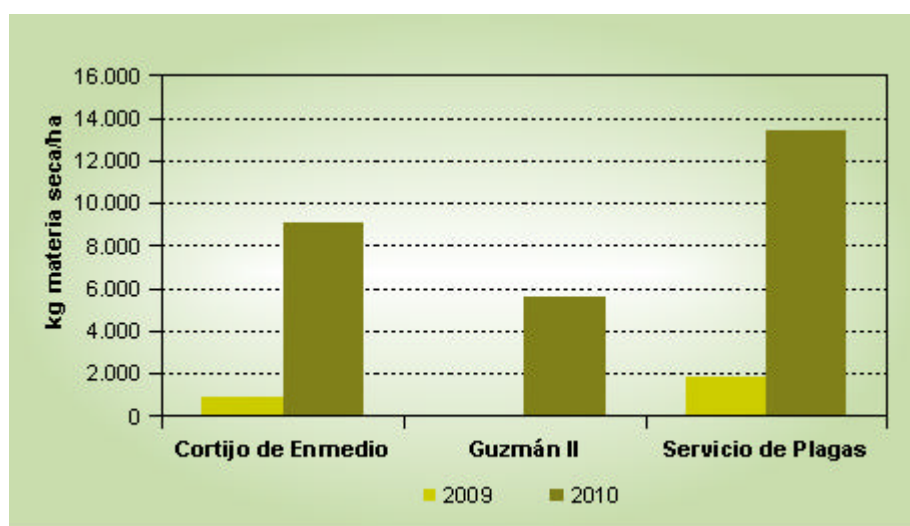
Productividad

Todos los ensayos de miscanto iniciados en 2009 continuaron en 2010, a excepción del establecido en "La Cabaña" que tuvo problemas de nascencia, lo que provocó su abandono.

El ensayo situado en "Guzmán II" mostró una escasa productividad, mientras que los de las otras dos ubicaciones ("Cortijo de Enmedio" y "Servicio de Plagas") presentaron un **comportamiento vegetativo óptimo** con una notable productividad en su segundo año de cultivo.

El Gráfico 3 muestra la evolución de la productividad del miscanto durante los dos años en que se vienen desarrollando los ensayos con esta especie.

Gráfico 3 Evolución del rendimiento del miscanto (años 2009 y 2010).



Fuente:Elaboración propia .

En la Tabla 5 se resumen los rendimientos de los distintos ensayos y las dosis de riego que recibieron.

Tabla 5 Rendimiento seco y dosis de riego de los ensayos de miscanto iniciados en 2009 en “Cortijo de Enmedio”, “Guzmán II” y “Servicio de Plagas”.

Año	“Cortijo de Enmedio”		“Guzmán II”		“Servicio de Plagas”	
	kg materia seca/ha	m ³ /ha	kg materia seca/ha	m ³ /ha	kg materia seca/ha	m ³ /ha
2009	905	8.776,00	-	3.119,12	1.859	9.026,00
2010	9.042	4.056,00	5.617	2.932,96	13.370	8.278,00

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla, **la productividad del miscanto responde positivamente al incremento de la dosis de riego**, observándose mayores rendimientos (traducidos en mayor altura de caña, mayor número de hojas y mayor superficie de área foliar) conforme aumenta el agua aportada.

No obstante, cabe señalar que, a partir de una cierta cantidad de agua aportada, el aumento de la dosis de riego no supone un incremento significativo del rendimiento. Sería recomendable profundizar en el conocimiento de la respuesta al riego de esta especie, con el objetivo de avanzar en su óptimo manejo y ajustar, de manera eficiente y sostenible, el consumo de agua a su productividad (MARM, 2009)⁶.

Respecto al **abonado nitrogenado**, únicamente se realizaron aportes de nitrógeno durante el segundo año de cultivo tanto en “Cortijo de Enmedio” (69,00 kg nitrógeno/ha) como en “Guzmán II” (34,96 kg nitrógeno/ha), no pudiéndose, por tanto, establecer conclusiones definitivas al respecto. Si bien la productividad del ensayo “Cortijo de Enmedio” se incrementó notablemente, pasando de 905 a 9.042 kg materia seca/ha entre 2009 y 2010, y que en “Guzmán II” ésta alcanzó los 5.617 kg de materia seca/ha en 2010 cuando en el año anterior la producción fue insignificante, estos datos no son suficientes para establecer que exista una clara respuesta del miscanto al abonado nitrogenado.

Conclusiones a destacar tras los ensayos con el cultivo

- ? Excelente adaptabilidad, si bien es necesario **extremar su manejo y cuidado en las fases iniciales de cultivo** al objeto de evitar problemas de nascencia.
- ? **Alta productividad**, principalmente a partir del segundo año de su ciclo productivo, que es cuando se produce un mayor desarrollo de su biomasa aérea. Responde positivamente al incremento de la dosis de riego, si bien a partir de un límite, el incremento de la dosis de riego no implica un incremento significativo de su productividad.

⁶ “Miscanto para producción de biomasa” (Hojas Divulgadoras, Número 2.133. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).



- ? Aún no se dispone de información suficiente para conocer su respuesta al abonado nitrogenado.
- ? La **calidad de su biomasa** para su aprovechamiento como combustible sólido supera a la de la biomasa de otros cultivos energéticos herbáceos no convencionales (cardo, caña común o panizo de pradera). Se caracteriza por presentar un excelente poder calorífico, niveles de azufre y cloro óptimos, bajo nivel de ensuciamiento, y presencia algo elevada de cenizas. No obstante, destaca su variabilidad de año en año y entre emplazamientos, siendo este factor, el emplazamiento, clave en relación a la calidad de la misma.

3.1.4. Cultivos convencionales con uso energético

3.1.4.1. Descripción general de los cultivos


Brassica carinata

Crucífera, con un **elevado potencial productivo**: en condiciones de sequía es capaz de producir hasta un 32% más que las variedades de colza tradicionales
 Integración óptima en rotaciones de cultivo




Orientación del cultivo		Principalmente oleaginoso; lignocelulósico en menor medida
Posibles destinos de la producción		Producción de biodiésel a partir del aceite de su semilla y obtención de energía térmica a partir de su biomasa
Cualidades agronómicas	Generales	Cultivo anual de secano muy bien adaptado a las condiciones edafoclimáticas andaluzas Gran resistencia a la sequía , así como a muchas plagas y enfermedades que afectan a la colza Alcanza mejores rendimientos en suelos profundos y con buen drenaje Tolera suelos con cierta salinidad y también con algo de acidez
	Limitantes para su cultivo	Desde su germinación hasta que alcanza el estado de roseta no tolera temperaturas inferiores a - 2°C Las temperaturas muy elevadas durante su floración no favorecen la formación del grano (y acortan su ciclo productivo) Es sensible al encharcamiento
Aspectos teóricos relativos al manejo del cultivo		Se debe procurar preservar el contenido de humedad del suelo hasta el momento de la siembra y controlar las malas hierbas antes de la nascencia del cultivo Responde bien al abonado nitrogenado previo a la parada invernal (optimización de su desarrollo)
Maquinaria utilizada	Siembra	Se puede utilizar una sembradora específica para colza o bien sembradoras de cereal modificadas y sembradoras neumáticas de precisión En el ensayo realizado se utilizó una sembradora de precisión a chorrillo con un dosificador de abono de fondo acoplado
	Recolección	Cosechadora de cereal adaptada a oleaginosas
Caracterización de su biomasa		Buenas aptitudes para su aprovechamiento energético (tanto del aceite extraído de sus semillas como de su biomasa)
Potencialidad de cultivo en Andalucía		Alto potencial como cultivo energético en Andalucía

Sorghum bicolor

<p>Cultivo de la familia de las poáceas que posee una gran variabilidad genética. Elevada producción de biomasa y mayor resistencia al encamado que otras variedades de la especie y conservación de un alto contenido en celulosa</p>		
Orientación del cultivo		Lignocelulósico y alcoholígeno
Posibles destinos de la producción		Principalmente obtención de energía térmica o eléctrica a partir de la biomasa pero también producción de bioetanol a partir del grano
Cualidades agronómicas	Generales	Gran adaptabilidad en los territorios andaluces Resistente a la sequía y con buena adaptación a suelos de muy distintas texturas y pH
	Limitantes para su cultivo	Limitada capacidad germinativa de su semilla Si bien tolera cierta salinidad, muestra mayor sensibilidad a este factor durante la germinación y al comienzo de la etapa de crecimiento Exigente en nitrógeno y potasio ; sensible a la carencia de hierro, especialmente en suelos calizos; también son frecuentes las carencias en zinc y manganeso Sensible a la competencia con malas hierbas en su primera fase de crecimiento
Aspectos teóricos relativos al manejo del cultivo		Es capaz de extraer del suelo elevadas proporciones de agua y nutrientes comportándose como un cultivo esquilante que provoca, con frecuencia y en caso de rotación, menores rendimientos en cultivos posteriores En las condiciones del clima mediterráneo, se trata de un cultivo de regadío con unas necesidades hídricas medias de entre 400 y 450 mm Necesita de labores profundas durante la preparación del terreno por las características de su sistema radicular Si la siembra es tardía se reduce la altura del cultivo y la producción de materia seca
Maquinaria utilizada	Siembra	Sembradoras de cereales o de precisión
	Recolección	Cosechadoras de cereales modificadas y/o cosechadoras de maíz
Caracterización de su biomasa		El poder calorífico de las biomásas (PCI) de sorgo bicolor se sitúa entre 16 y 18 MJ/kg bs
Potencialidad de cultivo en Andalucía		Alto potencial como cultivo energético para las condiciones andaluzas

Triticum spp.

<p>Pertenece a la familia de las gramíneas (<i>Poaceae</i>), las variedades más cultivadas en España son <i>Triticum aestivum</i> y <i>Triticum durum</i> Tradicionalmente se ha empleado para consumo humano y animal</p>		
Orientación del cultivo		Lignocelulósico y alcoholígeno
Posibles destinos de la producción		Producción de bioetanol y aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica de sus residuos
Cualidades agronómicas	Generales	Necesita suelos relativamente profundos y bien drenados para el buen desarrollo de su sistema radicular Sus requerimientos en agua no son elevados Crece mejor si las temperaturas no son demasiado frías en invierno ni demasiado elevadas en primavera y durante la maduración
	Limitantes para su cultivo	Prospera mal en tierras ácidas ; las prefiere neutras o algo alcalinas Si la cantidad total de lluvia caída durante el ciclo de cultivo es escasa pero resulta especialmente intensa en primavera, se produce el asurado del cultivo
Aspectos teóricos relativos al manejo del cultivo		Su producción para la obtención de bioetanol no supone un manejo de cultivo diferente al realizado tradicionalmente por los agricultores con esta especie
Maquinaria utilizada	Siembra	Las empleadas para los aprovechamientos convencionales del trigo (consumo humano y animal, etc.)
	Recolección	La empleada para la producción de trigo destinado a los aprovechamientos convencionales
Caracterización de su biomasa		PCI de 17,20 MJ / kg materia seca (paja de cereal)
Potencialidad de cultivo en Andalucía		La potencialidad del cultivo de trigo para uso energético es escasa dado el contexto actual de los mercados y sobre todo debido a la posibilidad de cultivar otras especies "verdaderamente" energéticas que no compiten con especies destinadas a la alimentación humana y animal

3.1.4.2. Conclusiones a destacar tras los ensayos con estos cultivos

Brassica carinata

- ? Buena adaptación a las condiciones de cultivo de Andalucía.
- ? Gran potencial para su aprovechamiento energético gracias a la mejora genética; con excelentes rendimientos productivos.
- ? Destacan negativamente ciertas dificultades para su desarrollo, principalmente en el momento de la implantación del cultivo, así como a los riesgos en relación al ataque de una amplia gama de plagas que obligan a realizar tratamiento insecticidas, reduciendo su potencial de manera significativa.

Sorghum bicolor

- ? Destaca negativamente los parámetros relativos a la caracterización de su biomasa lignocelulósica.
- ? Desarrollo de incidencias de cultivo como el encamado durante su fase de crecimiento, que afectan negativamente a su recolección, aspecto muy perjudicial para la obtención de biomasa, y por tanto, para su aprovechamiento energético.

Triticum spp.

- ? Cultivo tradicional para la alimentación humana y animal, cuyas cotizaciones en los mercados durante los últimos años han sufrido fuertes oscilaciones, mermando su rentabilidad para su aprovechamiento energético.
- ? Los parámetros relativos a la caracterización de su biomasa presentan valores, en general, inferiores a los alcanzados por otras especies herbáceas (caña común y/o miscanto).

3.2. Cultivos leñosos

3.2.1. *Casuarina* sp.

Descripción general

Originaria de las áreas costeras tropicales de **Australia y el sudeste asiático**, se ha introducido y adaptado a áreas del Caribe y parte de los trópicos y subtropicos

Género formado por unas 50 especies de tamaño variado, siendo las más difundidas, *Casuarina cunninghamiana* (muy productiva), *Casuarina glauca* y *Casuarina cristata*. En los ensayos se utilizó *Casuarina equisetifolia*

Se trata de un árbol de tamaño mediano y crecimiento rápido que llega a alcanzar alturas comprendidas entre 25 y 30 metros. Se distingue por su corteza de color entre marrón y gris claro, áspera y arrugada, y una copa rala de ramillas fotosintéticas de color verde oscuro que se inclinan hacia abajo. Su follaje, de hojas finas parecidas a las acículas de los pinos le da aspecto de conífera, si bien no pertenece a esta familia si no a la *Casuarinaceae*



Orientación del cultivo		Lignocelulósico
Posibles destinos de la producción		Obtención de energía térmica o eléctrica a partir de la biomasa
Cualidades agronómicas	Generales	<p>Tolera bien la falta de humedad</p> <p>Muestra buena adaptabilidad a zonas litorales (tolera los sustratos salinos) si bien crece mejor en zonas climáticas tropicales y subtropicales húmedas</p> <p>Crece bien en suelos porosos con buen drenaje y con humedad y provisión de nutrientes adecuadas pero también en suelos arenosos, pobres en nutrientes, calcáreos y de salinidad moderada</p>
	Limitantes para su cultivo	<p>Cultivo poco resistente a heladas</p> <p>Se desarrolla mal en suelos pesados y muy arcillosos y es sensible a deficiencias de fósforo y potasio</p>
Aspectos teóricos relativos al manejo del cultivo		<p>Realizar la plantación preferiblemente en época otoñal</p> <p>Previo a la plantación, realizar un subsolado profundo, y posteriormente, un pase de grada o de escarificador</p> <p>Estimar el riego a realizar según el clima de la zona. En caso de plantación primaveral, dar un riego de asentamiento</p> <p>En ninguno de los ensayos ha sido necesario el control fitosanitario frente a plagas y enfermedades</p> <p>Tras la corta, se recomienda aplicar un abono de restitución</p>
Maquinaria utilizada	Siembra	Plantación manual
	Recolección	Mediante desbrozadora manual de disco
Caracterización de su biomasa		<p>Óptimo poder calorífico</p> <p>Bajos niveles de azufre, sodio y cenizas,. No muestra problemas de ensuciamiento de las calderas</p> <p>Contenido algo elevado de cloro</p> <p>El contenido en potasio de las cenizas que genera su combustión es algo elevado pero ello hace que éstas puedan ser útiles como fertilizante</p>

Potencialidad de cultivo en Andalucía	Alta potencialidad para reforestación de las áreas costeras y tierras degradadas Aparte del uso energético, su madera es utilizable para todo tipo de construcciones; obtención de carbón vegetal de gran calidad; y obtención de tanino
---------------------------------------	---

Duración de los ensayos

Cultivo	Finca	Localización	Año		Superficie (ha)	
			Inicio ensayo	Fin ensayo	Inicio	Actual
CASUARINA SP.	"Barruelos"	Chiclana de Segura (Jaén)	2009	Continúa	0,50	0,50
	"Cortijo de Enmedio"	Moclín (Granada)			0,50	0,50
	"Guzmán II"	Palma del Río (Córdoba)			0,50	0,50
	"La Cabaña"	La Rinconada (Sevilla)			0,40	0,40
	"La Parra"	Puebla de Don Fadrique (Granada)		2010	0,09	0
	"Majarambú"	Castellar de la Frontera (Cádiz)		Continúa	0,50	0,50
	"Servicio de Plagas"	Dos Hermanas (Sevilla)			0,50	0,50
	Total					2,99

Fuente: Elaboración propia

Productividad

La Tabla 7 sintetiza los rendimientos de las experiencias de casuarina en función de los turnos de corta considerados en los dos años en los que se viene analizando este cultivo en la red de ensayos. En la siguiente tabla se muestra a qué corresponde la numeración adoptada para designar los distintos turnos de corta⁷.

Tabla 6 Significado de la nomenclatura utilizada para designar los turnos de corta en cultivos leñosos.

Designación del turno de corta	Años de raíz del cultivo (Rx)	Años de brote (parte aérea) (By)	Año de corte de la plantación del cultivo (RxBy)
R1B1	1	1	Primero
R2B1	2	1	Segundo
R2B2	2	2	Segundo

Fuente: Elaboración propia.

⁷Se ha utilizado la misma nomenclatura propuesta por IFAPA en su Informe Final del Proyecto Piloto de Investigación sobre especies de Cultivos Energéticos para biomasa en Andalucía, en particular, se han tenido en cuenta los protocolos de actuación de IFAPA y de los diseños de la Universidad de Huelva en este ámbito.

De acuerdo a la tabla, R1B1 representa a las plantaciones con un año de raíz y un año de brote, R2B1, plantaciones de dos años de raíz y uno de brote (es decir que se habían sometido el año anterior a un turno de corta) y R2B2, plantaciones con dos años de raíz y dos de brotes, es decir que aún no se habían sometido a turno de corta alguno.

Tabla 7 Rendimientos de la casuarina (kg materia seca/ha).

Finca	Localización	Rendimiento (kg materia seca/ha)			
		R1B1	R2B1	R1B1 + R2B1	R2B2
“Barruelos”	Chiclana de Segura (Jaén)	1.256	-	-	-
“Cortijo de Enmedio”	Moclín (Granada)	1.574	-	-	-
“Guzmán II”	Palma del Río (Córdoba)	1.841	5.915	7.756	17.973
“La Cabaña”	La Rinconada (Sevilla)	2.465	-	-	32.290
“La Parra”	Puebla de Don Fadrique (Granada)	95	-	-	-
“Majarambú”	Castellar de la Frontera (Cádiz)	295	-	-	11.968
“Servicio de Plagas”	Dos Hermanas (Sevilla)	803	9.527	10.330	32.387

Fuente: Elaboración propia.

El método de estimación de rendimientos de casuarina fue distinto para los ensayos iniciados en 2009 y para los iniciados en 2010. En 2009 se realizó la corta del 25% de la superficie de cada ensayo, y se obtuvo la producción de esa superficie que tenía un año de raíz y un año de brote (R1B1). Por su parte, en 2010, debido al escaso poder de rebrote mostrado por los ejemplares de casuarina de algunos de los ensayos, sólo se realizó la corta de una pequeña superficie de tres de ellos, en particular de “Barruelos”, “Guzmán II” y “Servicio de Plagas”, emplazamientos que presentaron mayor capacidad de rebrote tras el corte. El rendimiento de estos ensayos se estimó pesando la biomasa de 10 ejemplares seleccionados al azar. Si bien el tamaño muestral resulta suficiente para la escasa superficie cosechada, pequeñas variaciones en el pesado de las muestras podrían hacer que existiese una sobreestimación o subestimación de la producción final del ensayo (IFAPA, 2011). En este caso se obtuvieron datos de producción de plantaciones con dos años de raíz y un año de brote (R2B1), y con dos años de raíz y dos años de brote (R2B2).

Considerando lo anterior, destaca que mientras en 2009 los rendimientos obtenidos fueron muy bajos en relación a los obtenidos en 2010, y muy dispares entre ensayos, variando entre los 95 kg de materia seca/ha de “La Parra” y los 2.465 kg de materia seca/ha de “La Cabaña”, en 2010 los rendimientos estimados del segundo turno de corta (R2B1) fueron muy superiores a los alcanzados el año anterior (R1B1): 5.915 frente a 1.841 kg materia seca/ha en “Guzmán II” y 9.527 frente a 803 kg materia seca/ha en “Servicio de Plagas”. No obstante, la mayor productividad se alcanza en el primer turno de corta de los ensayos con dos años de raíz y dos años de brote (R2B2), con valores que varían entre los 11.968 kg materia seca/ha de “Majarambú” y los 32.387 kg materia seca/ha de “Servicio de Plagas”.

En los ensayos de “Guzmán II” y “Servicio de Plagas” se dispone de los rendimientos correspondientes a tres turnos de corta pudiéndose concluir que los mayores rendimientos se obtienen en la corta tras el segundo año de cultivo (R2B2) que supera notablemente la suma de las producciones de las cosechas del primer y segundo año de cultivo. Así, se puede

concluir que si se realiza la corta el primer año, se obtiene menor producción y se reduce la capacidad de rebrote del cultivo.

Considerando los **principales factores** que influyen en el desarrollo y crecimiento de la casuarina en los ensayos iniciados en 2009 que continuaron en 2010, puede destacarse lo siguiente (IFAPA, 2011):

- ? Respecto al **clima**, la primavera de 2009, en la que se iniciaron los ensayos de casuarina se caracterizó por ser seca y registrar temperaturas elevadas. Posteriormente, el verano fue también muy extremo, y todos los ensayos soportaron temperaturas muy elevadas. Asimismo, el siguiente año se caracterizó por ser climáticamente atípico, con un otoño seco frente a un invierno y primavera especialmente lluviosos, con abundantes precipitaciones que alcanzaron registros muy por encima de los datos medios andaluces. El verano siguió la misma tendencia que el anterior, siendo muy caluroso.

Las condiciones climáticas de 2009 provocaron que el cultivo tuviera que soportar **altas tasas evapotranspirativas al inicio de la plantación**, hecho que motivó que se tuviera que dar algún riego. Igualmente, las altas temperaturas registradas en 2010 también motivaron que se necesitara un aporte extra de agua. En la Tabla 8 se muestran las dosis de riego aportadas a los ensayos de casuarina, junto con los rendimientos alcanzados en cada uno de ellos.

Tabla 8 Rendimiento seco y dosis de riego de los ensayos de casuarina por ensayo.

Año	Turno de corta	"Barruelos"		"Cortijo de Enmedio"	
		kg materia seca/ha	m ³ /ha	kg materia seca/ha	m ³ /ha
2009	R1B1	1.256	2.497,86	1.574	783,40
2010	-	-	2.250,04	-	857,00
Año	Turno de corta	"Guzmán II"		"La Cabaña"	
		kg materia seca/ha	m ³ /ha	kg materia seca/ha	m ³ /ha
2009	R1B1	1.841	958,10	2.465	1.820,40
2010	R2B1	5.915	715,00	-	1.750,00
	R2B2	17.973		32.290	
Año	Turno de corta	"Majarambú"		"Servicio de Plagas"	
		kg materia seca/ha	m ³ /ha	kg materia seca/ha	m ³ /ha
2009	R1B1	295	884,40	803	2.605,26
2010	R2B1	-	197,10	9.527	2.960,00
	R2B2	11.968		32.387	

Fuente: Elaboración propia.

Si nos fijamos en los ensayos de los que se dispone de valores de rendimiento correspondientes a varios turnos de corta (“Guzmán II”, “La Cabaña”, “Majarambú” y “Servicio de Plagas”), parece existir una buena respuesta de esta especie al riego, si bien es difícil extraer resultados concluyentes ya que no se dispone de información suficiente para ello.

- ? Respecto a los **aspectos edafológicos**, en líneas generales, la casuarina mostró una óptima adaptabilidad a los suelos donde se instauró. Se asentó adecuadamente incluso en terrenos franco-arcillosos como los de “Barruelos” y “Guzmán II”, arcillosos como el de “La Cabaña” y arcillo-limoso como el de “Servicio de Plagas”, a pesar de que, como se señala en la ficha de cultivo, se trata de una especie que presenta un peor desarrollo en suelos pesados y muy arcillosos.
- ? Respecto al **abonado nitrogenado**, se aplicó un abonado de restitución en 2010, tras la corta del cultivo. En la Tabla 9 se muestran los rendimientos de los ensayos de casuarina y la fertilización nitrogenada aportada a éstos.

Tabla 9 Rendimiento seco de los ensayos de casuarina realizados en 2010 según la fertilización nitrogenada.

Finca	Turno de corta	Fertilización (kg N/ha)	Rendimiento (kg materia seca/ha)
“Guzmán II”	R2B1	77,7	5.915
	R2B2	73,1	17.973
“La Cabaña”	R2B2	11,04	32.290
“Majarambú”	R2B2	69,0	11.968
“Servicio de Plagas”	R2B1	88,4	9.527
	R2B2	69,0	32.387

Fuente: Elaboración propia.

De los datos recogidos se desprende la dificultad de **establecer una respuesta clara de la casuarina al aporte de nitrógeno**, debiéndose realizar un diseño experimental que permita extraer resultados fiables.

Tras el seguimiento de la evolución de la altura media de una muestra de individuos de casuarina de los ensayos en “Barruelos”, “Cortijo de Enmedio”, “Guzmán II” y “Majarambú”⁸, se puede concluir su **excelente crecimiento y desarrollo vegetativo**, superando los tres metros de altura media aquellas plantas que crecieron durante los dos años en los que se viene desarrollando el cultivo en el marco de la red de ensayos. Igualmente, destaca su **excelente capacidad de rebrote**, puesto que tras el corte realizado en 2010, la altura media de las plantas muestreadas evolucionó positivamente a lo largo de los meses siguientes, superando en un escaso periodo de tiempo los dos metros de altura.

Conclusiones a destacar tras los ensayos con el cultivo

- ? Excelente adaptabilidad a los emplazamientos en los que se instauró, sin incidencias destacables durante su implantación, crecimiento y cosecha.

⁸ En el “Anexo I. Mediciones” se presentan los datos de las mediciones realizadas durante 2009 y 2010 para el conjunto de especies leñosas de la red de ensayos (casuarina, eucalipto, paulownia y chopo).



- ? Respuesta positiva al riego aunque no suficientemente clara debido a la ausencia de datos suficientes para extraer conclusiones definitivas. En cuanto a los efectos de la fertilización nitrogenada, también haría falta realizar un diseño experimental adecuado que permitiera extraer conclusiones de sus resultados en la producción.
- ? Elevada productividad, principalmente durante el segundo año de cultivo y primer turno de corta (R2B2), que supera la del segundo año de cultivo y segundo turno de corta (R2B1).
- ? Óptima capacidad de rebrote tras el corte.
- ? Excelentes aptitudes para el aprovechamiento energético de su biomasa lignocelulósica: óptimos poderes caloríficos, niveles aceptables de azufre, sodio y cenizas, y ausencia de problemas relativos al ensuciamiento de las calderas. Destaca negativamente su contenido algo elevado en cloro, y el contenido de potasio de las cenizas que genera su combustión, también algo elevado (se pueden reciclar como abono).

3.2.2. *Eucaliptus sp.*

Descripción general

Pertenciente a la familia *Myrtaceae*, el género eucalipto comprende más de 600 especies, aparte de diversas variedades e híbridos

Se trata de un **árbol de gran porte**, con troncoliso y hojas persistentes, falciformes y coriáceas; sus flores son poco vistosas, con un receptáculo a modo de urna en la que se quedan encerrados los estambres; su fruto es una cápsula leñosa

Se propaga bien por semilla, y su capacidad de propagación vegetativa depende de la especie

En los ensayos realizados se analizaron cuatro clones: *camaldulensis*, *dunnii*, *maideni* y *saligna*



Orientación del cultivo		Lignocelulósico Se usa fundamentalmente en plantaciones forestales para obtener la materia prima con la que fabricar pasta papel , muebles, vigas para la construcción, herramientas o chapa, y dada la riqueza en aceites de sus hojas, también posee un uso importante en la industria química y farmacéutica
Posibles destinos de la producción		Obtención de energía térmica o eléctrica a partir de la biomasa
Cualidades agronómicas	Generales	Escasas exigencias en cuanto a suelos Aprovecha bien la humedad del terreno Buena adaptación de algunas especies a condiciones áridas extremas: puede soportar lluvias inferiores a los 300 litros anuales
	Limitantes para su cultivo	Presenta intolerancia al frío , no siendo adecuado el establecimiento de plantaciones en zonas con elevado riesgo de heladas Toleramuy mal la competencia herbácea
Aspectos teóricos relativos al manejo del cultivo		Se recomienda la eliminación previa de hierbas adventicias para eliminar competencias y realizar una labor profunda en el suelo para favorecer el buen asentamiento y desarrollo radicular del cultivo Igualmente se debe realizar la plantación del cultivo lo más pronto posible tras la recepción del materia vegetal y con el terreno en tempero El abonado al inicio de la plantación es fundamental para la mejora de su desarrollo y crecimiento posterior: reduce la edad de corta e implica mayor cantidad de madera al final del turno. Necesidad de un riego de establecimiento al realizar la plantación Abonado de restitución tras la corta del cultivo Tolerancia a periodos de sequía de hasta cuatro meses Escasa incidencia de enfermedades y plagas
Maquinaria utilizada	Siembra	Plantación manual , aunque también es posible utilizar una plantadora adaptada
	Recolección	Corta manual (mediante motosierra o desbrozadora manual de disco)
Caracterización de la biomasa		Su biomasa presenta un poder calorífico excelente , independientemente del clon, sistema de cultivo (regadío o secano) y turno de corta al que se someta En general presenta niveles óptimos de azufre y cloro (algunas muestras analizadas muestran un contenido algo elevado de cloro) Nivel de cenizas aceptable y bajo nivel de ensuciamiento de las calderas cuando se utiliza energéticamente su biomasa
Potencialidad de cultivo en Andalucía		Sus hojas son fuente de alimentación para diversos animales y su madera se destina para diferentes usos

También se utiliza para el saneamiento de lugares pantanosos por su capacidad para desecar los humedales y eliminación de los insectos perjudiciales

Duración de los ensayos

Cultivo	Finca	Localización	Año		Superficie (ha)	
			Inicio ensayo	Fin ensayo	Inicio	Actual
EUCALIPTUS SP.	"Cortijo de Enmedio"	Moclín (Granada)	2009	Continúa	0,160	0,160
	"Guzmán II"	Palma del Río (Córdoba)			0,112	0,112
	"La Cabaña"	La Rinconada (Sevilla)			0,100	0,100
	"La Parra"	Puebla de Don Fadrique (Granada)		2010	0,090	0,090
	"Servicio de Plagas"	Dos Hermanas (Sevilla)		Continúa	0,400	0,400
	Total					0,8620

Fuente: Elaboración propia.

Productividad

Para la estimación de rendimientos de los ensayos de eucalipto durante los dos años en los que se vienen desarrollando se tuvo en cuenta lo siguiente (IFAPA, 2011):

- En 2009 se cortó el 25% de la superficie de cada uno de los ensayos, pesándose posteriormente la totalidad del material cortado. Se obtuvieron datos productivos de plantaciones con un año de raíz y un año de brote (R1B1).
- En 2010 se volvió a cortar la misma superficie que ya se cortó el año anterior y un 50% adicional de superficie que no se había cortado previamente. Las producciones se estimaron a través de muestreos de las parcelas en las que se implantaron los ensayos, siendo, por tanto, producciones potenciales. Se obtuvieron datos de producción para R2B1 (plantaciones con dos años de raíz y un año de brote) y R2B2 (plantaciones de dos años de raíz y dos años de brote).

En la Tabla 10 se sintetizan los resultados obtenidos.

Tabla 10 Rendimientos del eucalipto (kg materia seca/ha).

Finca	Localización	Clon	R1B1	R2B1	R1B1 + R2B2	R2B2	
"Cortijo de Enmedio"	Moclín (Granada)	Calmadulensis	3.806	2.953	6.759	40.960	
		Dunnii	2.315	2.042	4.357	51.307	
"Guzmán II"	Palma del Río (Córdoba)	Calmadulensis	5.175	20.100	25.275	44.064	
		Dunnii	2.121	11.687	13.808	19.513	
		Maidenii	2.469	12.106	14.575	28.872	
		Saligna	7.407	-	7.407	-	
"La Cabaña"	La Rinconada (Sevilla)	Calmadulensis	9.840	26.910	36.750	47.740	
		Dunnii	5.255	13.560	18.815	25.833	
"Servicio de Plagas" (*)	Dos Hermanas (Sevilla)	Calmadulensis	Regadío	-	12.554	-	53.994
		Dunnii		-	11.691	-	49.546
		Maidenii		-	5.585	-	36.972
		Saligna		-	20.228	-	59.955
		Calmadulensis	Secano	-	9.232	-	34.717
		Dunnii		-	1.656	-	27.132
		Maidenii		-	538	-	44.355
		Saligna		-	2.883	-	21.001

(*) La parcela de "Servicio de Plagas" se dividió en dos subparcelas llevándose a cabo dos experiencias en paralelo, una en seco y otra bajo regadío. No obstante, los datos disponibles de los rendimientos de esta especie en este emplazamiento en 2009 (577 kg de materia seca/ha para el clon Calmadulensis, 251 para Dunnii, 316 para Maidenii y 761 para Saligna) hacen referencia al total de la parcela, no diferenciando entre ambas experiencias (en seco y regadío).

Fuente: Elaboración propia.

De la información de la tabla se deduce que los **rendimientos que alcanza el cultivo en el turno de corta R2B2** (plantaciones de dos años de raíz y dos años de brote) **son superiores a los del turno de corta R2B1** (plantaciones con dos años de raíz y un año de brote) **y a la suma de las producciones de las cosechas del primer y segundo año de cultivo (R1B1 + R2B1).**

En este sentido, como sucede con la casuarina, durante el primer año de plantación, el eucalipto desarrolla su sistema radicular, siendo a partir del segundo año cuando se produce un mayor crecimiento de su biomasa aérea, incrementándose notablemente su altura.

Analizando los **factores** que intervienen en el cultivo de eucalipto, destacan los siguientes aspectos:

- ? Sobre las **condiciones climáticas** bajo las que se desarrollaron los ensayos, como ya se ha mencionado, fueron algo anormales desde el inicio del cultivo hasta el final del período de análisis del estudio que nos ocupa. Como ocurriera con la casuarina, estas condiciones climáticas adversas por las que el cultivo hubo de soportar altas tasas evapotranspirativas al comienzo de la plantación, hicieron necesario el riego de los ensayos, existiendo distintos comportamientos de los clones de eucalipto en función de

su capacidad de regulación estomática para tolerar las altas temperaturas y las altas tasas de transpiración (IFAPA, 2011).

Tabla 11 Rendimiento seco del eucalipto según el turno de corta y la dosis de riego.

Finca	Clon	Riego (m ³ /ha)	Rendimiento (kg materia seca/ha)	
			R1B1	
"Cortijo de Enmedio"	Calmadulensis	6.068,57	3.806	
	Dunnii		2.315	
"Guzmán II"	Calmadulensis	2.310,64	5.175	
	Dunnii		2.121	
	Maidenii		2.469	
"La Cabaña"	Calmadulensis	1.800,60	9.840	
	Dunnii		5.255	

Finca	Clon	Riego (m ³ /ha)	Rendimiento (kg materia seca/ha)	
			R2B1	R2B2
"Cortijo de Enmedio"	Calmadulensis	3.028,13	2.953	40.960
	Dunnii		2.042	51.307
"Guzmán II"	Calmadulensis	1.284,29	20.100	44.064
	Dunnii		11.687	19.513
	Maidenii		12.106	28.872
"La Cabaña"	Calmadulensis	3.960,00	26.910	47.740
	Dunnii		13.560	25.833
"Servicio de Plagas" (*)	Calmadulensis	1.308,33	12.554	53.994
	Dunnii		11.691	49.546
	Maidenii		5.585	36.972
	Saligna		20.228	59.955

(*) La parcela de "Servicio de Plagas" se dividió en dos subparcelas llevándose a cabo dos experiencias en paralelo, una en secano y otra en regadío. No obstante, los datos disponibles de los rendimientos de esta especie en este emplazamiento en 2009 hacen referencia al total de la parcela, no diferenciando entre ambas experiencias (en secano y regadío).

Fuente: Elaboración propia.

Si bien sería necesario un diseño mas cuidadoso de los ensayos al objeto de analizar la influencia del riego en la productividad del eucalipto, como aproximación se pueden analizar los resultados de "Servicio de Plagas", ensayo en el que se dispuso de dos subparcelas, una en el que el cultivo se realizó en regadío y otra en la que se desarrolló en secano. Se observa que los rendimientos alcanzados en la primera (regadío) son muy superiores a los logrados en la segunda (secano), pudiéndose concluir que el eucalipto muestra una buena respuesta al riego.

Respecto a los **suelos**, las plantaciones mostraron una buena adaptabilidad a los mismos en las fincas donde se desarrollaron los ensayos. A pesar de que sus aptitudes edafológicas eran muy desiguales (en “Cortijo de Enmedio” el suelo es fuertemente básico, con un nivel adecuado de materia orgánica y nitrógeno; en “Guzmán II” es de textura franco-arcillosa, básico, pobre en materia orgánica y muy pobre en nitrógeno; en “La Cabaña” es de textura arcillosa, básico, pobre en materia orgánica y muy pobre en nitrógeno; y en “Servicios de Plagas” es de textura arcillo-limosa, fuertemente básico, pobre en materia orgánica y muy pobre en nitrógeno), el eucalipto no ha mostrado incidencias destacables durante los dos primeros años de su ciclo de cultivo, lo que corrobora las escasas exigencias que presenta esta especie en cuanto a suelos (mencionado ya en la descripción del cultivo).

Por otra parte, en la Tabla 12 se comparan los rendimientos del eucalipto en función del clon, el turno de corta y los aportes de nitrógeno realizados en los dos años de ensayo. Si bien sería necesario un diseño experimental que permitiera establecer conclusiones definitivas al respecto, se puede decir que, en general, parece existir una relación directa entre la dosis de nitrógeno y el rendimiento.

Tabla 12 Rendimiento seco del eucalipto según el clon, el turno de corta y la dosis de fertilización nitrogenada.

Finca	Clon	kg N/ha	Rendimiento (kg/ha)	
			R1B1	
“Cortijo de Enmedio”	Calmadulensis	49,88	3.806	
	Dunnii		2.315	
“Guzmán II”	Calmadulensis	50,80	5.175	
	Dunnii		2.121	
	Maidenii		2.469	
“La Cabaña”	Calmadulensis	54,00	9.840	
	Dunnii		5.255	
Finca	Clon	kg N/ha	Rendimiento (kg materia seca/ha)	
			R2B1	R2B2
“Cortijo de Enmedio”	Calmadulensis	77,46	2.953	40.960
	Dunnii		2.042	51.307
“Guzmán II”	Calmadulensis	221,82	20.100	44.064
	Dunnii		11.687	19.513
	Maidenii		12.106	28.872
“La Cabaña”	Calmadulensis	276,00	26.910	47.740
	Dunnii		13.560	25.833
“Servicio de Plagas ”	Calmadulensis	-	12.554	53.994
	Dunnii		11.691	49.546
	Maidenii		5.585	36.972
	Saligna		20.228	59.955

Fuente: Elaboración propia.

Del seguimiento de la evolución de la altura media alcanzada por una muestra de ejemplares seleccionados (por finca y clon)⁹, destacan los siguientes aspectos:

- Los ejemplares de eucalipto que se instauraron en “**La Cabaña**” son los que presentan un mayor desarrollo vegetativo: su altura es superior a la de los ejemplares del resto de fincas. Los ejemplares de “Cortijo de Enmedio” y “Guzmán II” muestran un crecimiento similar, mientras que los de “**Servicio de Plagas**” presentan un desarrollo menor, lo que podría explicarse por el establecimiento de dos subparcelas, una de secano y otra de regadío, así como que en este ensayo no se aplicó abonado nitrogenado en los dos años de cultivo.
- En todas las experiencias llevadas a cabo el clon “**Camaldulensis**” presenta un mayor desarrollo que los clones “Dunni” y “Maidenii”, destacando su buen comportamiento agronómico y su capacidad de rebrote en los emplazamientos seleccionados.

Conclusiones a destacar tras los ensayos con el cultivo

- ? Excelente adaptación a los emplazamientos en los que se iniciaron los ensayos.
- ? Los rendimientos del cultivo en el turno de corta R2B2 (plantaciones de dos años de raíz y dos años de brote) son superiores a los del turno de corta R2B1 (plantaciones con dos años de raíz y un año de brote) y a la suma de las producciones de las cosechas del primer y segundo año de cultivo (R1B1+R2B1): durante el primer año de la plantación desarrolla su sistema radicular, y a partir del segundo año desarrolla su biomasa aérea, creciendo notablemente en altura.
- ? Óptima capacidad de rebrote tras el corte.
- ? De los clones analizados destaca el mayor desarrollo de “Camaldulensis” frente al resto.
- ? Excelente calidad de la biomasa lignocelulósica de eucalipto: buen poder calorífico, independientemente del clon, sistema de cultivo (regadío o secano) y turno de corta; niveles óptimos de azufre y cloro, contenido de cenizas aceptable y bajo nivel de ensuciamiento en calderas.
- ? Es necesario realizar más estudios sobre la influencia del riego y la fertilización nitrogenada en la productividad del cultivo.

⁹En las muestras analizadas existían ejemplares que se cortaron en 2009 y otros que se dejaron crecer sin realizar corte alguno ese primer año.

3.2.3. *Jatropha curcas*

Descripción general

<p>Especie leñosa de pequeño porte perteneciente a la familia de las euforbiáceas que produce semillas oleaginosas tóxicas, de las que se puede extraer un 40% de aceite con usos medicinales, que puede ser procesado y transformado en biodiésel</p>		
Orientación del cultivo		Oleaginoso
Posibles destinos de la producción		Producción de biodiésel
Cualidades agronómicas	Generales	Planta muy rústica , que crece en climas tropicales y subtropicales, y se adapta bien a suelos pobres Resiste el calor y soporta bajas temperaturas Sus necesidades hídricas son muy escasas , pudiendo soportar períodos largos de sequía
	Limitantes para su cultivo	Sensible a inundaciones y a heladas
Aspectos teóricos relativos al manejo del cultivo		Se recomienda podar durante el primer año cuando las ramas alcanzan entre 40-60 cms, y durante el segundo y tercer año al objeto de que el árbol crezca en forma y tamaño adecuado al diseño de la plantación Es importante el control de las hierbas adventicias a lo largo del ciclo de cultivo Posibilidad de cultivar entre cada hilera de la plantación
Maquinaria utilizada	Siembra	Se realizó con plántulas de unos dos meses (con unos 30 ó 40 centímetros de altura)
	Recolección	Cosecha manual
Caracterización de su aceite		Su aceite y el diésel comparten características similares, siendo viable su uso para aprovechamiento energético. Su poder calorífico es de 9.470 kcal/kg
Potencialidad de cultivo en Andalucía		Hasta la fecha, los resultados obtenidos en las experiencias realizadas en el marco de la red de ensayos no han sido satisfactorios. No obstante, aún se podría profundizar en su estudio en otros emplazamientos que se adecuasen mejor a las necesidades del cultivo, principalmente en cuanto al clima se refiere

3.2.4. *Paulownia* sp.

Descripción general

El nombre botánico *Paulownia* designa a una familia de plantas del orden de las Lamiales, vinculada con las Escrofulariáceas. Se trata de una familia monogénica, esto es, con un sólo género, que tiene 23 especies. Son árboles que se caracterizan por presentar un **crecimiento ultra-rápido**, de varios metros al año en condiciones favorables y una **rápida regeneración tras el corte**

Además su cultivo favorece la recuperación de áreas ecológicamente estresadas



Orientación del cultivo		Lignocelulósico
Destino de la producción		Obtención de energía térmica o eléctrica a partir de la biomasa
Cualidades agronómicas	Generales	Excelente aptitud en gran variedad de climas y suelos Resistente a condiciones moderadas de sequía una vez desarrollado A igualdad de producción, presenta menores necesidades de agua que otros cultivos Soporta bien el frío y el calor Muy resistente a enfermedades
	Limitantes parasu cultivo	Sensible a las heladas Sensible al encharcamiento
Aspectos relativos al manejo del cultivo		En general, no necesita cuidados especializados Entre las calles de sus plantaciones es posible cultivar otros cultivos herbáceos
Disponibilidad de insumos	Material vegetal	Multiplicación de la planta mediante semillas, estaquillado de raíces, esquejes de rama y cultivo <i>in vitro</i> , siendo el método más empleado, la división de meristemos o micropropagación, con vistas a la clonación de individuos seleccionados (para lograr homogeneidad de la plantación)
	Maquinaria	Plantación manual, si bien se puede utilizar maquinaria empleada en otros cultivos como máquinas plantadoras de estaquillas. Labores de corta manuales mediante motosierra o desbrozadora manual de disco
Caracterización biomasa		Excelente viabilidad de su biomasa: óptimo poder calorífico; bajos niveles de cloro, azufre y sodio; no muestra problemas de ensuciamiento de las calderas Contenido de potasio algo elevado de las cenizas que genera la combustión de su biomasa, si bien pueden reciclarse como abono Sin diferencias significativas entre la biomasa procedente de distintos clones y turno de corta
Potencialidad de cultivo en Andalucía		Alto potencial como cultivo energético para las condiciones de Andalucía

Duración de los ensayos

Cultivo	Finca	Localización	Año		Superficie (ha)	
			Inicio ensayo	Fin ensayo	Inicio	Actual
PAULOWNIA SP.	"Barruelos"	Chiclana de Segura (Jaén)	2009	Continúa	0,500	0,500
	"Cortijo de Enmedio"	Moclín (Granada)	2009	Continúa	0,500	0,500
	"Guzmán II"	Palma del Río (Córdoba)	2008	2010	0,462	0,000
			2009		0,444	
	"La Cabaña"	La Rinconada (Sevilla)	2008	2010	0,451	0,000
			2009		0,840	
	"La Parra"	Puebla de Don Fadrique (Granada)	2008	2010	0,460	0,000
			2009		0,400	
	"Los Embalses"	Campillos (Málaga)	2008	Continúa	0,175	0,175
			2009		0,500	0,500
	"Majarambú"	Castellar de la Frontera (Cádiz)	2008	Continúa	0,100	0,100
			2009		0,300	0,300
	"Pago de Enmedio"	La Rinconada (Sevilla)	2008	Continúa	0,950	0,095
"Servicio de Plagas"	Dos Hermanas (Sevilla)	2008	Continúa	0,320	0,320	
		2009		0,630	0,630	
"Somonte"	Palma del Río (Córdoba)	2009	Continúa	0,507	0,507	
Total					7,539	3,627

Fuente: Elaboración propia.

Productividad

Antes de analizar los rendimientos de los ensayos de paulownia que actualmente se mantienen, señalar que, por distintas circunstancias, algunas de las experiencias iniciadas en 2009 se abandonaron durante 2010.

En concreto, en "Guzmán II" y "La Cabaña" la **combinación de la elevada pluviometría** registrada en 2010 y la **escasa capacidad de drenaje de los suelos** provocó el **encharcamiento de las parcelas**, generando **podredumbre de raíz** en gran parte de los individuos de los ensayos, lo que motivó que estos se abandonasen.

Otras incidencias de cultivo que motivaron la eliminación de los ensayos en otros emplazamientos fueron las siguientes:

- La **helada** que sufrió el ensayo iniciado en 2008 en "La Parra" a principios de mayo de 2010 **arrasó la práctica totalidad de la plantación**. A pesar de que las plantas mostraron cierta recuperación tras algunas semanas, la plantación en su conjunto presentaba un crecimiento y desarrollo vegetativo tan deficientes que se decidió su eliminación.
- Los **ataques de topos y la falta de riego** (debido a la carencia de infraestructuras) en el ensayo iniciado en 2009 en "Los Embalses" motivaron que se perdieran muchos ejemplares durante 2010, por lo que también se decidió su abandono.

- La proyección de obras en la zona de ensayo con paulownia en “Pago de Enmedio”, motivó el **arranque de ejemplares** en enero de 2010. Posteriormente se anuló el ensayo.

La Tabla 13 recoge los rendimientos de los ensayos de paulownia según el turno de corta, clon instaurado, fertilización nitrogenada y dosis de riego aplicadas en cada parcela de cultivo.

Tabla 13 Rendimiento seco de la paulownia según el turno de corta, fertilización nitrogenada y dosis de riego.

Finca	Clon	Turno corta	Riego (m ³ /ha)	Rendimiento (kg ms/ha)	Turno corta	Riego (m ³ /ha)	kg N/ha	Rendimiento (kg ms/ha)	
“Barruelos”	Clon 11	R1B1	1.784,54	83,31	R2B1	1.517,02	91,5	971	
	Cotevisa2			102,21				817	
“Cortijo de Enmedio”	Clon 11		2.296,60	2.296,60		378,10	1.531,40	80,0	4.556
	Cotevisa2					322,39			3.875
“Majarambú”	Clon 11		262,33	262,33		45,47	76,00	-	230
	Cotevisa2					18,13			518
“Servicio de Plagas”	Clon 11		2.565,20	2.565,20		317,33	2.107,94	69	2.634
	Clon 33					390,25			4.343
	Cotevisa1					265,60			3.756
	Cotevisa2					260,00			4.391
“Somonte”	Clon 11		1.442,00	1.442,00		1.540,91	1.010,45	-	2.317
	Cotevisa2					1.332,48			1.747

Finca	Localización	Clon	Riego (m ³ /ha)	Rendimiento (kgs materia seca/ha)	Riego (m ³ /ha)	Rendimiento (kgs materia seca/ha)		
				R1B1		R3B1	R3B2	R3B3
“Los Embalses”	Campillos (Málaga)	Clon 11	1.103,53	23,34	1.072,00	2.887	-	-
		Clon 33		-		6.947	16.220	9.284
		Cotevisa 1		-		7.569	-	12.734
		Cotevisa 2		17,80		7.347	-	18.025

Finca	Localización	Clon	Riego (m ³ /ha)	Rendimiento (kgs materia seca/ha)	Riego (m ³ /ha)	Rendimiento (kgs materia seca/ha)	
				R2B2		R3B2	R3B3
“Pago de Enmedio”	La Rinconada (Sevilla)	Clon 11	187,50	25.810	-	53.535	51.754
		Clon 33		14.420		35.650	19.286
		Cotevisa 1		13.860		33.516	48.609
		Cotevisa 2		13.872		67.134	71.720

Fuente: Elaboración propia.



Los rendimientos de los ensayos muestran una gran variabilidad, si bien, dada la diversidad de clones, emplazamientos y diferente turno de corta en los que se han realizado las estimaciones, resulta complicado extraer conclusiones definitivas.

Pese a ello, los datos obtenidos muestran la notable productividad de esta especie a partir del segundo año de cultivo. Cuando la corta se realiza a ejemplares con, al menos, dos años de raíz (R2B2, R3B2 y R3B3), los rendimientos se incrementan muy notablemente.

En “Los Embalses” y “Pago de Enmedio” donde se establecieron ensayos con cuatro clones diferentes, se constatan diferencias en cuanto a rendimientos, y pese a que no se dispone de información suficiente como para extraer más conclusiones, los rendimientos obtenidos para Cotevisa 2 resultan superiores a los del resto de clones.

En cuanto a la influencia del riego y la fertilización nitrogenada en los rendimientos, la información de que se dispone no permite extraer conclusiones. Para ello sería necesario haber realizado un diseño experimental diferente.

Por último, cabe señalar el óptimo crecimiento y desarrollo vegetativo mostrado por este cultivo, así como la notable capacidad de rebrote tras su corta, si se atiende a la evolución de la altura de ejemplares de paulownia en varios ensayos iniciados en 2008 y 2009. En sentido, destaca que en determinados emplazamientos se han llegado a registrar crecimientos de casi 5 metros en menos de 5 meses, como por ejemplo, en “Somonte”.

Conclusiones a destacar tras los ensayos con el cultivo

- ? Buena adaptación a la mayoría de emplazamientos en los que se iniciaron los ensayos, si bien es sensible a heladas y encharcamiento.
- ? Notable productividad a partir del segundo año de cultivo.
- ? Óptima capacidad de rebrote tras el corte.
- ? Excelente calidad de la biomasa lignocelulósica extraída de su cultivo: buenos poderes caloríficos, independientemente del clon, riego y turno de corta; niveles óptimos de azufre y cloro, contenido de cenizas aceptable y bajo nivel de ensuciamiento en calderas. Como principal inconveniente, el contenido de potasio de las cenizas que genera su combustión que resulta algo elevado, si bien se pueden reciclar, utilizándose como abono.

3.2.5. *Populus sp.*

Descripción general

El género **Populus** comprende unas 40 especies de árboles y arbolillos de las zonas templadas y frías septentrionales, que se conocen vulgarmente como **álamos** o **chopos**

Pertenece a la familia de las Salicáceas. Dispone de amplitud ecológica y variación genética, características que posibilitan en gran parte su mejora genética

Posee una **gran capacidad** para la **reproducción vegetativa** y su **rápido crecimiento** permite **acortar los turnos de corta** y establecer plantaciones a **altas densidades**

Presenta ciertas **particularidades que hacen que sea adecuado como**

cultivo energético: crecimiento juvenil rápido; elevada y constante producción de brotes; inmunidad o al menos resistencia frente a enfermedades foliares; buena cicatrización de los cortes de explotación anual; poco deterioro del tocón; respuesta a la mejora de las condiciones de crecimiento; bajo nivel de ataques de insectos plaga; capacidad de crecer en plantaciones densas; capacidad de utilización de todo el periodo vegetativo; abundante follaje; y alto contenido en energía



Orientación del cultivo		Lignocelulósico
Posibles destinos de la producción		Obtención de energía térmica o eléctrica a partir de la biomasa
Cualidades agronómicas	Generales	<p>Se adapta bien a una gran variedad de climas siempre que disponga de agua suficiente. Su temperatura óptima de crecimiento se encuentra entre los 15 y los 25°C y puede vegetar desde el nivel del mar hasta los 1.000 metros si se encuentra en lugares de fuerte insolación y clima templado</p> <p>También presenta buena adaptación a una gran diversidad de suelos aunque muestra preferencia por los de textura franca a franca-arenosa franca-limosa</p> <p>No es exigente en nutrientes, pudiéndose cultivar en suelos de regadío que son pobres para el cultivo agrícola</p>
	Limitantes para su cultivo	<p>Suelos extremadamente arcillosos, ácidos, salinos o con poca humedad</p> <p>Temperaturas inferiores a 5° C y superiores a 30-40° C</p>
Aspectos teóricos relativos al manejo del cultivo		<p>La fecha de implantación del cultivo dependerá de las condiciones climáticas de la zona (inicio del otoño, final del invierno o principios de la primavera)</p> <p>Los riegos se aplicarán de forma controlada teniendo en cuenta su coste económico y la optimización de los recursos</p> <p>Para minimizar la incidencia de plagas y enfermedades se recomienda establecer plantaciones heterogéneas, mezclando clones y especies diferentes</p> <p>La cosecha se debe realizar en turnos de corta no superiores a cinco años y durante la parada vegetativa, después de que hayan caídos las hojas. Para establecer el turno de corta, además de la producción esperada, se tendrá en cuenta el crecimiento potencial de la planta (diámetro) a la densidad determinada, ya que éste parámetro condiciona la maquinaria de recolección a utilizar</p>
Maquinaria utilizada	Siembra	Se plantan estaquillas mediante plantadoras tradicionales ligeramente modificadas, o máquinas más o menos específicas para la plantación de cultivos leñosos de corta rotación que emplean estaquillas ya preparadas o varas enteras
	Recolección	Respecto a la recolección , se pueden utilizar máquinas astilladoras autopropulsadas o equipos acoplados a un tractor agrícola (producción de astillas), o bien, cosechadoras de varas (individuales o empacadas)
		En los ensayos la corta del chopo fue manual, utilizándose una desbrozadora de disco

Caracterización de su biomasa	Excelente calidad de su biomasa para aprovechamiento energético: valores óptimos de cloro, azufre, cenizas e índice Alcalí; excelentes poderes caloríficos
Potencialidad de cultivo en Andalucía	Alto potencial como cultivo energético para las condiciones de Andalucía

Duración de los ensayos

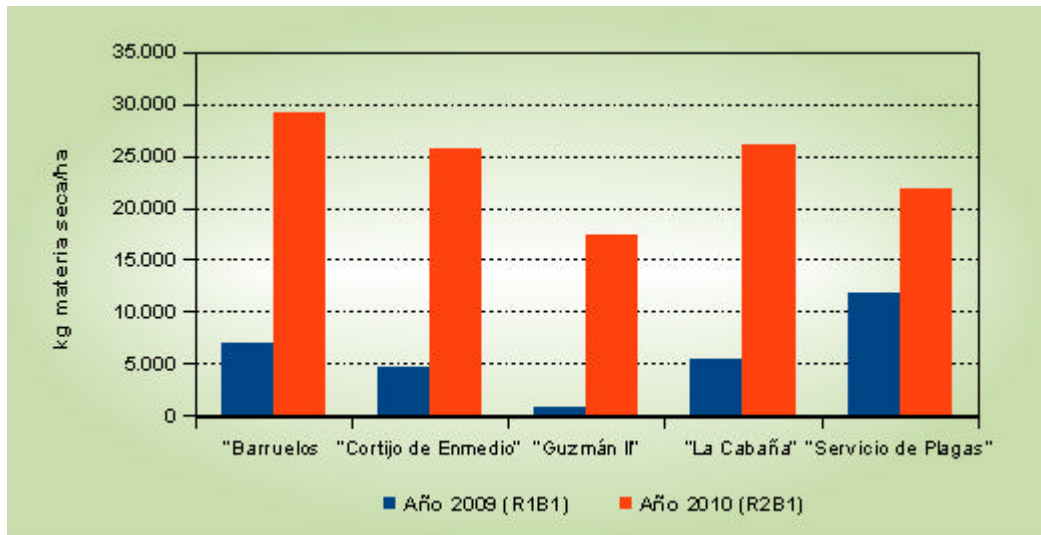
Cultivo	Finca	Localización	Año		Superficie (ha)	
			Inicio ensayo	Fin ensayo	Inicio	Actual
POPULUS SP.	"Barruelos"	Chiclana de Segura (Jaén)	2009	Continúa	0,500	0,500
	"Cortijo de Enmedio"	Moclín (Granada)			0,500	0,500
	"Guzmán II"	Palma del Río (Córdoba)			0,500	0,500
	"La Cabaña"	La Rinconada (Sevilla)			0,500	0,500
	"La Parra"	Puebla de Don Fadrique (Granada)		2010	0,500	0
	"Servicio de Plagas"	Dos Hermanas (Sevilla)		Continúa	0,500	0,500
	Total					3,000

Fuente: Elaboración propia.

Productividad

El Gráfico 4 muestra la evolución del rendimiento de los ensayos de chopo iniciados en 2009 que continuaron en 2010. Tanto en 2009 como en 2010 se cortó toda la superficie de ensayo a excepción de una superficie testigo de 30 m². De este modo, en 2009 se obtuvieron rendimientos de plantaciones con un año de raíz y un año de brote (R1B1) y en 2010 rendimientos de plantaciones con dos años de raíz y un año de brote (R2B1) y con dos años de raíz y dos de brote (R2B2).

Gráfico 4 Rendimientos de los ensayos de chopo (kg de materia seca/ha).



Fuente: Elaboración propia.

Como con el resto de cultivos leñosos de rotación corta analizados en el presente estudio, el gráfico anterior muestra que **los rendimientos del segundo turno de corta (R2B1) fueron superiores a los registrados en el primer turno de corta (R1B1)**.

La Tabla 14 muestra el rendimiento seco en función del turno de corta, la dosis de riego y la de abonado nitrogenado de los ensayos de chopo.

Tabla 14 Rendimiento seco del chopo según el turno de corta, el riego y la dosis de abono nitrogenado.

Finca	Riego (m ³ /ha)	kg N/ha	Turno de corta	Rendimiento (kg de materia seca/ha)
"Barruelos"	14.413,84	---	R1B1	7.015
"Cortijo de Enmedio"	11.062,60	---		4.772
"Guzmán II"	3.215,94	---		896
"La Cabaña"	7.676,98	---		5.422
"Servicio de Plagas "	19.967,10	---		11.809
Finca	Riego (m ³ /ha)	kg N/ha	Turno de corta	Rendimiento (kg de materia seca/ha)
"Barruelos"	11.159,84	---	R2B1	29.069
"Cortijo de Enmedio"	2.952,60	77,7		25.653
"Guzmán II"	7.680,90	79,2		17.374
"La Cabaña"	5.746,00	55,2		26.033
"Servicio de Plagas "	10.172,00	---		21.892

Fuente: Elaboración propia.

Como se recoge en la ficha de cultivo, se trata de una especie que necesita disponer de agua para lograr un desarrollo adecuado. En este sentido, destaca el rendimiento registrado en “Guzmán II” en 2009, muy reducido y que puede estar relacionado con la escasa cantidad de agua de riego aportada. Asimismo, destaca positivamente la respuesta productiva que supuso el riego en 2010, con incrementos notables de la productividad, que en “Cortijo de Enmedio”, “Guzmán II” y “La Cabaña” pudo verse también favorecida por la aportación de abono nitrogenado en las parcelas de cultivo. Respecto a este último aspecto (fertilización nitrogenada), sería necesario establecer un diseño experimental para conocer con exactitud la repercusión de este parámetro en la productividad del chopo.

Por último, cabe resaltar que los ensayos de chopo mostraron un **desarrollo y crecimiento vegetativo óptimo**, sin incidencias destacables durante su implantación, crecimiento y cosecha. En este sentido, destacar el crecimiento alcanzado por el chopo en “Barruelos”, donde la muestra de plantas estudiada alcanzó los 6 metros de altura media a finales de 2010.

Conclusiones a destacar tras los ensayos con el cultivo

- ? Comportamiento vegetativo óptimo, con un desarrollo vegetativo excelente durante su etapa de crecimiento, sin incidencias reseñables de cultivo.
- ? Buena adaptación a las parcelas de ensayo y respuesta positiva al riego.
- ? Excelentes resultados productivos de los ensayos: los rendimientos del segundo turno de corta (R2B1) fueron superiores a los registrados en el primer turno de corta (R1B1).
- ? Excelente calidad de su biomasa lignocelulósica: los niveles de cloro, azufre, cenizas e índice Alcalí presentan valores óptimos para su uso como biocombustible sólido, y su poder calorífico es elevado.

4. Indicadores de sostenibilidad de las especies energéticas

Con el objetivo de profundizar en el análisis de la sostenibilidad de las especies bajo ensayo, a continuación se analiza un conjunto de indicadores definidos a partir de la información y resultados de las experiencias que se vienen desarrollando desde 2005.

4.1. Indicadores propuestos

Los **indicadores de sostenibilidad** que se proponen son los siguientes:

1. **Mcal/ha**, que relaciona la cantidad de energía que puede generar un cultivo determinado energético (Mcal), y su productividad (rendimiento seco del cultivo expresado en kg biomasa seca/ha).

$$\text{Mcal/ha} = \frac{\text{PCI base seca (kcal / kg biomasa seca)} \times \text{Rendimiento seco (kg biomasa seca / ha)}}{1.000 \text{ (kcal / Mcal)}}$$

2. **Mcal/100 euros**, que relaciona la cantidad de energía que puede generar un cultivo energético determinado (Mcal), y sus costes de cultivo (€/ha).

$$\text{Mcal / 100 €} = \left[\frac{\text{PCI base seca (kcal / kg biomasa seca)}}{\frac{\text{costes de cultivo (€ / ha)}}{\text{Rendimiento seco (kg biomasa seca / ha)}}} : 1.000 \text{ (kcal / Mcal)} \right] : 100 \text{ €}$$

3. **Mcal/m³ de agua de riego**, que relaciona la cantidad de energía que puede reportar un cultivo concreto (Mcal), y el aporte de agua de riego que se le ha proporcionado (m³/ha).

$$\text{Mcal / m}^3 = \frac{\text{PCI base seca (kcal / kg biomasa seca)}}{\frac{\text{Riego (m}^3 \text{ / ha)}}{\text{Rendimiento seco (kg biomasa seca / ha)}}} : 1.000 \text{ (kcal / Mcal)}$$

Para estimar los indicadores propuestos se han establecido una serie de **consideraciones previas**, que se detallan a continuación:

1. Respecto a la **productividad** de los cultivos:

- En lo relativo a los **cultivos herbáceos**, se dispone de los rendimientos en base seca de los ensayos de **cardo** para cinco turnos de corta. Se ha descartado el ensayo llevado a cabo en “Majarambú” por haber mostrado una reducida productividad que se relaciona con las características agronómicas de la zona de ensayo.

En cuanto a los ensayos de **caña común** no se ha tenido en cuenta el de “La Palmosa” ya que solo se mantuvo durante un año de cultivo.

Igualmente, tampoco se ha tenido en cuenta la experiencia en “Guzmán II” con **miscanto** puesto que solo se disponía de un único dato de rendimiento (correspondiente al segundo año de cultivo).

Tabla 15 Rendimientos secos de las **especies herbáceas** según el turno de corta.

Cultivo energético	Turno de corta	kg biomasa seca/ha	
		Rendimiento por turno de corta	Rendimiento medio por cultivo
Cardo	R1B1	527	19.570
	R2B1	13.301	
	R3B1	22.807	
	R4B1	24.343	
	R5B1	36.875	
Caña común	R1B1	6.737	28.242
	R2B1	33.978	
	R3B1	44.010	
Miscanto	R1B1	1.382	6.294
	R2B1	11.206	

Fuente: Elaboración propia.

- Con relación a los **cultivos leñosos**, se han descartado los ensayos de la “La Parra” y “Majarambú” debido a la baja productividad de los cultivos alcanzada en estos emplazamientos. Asimismo, para todos los cultivos, únicamente se han analizado los dos primeros turnos de corta del cultivo (R1B1 y R2B1) al ser de los que se dispone de información suficiente.

Por especies, cabe señalar que en el estudio del eucalipto sólo se han analizado los clones Camaldulensis y Dunnii, pues del resto no se disponía de suficiente información. Asimismo, de sus ensayos únicamente se han considerado los realizados bajo riego,

por lo que no se han tenido en cuenta los resultados del ensayo en secano de “Servicio de Plagas” al objeto de utilizar información homogénea: rendimientos de eucalipto en regadío. En condiciones de secano sólo se dispone de los resultados del ensayo de “Servicio de Plagas”, en concreto, de una subparcela de este emplazamiento, siendo necesaria más información para poder realizar un estudio más profundo y exhaustivo de los indicadores de sostenibilidad definidos anteriormente en el caso de producciones de eucalipto en secano.

De las experiencias con paulownia no se ha tenido en cuenta el ensayo de “Los Embalses” por su escasa productividad. Igualmente sólo se han estudiado los clones 11 y Cotevisa 2, puesto que no se disponía de datos suficientes para analizar resultados del resto de clones.

Tabla 16 Rendimientos secos de las **especies leñosas** (según el turno de corta).

Cultivo Energético	Especie / clon / variedad	Turno de corta	kg biomasa seca/ha		
			Rendimiento por turno de corta	Rendimiento medio por especie/clon/variedad	Rendimiento medio por cultivo
Casuarina	Equisetifolia	R1B1	1.588	4.655	4.655
		R2B1	7.721		
Eucalipto	Camaldulensis	R1B1	6.274	10.952	8.720
		R2B1	15.629		
	Dunnii	R1B1	3.230	6.488	
		R2B1	9.745		
Paulownia	Clon 11	R1B1	580	1.600	1.603
		R2B1	2.620		
	Cotevisa 2	R1B1	504	1.606	
		R2B1	2.708		
Chopo	Viriato	R1B1	5.983	14.994	14.944
		R2B1	24.004		

Fuente: Elaboración propia.

- Respecto al **poder calorífico**, que es la cantidad de energía que se desprende en la combustión de un kilogramo de combustible sólido o líquido (en este caso biomasa) , expresada en kcal/kg, en el estudio que nos ocupa se ha utilizado el **poder calorífico inferior en base seca**¹⁰ de las muestras analizadas en las experiencias de la red de ensayos. Se ha partido de los resultados de los análisis realizados en 2010 y 2011 a muestras de las especies energéticas.

¹⁰Se denomina Poder Calorífico Inferior (PCI) al resultante de restar el Poder Calorífico Superior (PCS) el calor latente de vaporización del agua formada en la combustión y arrastrada por los humos en un proceso de combustión a presión constante. Si no se indica lo contrario, se entiende que el PCI se refiere a materia seca (0% de humedad).

El Poder Calorífico Superior (PCS) es la energía total producida en la combustión, determinada por medio de un calorímetro que efectúa la combustión a volumen constante y donde todo el agua producida y vaporizada en la combustión se encuentra en estado líquido en el momento de tomar las medidas. Las determinaciones se realizan a una temperatura de 30°C.

Tabla 17 Poderes caloríficos de las **especies energéticas herbáceas** de la red de ensayos.

Cultivo energético	Finca	Año de análisis	Turno de corta	PCI (base seca) (kcal/kg)	
				Según turno de corta	Media
Cardo	“Somonte”	2010	R4B1	3.061	3.061
Caña común	“La Cabaña”	2010	R1B1	2.765	3.290
		2011	R2B1	4.201	
	“Guzmán II”	2011	R3B1	2.904	
Miscanto	“Servicio de Plagas”	2011	R2B1	4.087	4.116
				4.146	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18 Poderes caloríficos de las **especies energéticas leñosas** de la red de ensayos.

Cultivo energético	Especie / Clon / Variedad	Finca	Año de análisis	Turno de corta	PCI (base seca) (kcal/kg)		
					Según turno de corta	Por clon	Por especie
Casuarina	Equisetifolia	"Guzmán II"	2010	R1B1	3.942	3.874	
			2011	R2B1	3.281		
		"La Cabaña"	2011	R2B2	3.883		
				R2B2	4.390		
Eucaliptus	Camaldulensis	"Servicio de Plagas"	2010	R1B1	3.191	3.243	3.366
			2011	R2B1	3.194		
		"La Cabaña"	2011	R2B2	3.344		
	Dunnii	"Servicio de Plagas"	2010	R1B1 (secano)	3.583	3.241	
				R2B1 (secano)	3.071		
			2011	R2B2	3.067		
	Maidenii	"Servicio de Plagas"	2010	R1B1 (secano)	3.496	3.429	
				R2B2	3.030		
		"Guzmán II"	2011	R2B2	3.116		
				R2B1 (secano)	3.160		
				R2B2 (secano)	2.999		
	"Servicio de Plagas"	2011	R2B2	4.101			
	Saligna	"Servicio de Plagas"	2010	R1B1 (secano)	3.224	3.417	
				R2B1	3.596		
				R2B2	3.098		
2011			R2B1 (secano)	3.145			
			R2B2 (secano)	3.130			
			R2B2	4.306			
Paulownia	Clon 11	"Pago de Enmedio"	2010	R2B2	3.374	3.385	
			2011	R3B2	3.443		
	2010			R3B3	3.338		
			2011	R2B2	3.383	3.420	
	R3B2	3.355					
	Cotevisa 1	"Servicio de Plagas"	2010	R3B3	3.522		
				R1B1	3.133	3.133	
	Cotevisa 2	"Pago de Enmedio"	2010	R2B2	3.513	3.408	
				2011	R3B2		3.175
					R3B3		3.537
Clon USA 105	"Pago de Enmedio"	2011	R3B2	3.596	3.481		
			R3B3	3.366			
Populus	Clon Viriato	-	-	R1B1	3.623	3.623	

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos, tanto para herbáceos como para leñosos, se ha podido concluir además, que no existen grandes diferencias entre los cultivos de secano y los de regadío, ni entre los PCI correspondientes a biomasa obtenida de distintos turnos de corta. En consecuencia, para la estimación y análisis de los indicadores de sostenibilidad propuestos en el estudio, se han considerado los valores medios de PCI de las muestras analizadas que se resumen en la Tabla 19.

✍

Tabla 19 Poderes caloríficos de las **especies energéticas** de la red de ensayos.

Cultivo energético	PCI (base seca) (kcal/kg)
Cardo	3.061
Caña común	3.290
Miscanto	4.116
Casuarina	3.874
Eucalipto	3.366
Paulownia	3.395
Chopo	3.623

Fuente: Elaboración propia.

- Respecto a los **costes de producción**, como se recoge en los informes de seguimiento de los ensayos con cultivos energéticos de años anteriores, se han estimado considerando plantaciones con una superficie media de 20 hectáreas y diferenciando entre los costes del primer año de cultivo y los años siguientes. En este sentido, cabe señalar que se trata de costes de producción asociados a itinerarios teóricos de cultivo que persiguen establecer un manejo sostenible de las especies incluidas en la red de ensayos, es decir, optimizando los recursos disponibles en los emplazamientos en los que se localizan los cultivos, como por ejemplo el agua de riego, los de pases de maquinaria agrícola y los tratamientos fitosanitarios.

Tabla 20 Costes anuales y costes medios de cultivo de las **especies herbáceas** de la red de ensayos.

Cultivo energético	Año de cultivo	euros/ha	
		Coste anual	Coste medio
Cardo	Año 1	450	1.050
	Año 2	1.200	
	Año 3	1.200	
	Año 4	1.200	
	Año 5	1.200	
Caña común	Año 1	4.075	1.881
	Año 2	770	
	Año 3	798	
Miscanto	Año 1	5.755	2.441
	Año 2	798	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21 Costes anuales y costes medios de cultivo de las especies leñosas de la red de ensayos.

Cultivo energético	Año de cultivo	euros/ha	
		Coste anual	Coste medio
Casuarina	Año 1	4.356	2.383
	Año 2	410	
Eucalipto	Año 1	3.423	1.917
	Año 2	410	
Paulownia	Año 1	5.295	2.853
	Año 2	410	
Chopo	Año 1	6.490	3.450
	Año 2	410	

Fuente: Elaboración propia.

4. Respecto a las **aportaciones de agua de riego**, en las tablas siguientes se recogen los consumos de agua tanto por finca como por turno de corta, para cada cultivo.

Tabla 22 Aportaciones de agua de riego de las especies herbáceas de la red de ensayos (por experiencia).

CAÑA COMÚN				
Finca	m ³ /ha			
	2009	2010	2011	Media
“Guzmán II” (2008)	600	1.528	5.295	2.474
“Guzmán II” (2009)	-	4.430	5.586	5.008
“La Cabaña”	-	8.388	10.795	9.592

MISCANTO			
Finca	m ³ /ha		
	2010	2011	Media
“Cortijo de Enmedio”	8.776	4.056	6.416
“Servicio de Plagas”	9.026	8.278	8.652

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23 Aportaciones de agua de riego de las especies herbáceas de la red de ensayos (según el turno de corta).

Cultivo energético	Año de cultivo / Turno de corta	m ³ /ha	
Caña común	Año 1 / R1B1	4.473	5.246
	Año 2 / R2B1	5.970	
	Año 3 / R3B1	5.295	
Miscanto	Año 1 / R1B1	8.091	6.995
	Año 2 / R2B1	5.089	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24 Aportaciones de agua de riego de las especies leñosas de la red de ensayos (por experiencia).

CASUARINA			
Finca	m ³ /ha		
	2010	2011	Media
“Barruelos”	2.498	2.250	2.374
“Cortijo de Enmedio”	783	857	820
“Guzmán II”	958	715	837
“La Cabaña”	1.820	1.750	1.785
“Servicio de Plagas”	2.065	2.960	2.513

EUCALIPTO				
Finca	Clon	m ³ /ha		
		2010	2011	Media
“Cortijo de Enmedio”	Calmadulensis	3.034	1.514	2.274
	Dunnii	3.034	1.514	2.274
“Guzmán II”	Calmadulensis	701	390	546
	Dunnii	701	390	546
“La Cabaña”	Calmadulensis	900	1.980	1.440
	Dunnii	900	1.980	1.440
“Servicio de Plagas”	Calmadulensis	-	403	403
	Dunnii	-	403	403

PAULOWNIA				
Finca	Clon	m ³ /ha		
		2010	2011	Media
“Barruelos”	Clon 11	892	759	825
	Cotevisa 2	892	759	825
“Cortijo de Enmedio”	Clon 11	1.148	766	957
	Cotevisa 2	1.148	766	957
“Servicio de Plagas”	Clon 11	1.099	903	1.001
	Cotevisa 2	1.140	937	1.038
“Somonte”	Clon 11	721	505	613

PAULOWNIA				
Finca	Clon	m ³ /ha		
		2010	2011	Media
	Cotevisa 2	721	505	613

CHOPO			
Finca	m ³ /ha		
	2010	2011	Media
“Barruelos”	14.414	11.160	12.787
“Cortijo de Enmedio”	11.063	2.953	7.008
“Guzmán II”	3.216	7.681	5.448
“La Cabaña”	7.677	5.746	6.711
“Servicio de Plagas”	19.967	10.172	15.070

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25 Aportaciones de agua de riego de las especies leñosas de la red de ensayos (según el turno de corta).

Cultivo energético	Especie / Clon / Variedad	Año de cultivo / Turno de corta	m ³ /ha		
Casuarina	Equisetifolia	Año 1 / R1B1	1.592	1.523	1.523
		Año 2 / R2B1	1.455		
Eucalipto	Camaldulensis	Año 1 / R1B1	1.545	1.420	1.420
		Año 2 / R2B1	1.295		
	Dunnii	Año 1 / R1B1	1.545	1.420	
		Año 2 / R2B1	1.295		
Paulownia	Clon 11	Año 1 / R1B1	965	970	854
		Año 2 / R2B1	975		
	Cotevisa 2	Año 1 / R1B1	733	737	
		Año 2 / R2B1	742		
Chopo	Viriato	Año 1 / R1B1	11.267	9.405	9.405
		Año 2 / R2B1	7.542		

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Resultados obtenidos

Partiendo de las consideraciones previas y los datos anteriores, a continuación se muestran los valores de los indicadores de sostenibilidad propuestos.

? Mcal/ha

La Tabla 26 y la Tabla 27 muestran los valores correspondientes a este indicador (Mcal/ha) para las **especies herbáceas**

Tabla 26 Mcal/ha de las especies herbáceas según el turno de corta.

Cultivo energético	Turno de corta	Mcal/ha	
		Valor por cultivo y turno de corta	Valor medio por cultivo
Cardo	R1B1	1.613	59.908
	R2B1	40.175	
	R3B1	69.814	
	R4B1	74.517	
	R5B1	112.879	
Caña común	R1B1	22.165	92.917
	R2B1	111.789	
	R3B1	144.796	
Miscanto	R1B1	5.689	25.908
	R2B1	46.128	

Fuente: Elaboración propia.

De las especies herbáceas, **es la caña común la que presenta una mejor relación entre el poder calorífico y el rendimiento de cultivo**, seguida por el cardo y el miscanto.

Lógicamente el indicador alcanza valores más reducidos en el primer turno de corta (R1B1), siendo a partir del segundo año cuando se incrementa de manera notable.

En conclusión, si bien el miscanto presenta un poder calorífico superior que la caña común y el cardo, en las experiencias llevadas a cabo hasta la fecha en el marco de la red de ensayos, la productividad de la caña, independientemente del turno de corta, supera al de los otros dos cultivos herbáceos.

Si ahora nos centramos en los resultados medios del indicador por cultivo en función del emplazamiento de los ensayos, se observan diferencias notables, en algunos casos.

Tabla 27 Mcal/ha de las especies herbáceas de la red de ensayos (por experiencia).

CARDO						
Finca	Mcal/ha					
	2006	2007	2008	2009	2010	Valor medio
“Cortijo de Enmedio”	1.696	60.613	115.228	79.589	122.445	75.914
“Los Embalses”	-	-	17.684	56.631	103.313	59.209
“Somonte”	1.531	-	20.817	76.528	87.331	46.552

CAÑA COMÚN				
Finca	Mcal/ha			
	2009	2010	2011	Valor medio
“Guzmán II” (2008)	29.374	59.080	144.796	77.751
“Guzmán II” (2009)	-	6.524	93.524	50.026
“La Cabaña”	-	30.598	182.764	106.681

MISCANTO			
Finca	Mcal/ha		
	2010	2011	Valor medio
“Cortijo de Enmedio”	3.725	37.220	20.475
“Servicio de Plagas”	7.652	55.036	31.346

Fuente: Elaboración propia.

De los ensayos de caña común y miscanto son los de “La Cabaña” y “Servicio de Plagas”, respectivamente, los que alcanzan un valor más elevado para este indicador. Se trata de las experiencias “más productivas” de las iniciadas con estas especies. Igualmente, para el cultivo del cardo, el emplazamiento que muestra mayores rendimientos durante el período analizado, “Cortijo de Enmedio”, es el que registra el valor más alto para este indicador.

La Tabla 28 y la Tabla 29 muestran los valores del indicador para las especies leñosas.

Tabla 28 Mcal/ha de las especies leñosas de la red de ensayos (según el turno de corta).

Cultivo energético	Especie / Clon / Variedad	Turno de corta	Mcal/ha		
Casuarina	Equisetifolia	R1B1	6.152	18.031	18.031
		R2B1	29.911		
Eucalipto	Camaldulensis	R1B1	21.118	36.862	29.349
		R2B1	52.606		
	Dunnii	R1B1	10.872	21.836	
		R2B1	32.801		
Paulownia	Clon 11	R1B1	1.969	5.431	5.441
		R2B1	8.894		
	Cotevisa 2	R1B1	1.711	5.452	
		R2B1	9.192		
Chopo	Viriato	R1B1	21.677	54.323	54.323
		R2B1	86.969		

Fuente: Elaboración propia.

El chopo es el cultivo que muestra el valor más elevado para este indicador, tanto si se considera un rendimiento medio de cultivo como si se consideran los dos turnos de corta a los que se sometieron los ensayos (R1B1 y R2B1). Tras él se sitúan el eucalipto (camaldulensis y dunnii, por este orden) y la casuarina. La paulownia es la especie que registra los valores más bajos para este indicador.

Como ya se ha comentado anteriormente, se trata de especies con poderes caloríficos similares (varían entre las 3.300 y 3.800 kcal/kg), sin bien presentan diferencias significativas en cuanto a su productividad, siendo la del chopo la más elevada.

Como en el caso de las especies herbáceas, a continuación se muestran los valores del indicador, por cultivo, para cada uno de los emplazamientos de ensayo.

Tabla 29 Mcal/ha de las especies leñosas de la red de ensayos (por experiencia).

CASUARINA			
Finca	Mcal/ha		
	2010	2011	Media
“Barruelos”	4.866	-	-
“Cortijo de Enmedio”	6.098	-	-
“Guzmán II”	7.132	22.914	15.023
“La Cabaña”	9.549	-	-
“Servicio de Plagas”	3.111	36.907	20.009

EUCALIPTO				
Finca	Clon	Mcal/ha		
		2010	2011	Media
"Cortijo de Enmedio"	Calmadulensis	12.811	9.940	11.377
	Dunnii	7.792	6.873	7.335
"Guzmán II"	Calmadulensis	17.419	67.657	42.540
	Dunnii	7.139	39.338	23.239
"La Cabaña"	Calmadulensis	33.121	90.579	61.850
	Dunnii	17.688	45.643	31.667
"Servicio de Plagas"	Calmadulensis	-	42.257	-
	Dunnii	-	39.352	-

PAULOWNIA				
Finca	Clon	Mcal/ha		
		2010	2011	Media
"Barruelos"	Clon 11	282	3.296	1.789
	Cotevisa 2	346	2.773	1.561
"Cortijo de Enmedio"	Clon 11	1.283	15.465	8.374
	Cotevisa 2	1.093	13.154	7.125
"Servicio de Plagas"	Clon 11	1.076	8.941	5.010
	Cotevisa 2	883	14.905	7.896
"Somonte"	Clon 11	5.231	7.865	6.548
	Cotevisa 2	4.521	5.930	5.228

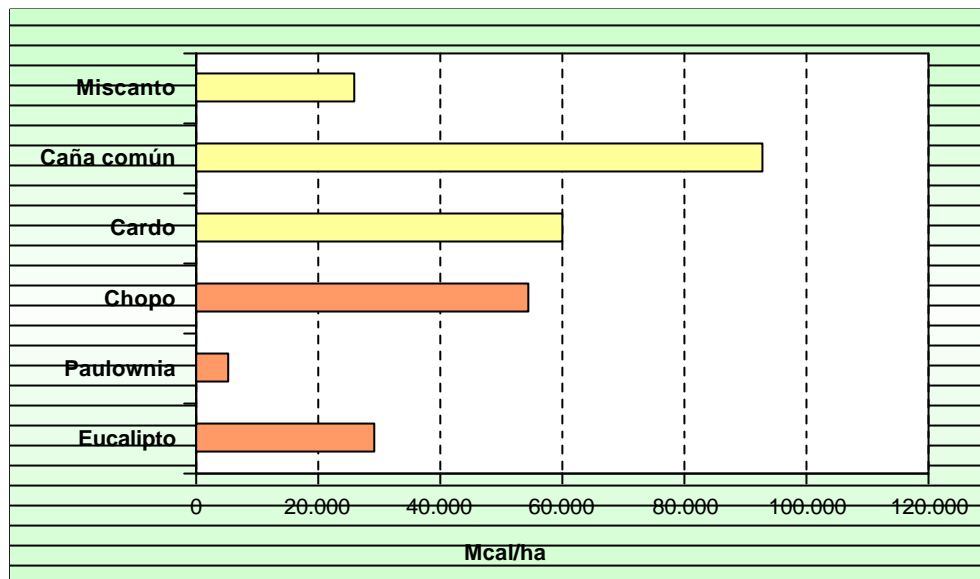
CHOPO				
Finca	Mcal/ha			
	2010	2011	Media	
"Barruelos"	25.415	105.317	65.366	
"Cortijo de Enmedio"	17.289	92.941	55.117	
"Guzmán II"	3.246	62.946	33.096	
"La Cabaña"	19.644	94.318	56.983	
"Servicio de Plagas"	42.784	79.315	61.051	

Fuente: Elaboración propia.

El ensayo en "Servicio de Plagas" con casuarina, el de "La Cabaña" con eucalipto, el de "Cortijo de Enmedio" con paulownia y el de "Barruelos" con chopo son los que alcanzaron los valores más elevados para este indicador.

En el siguiente gráfico se resumen los valores medios del indicador analizado para los distintos cultivos.

Gráfico 5 Valores medios del indicador Mcal/ha para los cultivos estudiados.



Fuente: Elaboración propia.

? Mcal/100 euros

Las tablas siguientes muestran los valores del indicador para las **especies herbáceas**.

Tabla 30 Mcal/100 euros de las especies herbáceas de la red de ensayos (según el turno de corta).

Cultivo energético	Año de cultivo / Turno de corta	Mcal/100 euros	
Cardo	Año 1 / R1B1	0,036	0,571
	Año 2 / R2B1	0,339	
	Año 3 / R3B1	0,582	
	Año 4 / R4B1	0,621	
	Año 5 / R5B1	0,941	
Caña común	Año 1 / R1B1	0,050	0,491
	Año 2 / R2B1	1,452	
	Año 3 / R3B1	1,814	
Miscanto	Año 1 / R1B1	0,010	0,106
	Año 2 / R2B1	0,599	

Fuente: Elaboración propia.

El cardo alcanza el valor más elevado del indicador dentro del grupo de cultivos herbáceos. Así, por cada 100 euros invertidos en el cultivo del cardo se generan 0,571 Mcal. Tras él se sitúan la caña común (0,491 Mcal) y el miscanto (0,106 Mcal).

No obstante, si se consideran los turnos de corta del cultivo, en particular, los primeros que son aquellos de los que se dispone de información para las tres especies analizadas, es la caña común la que presenta valores superiores para el indicador.

En las tablas siguientes se muestran los valores del indicador, por cultivo, para cada uno de los emplazamientos de ensayo.

Tabla 31 Mcal/100 euros de las especies herbáceas de la red de ensayos (por experiencia).

CARDO						
Finca	Mcal/100 euros					
	2006	2007	2008	2009	2010	Media
“Cortijo de Enmedio”	0,038	0,505	0,960	0,663	1,020	0,723
“Los Embalses”	-	-	0,147	0,472	0,861	0,493
“Somonte”	0,034	-	0,173	0,638	0,728	0,460

CAÑA COMÚN				
Finca	Mcal/100 euros			
	2009	2010	2011	Media
“Guzmán II” (2008)	0,072	0,767	1,814	0,413
“Guzmán II” (2009)	-	0,016	1,215	0,310
“La Cabaña”	-	0,075	2,374	0,661

MISCANTO			
Finca	Mcal/100 euros		
	2010	2011	Media
“Cortijo de Enmedio”	0,006	0,483	0,063
“Servicio de Plagas”	0,013	0,715	0,096

Fuente: Elaboración propia.

Las experiencias en “Cortijo Enmedio”, “La Cabaña” y “Servicio de Plagas” son las que alcanzaron mayores valores para el cardo, la caña común y el miscanto, respectivamente.

La Tabla 32 y la Tabla 33 recogen los resultados para las **especies leñosas**.

Tabla 32 Mcal/100 euros de las especies leñosas de la red de ensayos (según el turno de corta).

Cultivo energético	Especie / Clon / Variedad	Año de cultivo / Turno de corta	Mcal/100 euros		
Casuarina	Equisetifolia	Año 1 / R1B1	0,014	0,076	0,076
		Año 2 / R2B1	0,730		
Eucalipto	Camaldulensis	Año 1 / R1B1	0,062	0,192	0,153
		Año 2 / R2B1	1,283		
	Dunnii	Año 1 / R1B1	0,032	0,114	
		Año 2 / R2B1	0,800		
Paulownia	Clon 11	Año 1 / R1B1	0,004	0,019	0,019
		Año 2 / R2B1	0,217		
	Cotevisa 2	Año 1 / R1B1	0,003	0,019	
		Año 2 / R2B1	0,224		
Chopo	Viriato	Año 1 / R1B1	0,033	0,157	0,157
		Año 2 / R2B1	2,121		

Fuente: Elaboración propia.

Considerando costes y rendimientos medios de cultivo, el chopo y el eucalipto presentan valores similares para este indicador: por cada 100 euros invertidos en la implantación y mantenimiento de estas especies se obtienen 0,157 Mcal y 0,153 Mcal respectivamente. Tras ellos se sitúan la casuarina (0,076 Mcal) y la paulownia (0,019 Mcal).

Considerando los turnos de corta analizados en el estudio (R1B1 y R2B1), destaca que para el primer turno de corta (R1B1) el eucalipto Camaldulensis registra los valores más elevados del indicador, mientras que si se analiza el segundo turno de corta (R2B1) es el chopo el que muestra el valor más elevado.

Cabe recordar que se trata de especies leñosas de elevada productividad, principalmente el chopo, el eucalipto y la casuarina, con costes de cultivo similares. Difieren fundamentalmente en los costes de implantación (primer año de cultivo). Estos costes son superiores en el chopo, frente a eucalipto, casuarina y paulownia, hecho que explica que para el primer turno de corta este indicador sea algo menor para el chopo. No obstante, tras la instauración del cultivo, su productividad se incrementa y supera a la del resto de especies leñosas.

Tabla 33 Mcal/100 euros de las especies leñosas de la red de ensayos (por experiencia).

CASUARINA			
Finca	Mcal/100 euros		
	2010	2011	Media
“Barruelos”	0,011	-	-
“Cortijo de Enmedio”	0,014	-	-
“Guzmán II”	0,016	0,559	0,063
“La Cabaña”	0,022	-	-
“Servicio de Plagas”	0,007	0,900	0,084

EUCALIPTO				
Finca	Clon	Mcal/100 euros		
		2010	2011	Media
“Cortijo de Enmedio”	Calmadulensis	0,037	0,242	0,059
	Dunnii	0,023	0,168	0,038
“Guzmán II”	Calmadulensis	0,051	1,650	0,222
	Dunnii	0,021	0,959	0,121
“La Cabaña”	Calmadulensis	0,097	2,209	0,323
	Dunnii	0,052	1,113	0,165
“Servicio de Plagas”	Calmadulensis	-	1,031	-
	Dunnii	-	0,960	-

PAULOWNIA				
Finca	Clon	Mcal/100 euros		
		2010	2011	Media
“Barruelos”	Clon 11	0,001	0,080	0,006
	Cotevisa 2	0,001	0,068	0,005
“Cortijo de Enmedio”	Clon 11	0,002	0,377	0,029
	Cotevisa 2	0,002	0,321	0,025
“Servicio de Plagas”	Clon 11	0,002	0,218	0,018
	Cotevisa 2	0,002	0,364	0,028
“Somonte”	Clon 11	0,010	0,192	0,023
	Cotevisa 2	0,009	0,145	0,018

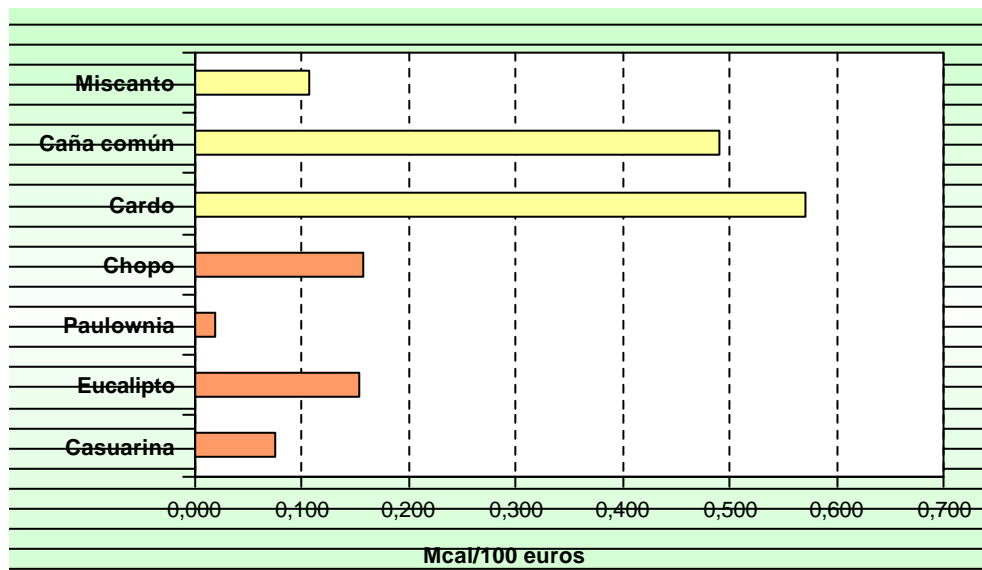
CHOPO			
Finca	Mcal/100 euros		
	2010	2011	Media
“Barruelos”	0,039	2,569	0,189
“Cortijo de Enmedio”	0,027	2,267	0,160
“Guzmán II”	0,005	1,535	0,096
“La Cabaña”	0,030	2,300	0,165
“Servicio de Plagas”	0,066	1,935	0,177

Fuente: Elaboración propia.

El ensayo en “Servicio de Plagas” con casuarina, el de “La Cabaña” con eucalipto, el de “Cortijo de Enmedio” con paulownia y el de “Barruelos” con chopo son los que alcanzan mayores valores del indicador analizado.

En el siguiente gráfico se resumen los valores medios del indicador para los cultivos estudiados.

Gráfico 6 Valores medios del indicador Mcal/100 euros para los cultivos estudiados.



Fuente: Elaboración propia.

? Mcal/m³ de agua de riego

La Tabla 34 y la Tabla 35 recogen los valores de este indicador (Mcal/m³) para las **especies herbáceas**.

Tabla 34 Mcal/m³ de agua de riego de las **especies herbáceas** de la red de ensayos (según el turno de corta).

Cultivo energético	Año de cultivo / Turno de corta	Mcal/m ³	
Caña común	Año 1 / R1B1	4,55	17,60
	Año 2 / R2B1	18,73	
	Año 3 / R3B1	27,35	
Miscanto	Año 1 / R1B1	0,64	3,16
	Año 2 / R2B1	7,56	

Fuente: Elaboración propia

La caña común, en condiciones de regadío, es más eficiente en el uso del agua para transformarla en bioenergía, que el miscanto: de media, por cada metro cúbico de agua de riego utilizada en el cultivo de caña se obtienen 17,60 Mcal, mientras que con el mismo aporte de agua de riego, con el miscanto se obtienen 3,16 Mcal.

Tabla 35 Mcal/m³ de agua de riego de las **especies herbáceas** de la red de ensayos (por experiencia).

CAÑA COMÚN				
Finca	Mcal/m ³			
	2009	2010	2011	Media
“Guzmán II” (2008)	48,96	38,65	27,35	31,42
“Guzmán II” (2009)	-	1,47	16,74	14,98
“La Cabaña”	-	3,65	16,93	16,68

MISCANTO			
Finca	Mcal/m ³		
	2010	2011	Media
“Cortijo de Enmedio”	0,42	9,18	3,19
“Servicio de Plagas”	0,85	6,65	3,62

Fuente: Elaboración propia

De los ensayos de caña común, el iniciado en 2008 en “Guzmán II” es el que emplea más eficientemente el riego: un metro cúbico de agua genera de media 31,42 Mcal, mientras que en el resto de experiencias se obtienen 14,98 Mcal (en el ensayo de “Guzmán II” iniciado en 2009) y 16,68 Mcal (en el ensayo de “La Cabaña” iniciado en 2009). Destaca que si bien el ensayo de

“La Cabaña” es el más productivo, es también de la experiencia que mayor aporte de agua ha recibido durante el periodo de estudio. Se hace necesario, por tanto, profundizar en el manejo adecuado y óptimo del riego para la caña, y las especies energéticas en general, al objeto de avanzar en la sostenibilidad de su cultivo.

Respecto al miscanto, las dos fincas en las que se ensayó esta especie muestran valores similares del indicador: 3,19 Mcal/m³ en “Cortijo de Enmedio” y 3,62 Mcal/m³ en “Servicio de Plagas”.

Las tablas siguientes muestran los valores alcanzados por el indicador Mcal/m³ de agua de riego, para las **especies leñosas** estudiadas.

Tabla 36 Mcal/m³ de agua de riego de las **especies leñosas** de la red de ensayos (según el turno de corta).

Cultivo energético	Especie / Clon / Variedad	Año de cultivo / Turno de corta	Mcal/m ³		
Casuarina	Equisetifolia	Año 1 / R1B1	3,79	10,83	10,83
		Año 2 / R2B1	17,53		
Eucalipto	Camaldulensis	Año 1 / R1B1	13,67	25,96	20,67
		Año 2 / R2B1	40,63		
	Dunnii	Año 1 / R1B1	7,04	15,38	
		Año 2 / R2B1	25,34		
Paulownia	Clon 11	Año 1 / R1B1	2,04	5,60	6,37
		Año 2 / R2B1	9,12		
	Cotevisa 2	Año 1 / R1B1	2,33	7,39	
		Año 2 / R2B1	12,40		
Chopo	Viriato	Año 1 / R1B1	1,92	5,78	5,78
		Año 2 / R2B1	11,53		

Fuente: Elaboración propia

De las especies leñosas ensayadas, el eucalipto es la que más eficientemente emplea el agua de riego ya que, por cada metro cúbico medio de agua aportada en su cultivo se extraen 20,67 Mcal de su biomasa. Tras él, se sitúa la casuarina que con el mismo aporte de agua de riego logra 10,83 Mcal, la paulownia con la que se extraen 6,37 Mcal y el chopo con 5,78 Mcal.

De los valores estimados para este indicador, destaca los del chopo, la especie leñosa más productiva de las analizadas, si bien es al mismo tiempo la que mayores requerimientos hídricos necesita, hecho que justifica los bajos valores alcanzados por este indicador. Como se ha comentado anteriormente al referirnos a la caña común, se hace necesario avanzar en el uso sostenible de este recurso (agua de riego) al objeto de equilibrar la productividad de las especies energéticas con su uso, persiguiendo así la sostenibilidad económica y ambiental del aprovechamiento energético de estos cultivos.

Tabla 37 Valores del indicador Mcal/m³ del agua de riego para las especies leñosas de la red de ensayos (por ensayo).

CASUARINA			
Finca	Mcal/m ³		
	2010	2011	Media
“Barruelos”	1,95	-	-
“Cortijo de Enmedio”	7,78	-	-
“Guzmán II”	7,44	32,05	17,96
“La Cabaña”	5,25	-	-
“Servicio de Plagas”	1,51	12,47	7,96

EUCALIPTO				
Finca	Clon	Mcal/m ³		
		2010	2011	Media
“Cortijo de Enmedio”	Calmadulensis	4,22	6,56	5,00
	Dunnii	2,57	4,54	3,23
“Guzmán II”	Calmadulensis	24,83	173,53	77,96
	Dunnii	10,18	100,90	42,59
“La Cabaña”	Calmadulensis	36,79	45,75	42,59
	Dunnii	19,65	23,05	21,99
“Servicio de Plagas”	Calmadulensis	-	104,97	-
	Dunnii	-	97,75	-

PAULOWNIA				
Finca	Clon	Mcal/m ³		
		2010	2011	Media
“Barruelos”	Clon 11	0,32	4,35	2,17
	Cotevisa 2	0,39	3,66	1,89
“Cortijo de Enmedio”	Clon 11	1,12	20,20	8,75
	Cotevisa 2	0,95	17,18	7,45
“Servicio de Plagas”	Clon 11	0,98	9,90	5,00
	Cotevisa 2	0,77	15,91	7,60
“Somonte”	Clon 11	7,26	15,57	10,68
	Cotevisa 2	6,27	11,74	8,53

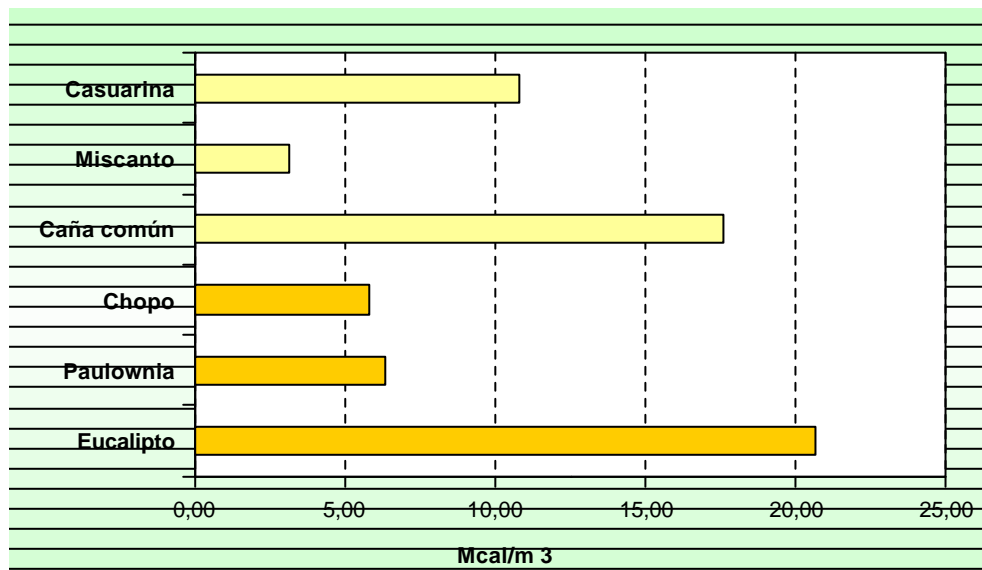
CHOPO			
Finca	Mcal/m ³		
	2010	2011	Media
“Barruelos”	1,76	9,44	5,11
“Cortijo de Enmedio”	1,56	31,48	7,87
“Guzmán II”	1,01	8,20	6,07
“La Cabaña”	2,56	16,41	8,49
“Servicio de Plagas”	2,14	7,80	4,05

Fuente: Elaboración propia.

Los ensayos de casuarina y eucalipto en “Guzmán II”, de paulownia en “Somonte” y chopo en “La Cabaña” son los que alcanzan los valores más elevados para este indicador.

En el siguiente gráfico se resumen los valores medios del indicador para los cultivos estudiados.

Gráfico 7 Valores medios del indicador Mcal/m³ de agua de riego para los cultivos estudiados.



Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones

Antes de concretar las conclusiones derivadas de los ensayos desarrollados durante el período de estudio, es necesario hacer hincapié en las dificultades encontradas tanto en el establecimiento de las especies seleccionadas como en el seguimiento del desarrollo y crecimiento de los cultivos finalmente instaurados. En particular, destacan los siguientes aspectos:

- ? Respecto a los rendimientos de los cultivos, la gran variabilidad de condiciones de suelo y clima, así como de las dosis de riego y labores de manejo de cada ensayo, no han permitido un análisis adecuado de las producciones obtenidas, por lo que no se han podido extraer conclusiones documentadas sobre el comportamiento de los mismos en el conjunto del territorio andaluz.

No obstante, **los resultados obtenidos sí pueden servir de base para un estudio en el que se haga un diseño mas cuidadoso de los ensayos y así poder extraer conclusiones.**

- ? Los **cultivos herbáceos** (mayoritariamente de carácter anual) son **mas fáciles de caracterizar, en cuanto a su productividad, que los cultivos leñosos**. La productividad de estos últimos ha resultado mas compleja de estudiar puesto que, en algunos casos, apenas se contaba con datos de dos años de cultivo (por ejemplo, en casuarina, eucalipto y chopo) y de tres años para otros como la paulownia. Por esta razón se cree fundamental proseguir los ensayos iniciados en años anteriores con el fin de profundizar en el conocimiento de su crecimiento y desarrollo, así como dimensionar los turnos de corta óptimos para cada especie.
- ? Los ensayos desarrollados con cultivos herbáceos como la caña común o el miscanto, o con cultivos leñosos como la casuarina, el eucalipto, la paulownia y el chopo son **experiencias innovadoras y novedosas** en el territorio andaluz dada la escasa información que se tiene sobre estos cultivos, lo que resulta un factor limitante a la hora de establecer un protocolo preciso relativo a las prácticas culturales que permitan la optimización de su desarrollo y utilización en los territorios andaluces.

La red experimental establecida ha permitido contar con ensayos en siete de las provincias andaluzas (sólo Almería ha quedado fuera de dicha red), lo que ha permitido obtener información de partida esencial para el conocimiento de dichas especies, de los factores que limitan su desarrollo, del manejo de su cultivo y de su interés para su aprovechamiento energético.

Profundizando en la experiencia acumulada tras 5 años de ensayos se puede destacar que aunque se han obtenido buenos resultados con algunas de las especies herbáceas como la caña común o el miscanto, los resultados mas positivos los han dado las especies leñosas de rotación corta (casuarina, eucalipto, jatrofa, paulownia y chopo), con una óptima adaptabilidad a las condiciones de los emplazamientos en los que se implantaron (suelo, riego, manejo,

tratamientos), y con excelentes rendimientos en los diferentes turnos de corta realizados, lo que se traduce en una elevada capacidad de producción de biomasa. Asimismo, cabe resaltar su buen comportamiento vegetativo, mostrando un gran y rápido crecimiento y una notable capacidad de rebrote, unidos a una gran resistencia a enfermedades y plagas¹¹.

Si abordamos los **resultados obtenidos de los indicadores de sostenibilidad** de las especies en ensayo, destaca lo siguiente:

- ? La **caña común**, dentro de los herbáceos, y **el chopo**, dentro de los leñosos, son los cultivos que presentan una **mejor relación entre poder calorífico y rendimiento**.

Respecto a la caña común, si bien su poder calorífico es inferior al del miscanto, su productividad es más elevada. En cuanto al chopo, a su alto poder calorífico se añade su elevada productividad.

Según el emplazamiento, el ensayo de cardo en “Cortijo de Enmedio”, de caña común en “La Cabaña” y de miscanto en “Servicio de Plagas” son los que presentan los valores más elevados para este indicador al tratarse de los ensayos más productivos. Analizando las especies leñosas, las experiencias en “Servicio de Plagas” con casuarina, en “La Cabaña” con eucalipto, en “Cortijo de Enmedio” con paulownia y en “Barruelos” con chopo son los que muestran valores mayores para este indicador.

- ? Respecto al **indicador que relaciona el poder calorífico con la inversión**, el **cardo** es el cultivo herbáceo que presenta el valor más elevado, si bien, al tener en cuenta los turnos de corta, es la caña común la que alcanza mayores valores para este indicador.

Respecto a los leñosos, **el chopo y el eucalipto** presentan valores similares, situándose tras ellos la casuarina y la paulownia. Analizando por turno de corta, es el primer turno de corta (R1B1) del eucalipto (en concreto, del clon Camaldulensis) el que presenta los valores más elevados para este indicador. Para el segundo turno de corta (R2B1), el chopo registra el valor más elevado.

Según el emplazamiento, son los ensayos de “Cortijo Enmedio”, “La Cabaña” y “Servicio de Plagas” los que alcanzan mayores valores para cardo, caña común y miscanto respectivamente. Respecto a los cultivos leñosos, son los ensayos de “Servicio de Plagas” con casuarina, de “La Cabaña” con eucalipto, de “Cortijo de Enmedio” con paulownia y de “Barruelos” con chopo los que alcanzan mayores valores para este indicador.

- ? Analizando la **eficiencia del riego de los cultivos a través del indicador** que relaciona el poder calorífico y el uso de este recurso (agua de riego), dentro de los cultivos herbáceos es la **caña común la que realiza un uso más eficiente del agua de riego**, presentando los valores más elevados para este indicador. Por emplazamientos, el ensayo de “Guzmán II” con caña común es el que utiliza más eficientemente el riego. En cuanto al miscanto, las dos fincas en las que se instauró (“Cortijo de Enmedio” y “Servicio de Plagas”) presentan valores similares.

Dentro de los cultivos leñosos, **el eucalipto es el que más eficientemente emplea el agua de riego**. Le siguen la casuarina, la paulownia y el chopo. Respecto a éste último, el chopo, cabe resaltar que si bien es la especie leñosa más productiva de las ensayadas, es

¹¹ Cabe recordar, que con carácter específico, en los epígrafes anteriores en los que se describían las experiencias de la red de ensayos se relacionaban las principales conclusiones para cada una de las especies analizadas.

también la que mayores requerimientos hídricos necesita, por lo que los valores que alcanza para este indicador son más bajos.

En cuanto a los emplazamientos, las experiencias de “Guzmán II” con casuarina y eucalipto, de “Somonte” con paulownia y de “La Cabaña” con chopo son los que alcanzan los valores más elevados para este indicador.

6. Aspectos a considerar en futuros ensayos con cultivos energéticos

Una vez presentadas las conclusiones tras 5 años de ensayo con cultivos energéticos, a continuación se proponen algunas líneas de trabajo que puede ser de interés tener en cuenta para proseguir el estudio de estos cultivos.

- Optimizar las labores de cultivo contemplando un manejo sostenible tanto en lo económico, como en lo social y medioambiental.
- Trabajar en particular sobre la etapa de recolección y en la logística mas adecuada en cada caso. En el caso de especies leñosas de rotación corta, considerar el diseño de la plantación (marco de plantación) y los turnos de corta, que poseen gran incidencia sobre la posterior recolección de biomasa.
- Analizar y cuantificar los efectos medioambientales positivos que pudieran desprenderse del cultivo de estas especies con uso energético (efecto sumidero, protección de suelo, etc.), así como sus impactos negativos (derivados de plantaciones mal dimensionadas o localizadas en zonas inapropiadas, consumo excesivo o inadecuado de insumos ,...)
- Realizar una estimación mas cercana a la realidad de los costes directos e indirectos de los cultivos.
- Analizar el ciclo de vida de la producción de cada tipo de biomasa con el fin de conocer el balance energético y económico bajo criterios de sostenibilidad de los cultivos energéticos.

La estimación del balance energético de estos cultivos puede permitir avanzar en el ahorro y eficiencia energética de sus métodos de producción. En este sentido, las labores de abonado (principalmente el nitrogenado), las tareas agrícolas, y la recolección y transporte son las etapas de mayor consumo energético en el proceso productivo de los cultivos energéticos.

- Avanzar en el conocimiento de la selección clonal con objeto de potenciar y desarrollar las capacidades productivas de los cultivos en el ámbito energético. Analizar la interacción genotipo/ambiente.
- Ensayar nuevas especies energéticas, entre las que podrían estar:
 - ? Cultivos alcoholígenos para la producción de bioetanol: patata, chumbera.
 - ? Cultivos oleaginosos para la producción de biodiésel: camelina, salicornia, ricino.
 - ? Cultivos lignocelulósicos para la producción de biocombustibles sólidos: leñosos como sauce, acacia, retama, tojo, olmo de Siberia, robinia o leucaena. O



herbáceos como reed canarygrass (*Phalaris arundinacea*), switchgrass (*Panicum virgatum*), dáctilo o pasto ovillo (*Dactylis glomerata*).

Bibliografía

“**Biomasa: Cultivos Energéticos**” (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2007).

“**Cuarto Informe de Evaluación del IPCC**” (IPCC, 2007).

“**Informe de seguimiento de los ensayos con Cultivos Energéticos. Campaña 2006/2007**” (Consejería de Agricultura y Pesca, 2008).

“**Informe de seguimiento de los ensayos con Cultivos Energéticos. Campaña 2007/2008**” (Consejería de Agricultura y Pesca, 2009).

“**Informe de seguimiento de los ensayos con Cultivos Energéticos. Año 2009**” (Consejería de Agricultura y Pesca, 2011).

“**Informe de seguimiento de los ensayos con Cultivos Energéticos. Campaña 2010/2011**” (Consejería de Agricultura y Pesca, 2012).

“**Informe Final. Proyecto Piloto de Investigación sobre Especies de Cultivos Energéticos para Biomasa en Andalucía**” (Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura y Pesca, 2011)¹².

“**Miscanto para producción de biomasa**” (Hojas Divulgadoras, Número 2.133. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2009).

“**Programa Andaluz de Adaptación al Cambio Climático del Plan Andaluz de Acción por el Clima**” (Consejería de Medio Ambiente, 2010).

“**Programa de Mitigación del Plan Andaluz de Acción por el Clima**” (Consejería de Medio Ambiente, 2007).

¹² El informe incluye información de los ensayos de las fincas de la Consejería de Agricultura y Pesca, que como ya se indicó en el apartado introductorio, inicialmente fueron gestionados por la Empresa Pública Desarrollo Agrario, y posteriormente por la Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía. En particular, se recoge información relativa a los ensayos de caña común, casuarina, chopo, cardo, eucalipto y paulownia.

Anexo I. Mediciones

Seguidamente se recogen los datos de las mediciones¹³ realizadas durante 2009 y 2010 para las especies leñosas de rotación corta que han formado parte de la red de ensayos de cultivos energéticos.

Casuarina sp.

Las tablas siguientes incluyen los datos de altura de las muestras de los ensayos de “Barruelos”, “Cortijo de Enmedio”, “Guzmán II” y “Majarambú”¹⁴.

“Barruelos”

Tabla 1 Datos de **altura** de las plantas de **casuarina** de la muestra seleccionada en “Barruelos” (año 2009 y 2010).

Fecha	Altura del árbol muestreado (metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
14/08/2009	1,43	1,24	0,86	1,42	1,64	0,91	1,08	0,93	0,85	0,61
21/08/2009	1,51	1,30	0,91	1,50	1,77	0,95	1,22	0,96	0,68	0,90
28/08/2009	1,58	1,45	0,92	1,55	1,86	1,03	1,31	1,01	0,91	0,75
04/09/2009	1,66	1,54	0,96	1,64	1,93	1,10	1,39	1,05	0,93	0,85
18/09/2009	1,81	1,70	0,92	1,74	2,08	1,10	1,56	1,13	0,95	0,98
02/10/2009	1,91	1,80	1,01	1,76	2,19	1,19	1,58	1,20	0,96	1,07
16/10/2009	2,05	1,99	1,01	1,87	2,33	1,24	1,62	1,20	1,01	1,21
30/10/2009	2,08	2,04	1,01	2,02	2,42	1,26	1,70	1,20	1,05	1,30
16/11/2009	2,10	2,05	1,02	2,05	2,42	1,26	1,70	1,20	1,06	1,32
31/11/2009	2,11	2,06	1,05	2,05	2,42	1,26	1,70	1,22	1,06	1,32
15/12/2009	2,11	2,06	1,05	2,05	2,42	1,26	1,70	1,22	1,06	1,32
Año 2010										
08/03/2010	2,11	2,14	1,05	2,05	2,43	1,30	1,87	1,22	1,06	1,41
Recolección (corte de las plantas)										
14/05/2010	0,26	2,10	2,25	1,63	0,23	1,49	1,92	1,07	0,34	1,71
14/06/2010	0,42	2,34	2,40	1,82	0,40	1,67	2,06	1,21	0,80	1,80
14/07/2010	0,96	2,72	2,81	2,23	0,83	1,95	2,65	1,40	1,21	2,35
14/08/2010	1,34	3,10	3,30	2,65	1,15	2,30	2,80	1,67	1,63	2,80
14/09/2010	1,80	3,55	3,60	3,05	1,45	1,48	3,40	1,93	2,10	3,15
15/10/2010	1,85	3,60	3,60	3,10	1,55	1,60	3,50	2,00	2,15	3,20

Fuente: Elaboración propia.

¹³ Datos proporcionados por el equipo técnico del Proyecto Piloto.

¹⁴ En 2010 se eliminó el ensayo de “La Parra”. Del resto de experiencias con esta especie (“La Cabaña” y “Servicio de Plagas”) se dispone de un escaso número de mediciones, no procediéndose a su análisis.

“Cortijo de Enmedio”

Tabla 2 Datos de **altura** de las plantas de **casuarina** de la muestra seleccionada en “**Cortijo de Enmedio**” (año 2010).

Fecha	Altura del árbol muestreado (metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2010										
19/05/2010	1,53	1,75	2,03	2,23	1,57	2,22	2,01	2,17	2,11	1,98
18/06/2010	2,35	2,23	2,41	2,49	2,01	2,80	2,36	2,66	2,43	2,34
21/07/2010	2,45	2,57	2,68	3,00	2,57	3,31	2,85	3,00	2,80	2,53
30/09/2010	3,40	3,00	3,45	3,98	3,40	4,30	3,50	3,70	3,65	3,15

Fuente: Elaboración propia.

“Guzmán II”

Tabla 3 Datos de **altura** de las plantas de **casuarina** de la muestra seleccionada en “**Guzmán II**” (año 2010).

Fecha	Altura del árbol muestreado (metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2010										
30/04/2010	0,25	2,80	0,35	2,25	0,35	2,20	2,10	2,20	2,30	2,70
17/05/2010	0,40	2,90	0,40	2,40	0,63	2,26	2,21	2,20	2,60	2,79
17/06/2010	0,75	3,27	0,75	2,58	0,87	2,57	2,45	2,15	2,95	3,10
16/07/2010	1,25	3,45	1,15	2,76	1,20	2,80	2,59	2,35	3,20	3,38
20/08/2010	1,78	3,55	1,65	2,76	1,75	3,14	2,68	2,61	3,35	3,00
15/09/2010	2,15	3,60	1,98	2,80	1,97	3,25	2,70	2,54	3,47	3,05
15/10/2010	2,35	3,70	2,23	2,90	2,35	3,45	2,80	2,70	3,60	3,08
16/11/2010	2,45	3,70	2,24	2,95	2,35	3,45	2,90	3,10	3,75	3,30

Fuente: Elaboración propia.

“Majarambú”

Tabla 4 Datos de **altura** de las plantas de **casuarina** de la muestra seleccionada en “Majarambú” (años 2009 y 2010).

Fecha	Altura del árbol muestreado (metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
09/11/2009	0,80	1,00	1,60	0,80	1,00	2,00	0,80	1,80	0,40	0,76
14/11/2009	0,80	1,00	1,60	0,80	1,00	2,00	0,80	1,80	0,40	0,76
30/11/2009	0,91	1,20	1,75	0,90	1,50	0,60	0,90	1,00	1,00	0,97
15/12/2009	1,00	1,35	1,85	0,98	2,00	0,85	0,98	1,20	1,40	1,12
Año 2010										
01/01/2010	1,00	1,40	1,90	1,00	2,30	1,00	1,00	1,35	1,80	1,00
15/01/2010	1,10	1,50	2,00	1,10	2,40	1,10	1,35	1,90	1,90	1,20
01/02/2010	1,20	1,60	2,05	1,20	1,15	1,50	1,45	2,00	2,00	1,30
Recolección (corte de las plantas)										
11/05/2010	0,50	2,73	2,00	0,36	2,10	3,10	2,74	1,52	0,26	2,00
10/06/2010	0,80	3,05	2,07	0,76	2,37	3,27	2,95	1,86	0,65	2,17

Fuente: Elaboración propia.

Eucaliptus sp.

Las tablas siguientes muestran los datos de las mediciones de las muestras de eucalipto seleccionadas en 2009 y 2010.

“Cortijo de Enmedio”

Tabla 5 Datos de **altura** de las plantas de **eucalipto** de la muestra seleccionada en “**Cortijo de Enmedio**” (clon **Camaldulensis**) (año 2009 y 2010).

Fecha	Altura del árbol muestreado (metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
17/08/2009	1,48	1,52	1,42	1,61	1,77	1,42	1,68	1,47	1,58	1,69
24/08/2009	1,54	1,75	1,53	1,70	1,97	1,78	1,84	1,60	1,78	1,80
31/08/2009	1,64	1,82	1,56	1,90	2,14	1,92	1,97	1,68	1,91	2,01
14/09/2009	2,07	2,20	1,88	1,28	2,46	2,26	2,30	1,88	2,12	2,22
29/09/2009	2,32	2,33	2,06	2,09	2,68	2,43	2,50	2,12	2,32	2,42
14/10/2009	2,35	2,40	2,14	2,20	2,72	2,56	2,61	2,29	2,46	2,63
27/10/2009	2,70	2,52	2,34	2,41	3,00	2,83	2,97	2,35	2,65	2,68
12/11/2009	2,75	2,57	2,39	2,46	3,07	2,87	2,99	2,41	2,69	2,72
25/11/2009	2,78	2,60	2,41	2,48	3,09	2,90	3,02	2,45	2,72	2,78
Año 2010 / Recolección (corte de las plantas)										
13/05/2010	2,95	2,60	2,70	2,75	3,50	---	0,36	0,33	0,11	3,10
18/06/2010	3,80	2,62	3,10	3,05	3,90	0,30	1,18	0,87	0,94	3,67
21/07/2010	4,10	2,75	3,35	3,50	4,40	1,08	2,07	1,06	1,37	4,20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6 Datos de **altura** de las plantas de **eucalipto** de la muestra seleccionada en “**Cortijo de Enmedio**” (clon **Dunni**) (años 2009 y 2010).

Fecha	Altura del árbol muestreado (metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
17/08/2009	0,68	0,79	0,91	1,05	0,80	0,45	1,01	0,60	0,94	0,83
24/08/2009	0,81	0,96	1,03	1,33	0,90	0,52	1,36	0,68	1,23	1,00
31/08/2009	0,83	1,07	1,08	1,44	0,92	0,62	1,50	0,68	1,45	1,18
14/09/2009	0,97	1,42	1,33	1,81	1,12	0,79	1,74	0,75	1,68	1,41
29/09/2009	1,17	1,65	1,53	1,99	1,27	0,88	2,10	0,75	1,96	1,64
14/10/2009	1,30	1,94	1,72	2,17	1,48	1,03	2,26	0,85	2,20	1,85
27/10/2009	1,48	2,19	1,88	2,30	1,71	1,24	2,31	0,93	2,37	2,04
12/11/2009	1,52	2,23	1,93	2,34	1,75	1,28	2,36	0,95	2,40	2,11
25/11/2009	1,60	2,30	1,97	2,40	1,81	1,33	2,39	1,01	2,47	2,20
Año 2010 / Recolección (corte de las plantas)										
13/05/2010	---	0,38	0,26	---	2,20	1,79	2,95	0,90	2,95	2,80
18/06/2010	0,61	1,39	1,24	0,88	2,95	2,28	3,55	0,99	3,78	3,80
21/07/2010	1,04	2,10	1,78	1,83	4,25	3,06	4,25	1,13	4,80	4,49

Fuente: Elaboración propia.

“Guzmán II”

Tabla 7 Datos de **altura** de las plantas de **eucalipto** de la muestra seleccionada en “**Guzmán II**” (clon **Camaldulensis**) (años 2009 y 2010).

Fecha	Altura del árbol muestreado (metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
11/08/2009	1,60	1,50	1,90	1,30	1,40	1,30	1,40	1,25	1,50	1,65
18/08/2009	1,75	1,70	2,05	1,40	1,50	1,45	1,45	1,30	1,65	1,80
25/08/2009	1,90	1,80	2,09	1,50	1,55	1,50	1,50	1,35	1,70	1,85
01/09/2009	2,00	1,85	2,08	1,55	1,60	1,65	1,70	1,50	1,80	2,00
15/09/2009	2,00	2,00	2,15	1,64	1,70	1,80	1,90	1,60	1,90	2,15
29/09/2009	2,20	2,10	2,15	2,68	1,74	1,90	2,09	1,70	2,00	2,18
13/10/2009	2,15	2,15	2,25	1,70	1,78	1,95	2,05	1,75	2,05	2,25
28/10/2009	2,20	2,27	2,30	1,70	1,82	1,97	2,30	1,80	2,15	2,27
11/11/2009	2,22	2,42	2,40	1,70	1,83	2,01	2,43	1,83	2,25	2,30
24/11/2009	2,30	2,48	2,43	1,73	1,85	2,08	2,48	1,90	2,30	2,34
10/12/2009	2,40	2,53	2,43	1,67	1,45	2,13	2,55	1,95	2,15	2,40
Año 2010 / Recolección (corte de las plantas)										
30/04/2010	0,48	1,23	0,43	0,35	0,52	3,08	3,10	2,65	2,60	3,10
17/05/2010	0,85	1,40	0,82	0,78	0,74	3,22	2,95	2,57	3,13	3,21
17/06/2010	1,80	2,10	1,80	1,64	1,65	3,75	3,37	2,95	3,41	3,75
16/07/2010	2,67	2,90	2,55	2,36	2,54	4,12	3,71	3,40	4,07	4,21
20/08/2010	3,43	3,45	3,30	2,90	3,22	4,90	4,35	3,36	4,70	4,50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8 Datos de **altura** de las plantas de **eucalipto** de la muestra seleccionada en “**Guzmán II**” (clon **Dunni**) (año 2009 y 2010).

Fecha	Altura del árbol muestreado (metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
11/08/2009	1,00	0,90	0,95	0,65	0,90	0,82	1,00	0,90	0,57	1,30
18/08/2009	1,00	0,90	0,95	0,70	0,95	0,80	1,00	0,90	0,55	1,40
25/08/2009	1,05	1,00	1,05	0,75	1,00	0,85	1,05	0,95	0,60	1,40
01/09/2009	1,05	1,00	1,04	0,80	1,08	0,90	1,10	0,98	0,60	1,55
15/09/2009	1,00	1,05	1,10	0,85	1,05	0,93	1,15	0,95	0,65	1,55
29/09/2009	0,95	1,05	1,05	0,80	1,10	0,90	1,18	0,98	0,92	1,58
13/10/2009	0,95	1,00	1,15	0,85	1,15	1,00	1,25	1,05	0,70	1,58
28/10/2009	0,97	1,12	1,15	0,92	1,20	1,05	1,30	1,10	0,68	1,60
11/11/2009	1,05	1,10	1,07	0,82	1,28	1,20	1,35	1,15	0,69	1,66
24/11/2009	1,05	1,12	1,10	0,85	1,30	1,24	1,40	1,20	0,73	1,70
10/12/2009	1,07	1,13	1,20	0,90	1,30	1,35	1,45	1,30	0,75	1,75
Año 2010 / Recolección (corte de las plantas)										
30/04/2010	0,35	0,33	0,31	0,40	0,48	2,00	2,02	1,78	1,47	2,35
17/05/2010	0,60	0,50	0,55	0,50	0,68	2,40	2,17	2,00	1,70	2,61
17/06/2010	1,15	1,19	1,19	0,85	1,19	3,27	2,85	2,80	2,52	3,64
16/07/2010	1,72	1,95	2,00	1,20	1,84	4,00	3,83	3,50	3,20	4,15
20/08/2010	2,20	2,68	2,60	1,30	2,18	4,10	4,25	3,72	3,22	4,36

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9 Datos de altura de las plantas de eucalipto de la muestra seleccionada en “Guzmán II” (clon Maidenii) (año 2009 y 2010).

Fecha	Altura del árbol muestreado (metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
11/08/2009	0,95	1,20	1,20	1,00	0,60	0,70	0,80	0,75	0,58	0,85
18/08/2009	0,96	1,20	1,25	0,95	0,55	0,70	0,75	0,75	0,60	0,85
25/08/2009	1,00	1,25	1,30	1,05	0,65	0,75	1,05	0,96	0,65	0,90
01/09/2009	1,15	1,25	1,30	1,07	0,68	0,75	0,80	0,85	0,70	0,87
15/09/2009	1,15	1,30	1,33	1,20	0,60	0,68	0,90	0,75	0,65	0,90
29/09/2009	1,15	1,35	1,30	1,10	0,68	0,80	0,95	0,85	0,70	0,97
13/10/2009	1,20	1,45	1,40	1,08	0,75	0,90	1,05	1,08	0,70	1,08
28/10/2009	1,23	1,55	1,35	1,40	0,78	0,95	1,05	1,15	0,75	1,10
11/11/2009	1,27	1,50	1,38	1,40	0,75	1,01	1,14	1,13	0,69	1,12
24/11/2009	1,30	1,58	1,39	1,43	0,80	1,10	1,17	1,13	0,70	1,14
10/12/2009	1,52	1,65	1,30	1,50	0,87	1,12	1,23	1,30	0,75	1,20
Año 2010 / Recolección (corte de las plantas)										
30/04/2010	0,16	0,25	0,18	0,20	0,20	1,47	1,30	1,52	0,97	1,32
17/05/2010	0,27	0,40	0,25	0,27	0,38	1,60	1,50	1,75	1,10	1,40
17/06/2010	0,75	0,78	0,53	0,50	0,75	1,98	1,75	2,35	1,50	1,79
16/07/2010	1,50	1,40	0,73	0,85	1,08	2,75	2,30	3,00	1,85	2,10
20/08/2010	1,80	1,93	0,75	1,35	1,35	3,35	2,40	3,38	1,84	2,27

Fuente: Elaboración propia.

“La Cabaña”

Tabla 10 Datos de altura de las plantas de eucalipto de la muestra seleccionada en “La Cabaña” (clon Camaldulensis) (año 2009 y 2010).

Fecha	Altura del árbol muestreado (metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
21/08/2009	1,67	2,12	2,50	2,67	2,18	2,40	2,57	2,25	2,10	2,10
28/08/2009	1,78	2,17	2,66	2,84	2,32	2,61	2,72	2,33	2,24	2,30
Mediados septiembre	2,05	2,44	2,99	2,98	2,47	2,80	2,87	2,65	2,50	2,52
Finales septiembre	2,20	2,60	3,12	3,15	2,70	1,20	3,10	2,90	2,67	2,65
13/10/2009	2,22	2,62	3,30	3,17	2,75	1,22	3,00	3,00	2,77	2,40
29/10/2009	2,22	2,63	3,35	3,30	2,80	1,22	3,00	3,10	2,94	2,47
26/11/2009	2,32	2,75	3,65	2,55	2,90	1,22	3,00	3,35	3,08	2,83
30/11/2009	2,38	2,82	3,85	3,70	2,97	1,22	3,00	3,47	3,16	2,83
Año 2010 / Recolección (corte de las plantas)										
13/05/2010	0,85	0,85	4,35	4,50	3,70	3,15	3,65	4,45	3,97	3,60
14/06/2010	1,55	1,50	5,06	5,00	4,32	3,60	3,67	4,96	4,49	4,15
13/07/2010	2,40	2,25	5,53	5,65	5,00	4,35	4,40	5,64	5,15	4,85
12/08/2010	2,45	2,50	5,70	5,82	5,20	4,60	4,50	5,70	5,25	5,10
14/09/2010	2,60	2,95	6,10	6,40	5,30	5,00	4,60	6,40	6,00	5,30

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11 Datos de **altura** de las plantas de **eucalipto** de la muestra seleccionada en “**La Cabaña**” (clon **Dunni**) (año 2009 y 2010).

Fecha	Altura del árbol muestreado (metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
21/08/2009	1,40	1,39	1,30	0,90	1,37	1,52	1,15	1,32	0,97	0,80
28/08/2009	1,45	1,43	1,39	0,94	1,48	1,63	1,24	1,38	1,20	0,84
Mediados septiembre	1,55	1,56	1,53	1,03	1,62	1,79	1,33	1,50	1,12	0,90
Finales septiembre	1,62	1,68	1,65	1,10	1,74	1,92	1,42	1,63	1,19	0,98
13/10/2009	1,73	1,73	1,70	1,14	1,73	2,60	1,50	1,73	1,26	0,97
29/10/2009	1,99	1,94	1,76	1,20	1,97	2,33	1,70	1,90	1,39	1,60
26/11/2009	2,14	2,17	1,83	1,33	2,06	2,48	1,82	2,02	1,54	1,16
30/11/2009	2,24	2,21	1,88	1,43	2,16	2,58	1,89	2,09	1,61	1,22
Año 2010 / Recolección (corte de las plantas)										
13/05/2010	0,65	0,45	2,78	1,78	2,96	3,16	2,88	2,63	2,47	2,20
14/06/2010	0,85	1,10	3,33	2,53	3,40	4,00	3,50	3,20	3,20	2,85
13/07/2010	1,20	1,50	3,90	3,30	4,05	4,95	4,07	4,20	3,85	3,30
12/08/2010	1,60	1,65	4,30	3,45	4,35	5,25	4,23	4,70	4,10	3,36
14/09/2010	2,30	2,40	4,60	3,80	4,70	5,70	4,30	4,85	4,10	3,36

Fuente: Elaboración propia.

“Servicio de Plagas”

Tabla 12 Datos de **altura** de las plantas de **eucalipto** de la muestra seleccionada en “**Servicio de Plagas**” (clon **Camaldulensis**).

Fecha	Altura del árbol muestreado (metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
24/08/2009	2,25	1,85	2,30	2,30	2,80	2,16	2,60	1,81	2,40	1,17
31/08/2009	2,53	1,90	2,58	2,46	2,30	2,30	2,76	1,90	2,18	1,22
11/09/2009	2,72	1,97	2,81	2,76	2,56	2,55	3,00	2,02	2,36	1,30
25/09/2009	2,84	1,97	3,15	2,95	2,81	2,61	3,15	2,15	2,47	1,40
11/10/2009	3,13	2,00	3,27	3,10	2,87	2,70	3,34	2,20	2,72	1,50
29/10/2009	3,25	2,00	3,39	3,34	3,00	2,80	3,37	2,25	2,80	1,50
16/11/2009	3,33	2,00	3,45	3,44	3,30	3,00	3,57	2,40	2,93	1,70
30/11/2009	3,38	2,00	3,63	3,50	3,44	3,12	3,70	2,50	3,00	1,80
Año 2010 / Recolección (corte de las plantas)										
10/05/2010	0,85	2,50	4,65	4,75	1,08	0,95	4,50	3,18	4,03	2,35
10/06/2010	0,50	2,73	5,30	5,37	1,75	1,35	5,10	3,83	4,55	2,71
12/07/2010	2,10	2,81	6,20	5,20	2,35	2,88	5,90	4,65	5,05	3,30

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13 Datos de **altura** de las plantas de **eucalipto** de la muestra seleccionada en “Servicio de Plagas” (clon Dunny).

Fecha	Altura del árbol muestreado (metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
24/08/2009	0,74	1,55	1,18	1,08	0,57	0,78	0,84	0,87	0,58	0,80
31/08/2009	0,78	1,73	1,29	1,19	0,60	0,82	0,88	0,90	0,60	0,85
11/09/2009	0,85	1,96	1,46	1,37	0,58	0,90	0,93	0,94	0,65	0,89
25/09/2009	0,90	2,14	1,59	1,52	0,63	0,96	0,97	1,03	0,65	1,01
11/10/2009	0,93	2,30	1,78	1,70	0,67	1,02	1,00	1,14	0,67	1,12
29/10/2009	0,93	2,44	1,98	1,96	0,71	1,08	1,00	1,30	0,70	1,25
16/11/2009	0,98	2,54	2,18	2,16	0,78	1,12	1,04	1,55	0,77	1,40
30/11/2009	1,00	2,62	2,34	2,32	0,82	1,15	1,06	1,65	0,80	1,48
Año 2010 / Recolección (corte de las plantas)										
10/05/2010	0,52	3,55	3,25	3,35	0,66	1,10	1,48	3,25	1,65	2,80
10/06/2010	0,70	4,57	4,30	4,34	1,02	1,61	1,75	4,08	2,29	3,58
12/07/2010	1,00	5,60	5,50	5,10	1,28	1,80	2,15	4,70	2,80	4,20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14 Datos de **altura** de las plantas de **eucalipto** de la muestra seleccionada en “Servicio de Plagas” (clon Maidenii).

Fecha	Altura del árbol muestreado (metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
24/08/2009	1,08	0,79	0,89	0,59	0,90	0,72	0,59	0,70	0,77	0,86
31/08/2009	1,13	0,87	0,96	0,59	0,96	0,77	0,63	0,75	0,80	0,93
11/09/2009	1,25	0,90	1,10	0,60	1,02	0,80	0,65	0,80	0,82	1,00
25/09/2009	1,32	0,97	1,22	0,60	1,05	0,84	0,67	0,87	0,85	1,08
11/10/2009	1,51	1,00	1,43	0,60	1,10	0,90	0,72	0,93	0,89	1,22
29/10/2009	1,70	1,00	1,60	0,60	1,10	0,90	0,72	0,96	0,91	1,32
16/11/2009	1,90	1,40	1,85	0,60	1,17	0,94	0,77	1,01	0,96	1,50
30/11/2009	2,07	1,57	2,00	0,60	1,20	0,96	0,79	1,05	0,98	1,60
Año 2010 / Recolección (corte de las plantas)										
10/05/2010	1,18	2,45	3,00	3,21	0,48	0,35	0,82	1,31	1,22	2,52
10/06/2010	1,25	2,83	3,66	3,93	0,90	0,50	0,85	1,51	1,40	3,30
12/07/2010	1,45	3,48	4,60	4,75	1,20	0,60	0,80	1,90	1,80	4,15

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15 Datos de **altura** de las plantas de **eucalipto** de la muestra seleccionada en “Servicio de Plagas” (clon Saligna).

Fecha	Altura del árbol muestreado(metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
24/08/2009	1,45	0,91	1,27	1,50	1,20	0,84	0,70	1,13	0,66	0,46
31/08/2009	1,58	1,02	1,40	1,62	1,12	0,85	0,75	1,23	0,71	0,46
11/09/2009	1,88	1,28	1,68	1,87	1,35	0,96	0,86	1,43	0,76	0,49
25/09/2009	2,24	1,55	1,77	2,13	1,61	1,10	0,94	1,62	0,83	0,57
11/10/2009	2,78	2,10	2,00	2,48	1,90	1,24	1,30	1,80	0,91	0,60
29/10/2009	2,90	2,55	2,20	2,65	2,16	1,33	1,11	2,00	0,95	0,62
16/11/2009	3,30	2,85	2,15	2,95	2,45	1,44	1,16	2,20	0,98	0,68
30/11/2009	3,56	3,07	2,42	3,15	2,60	1,54	1,20	2,30	1,00	0,70
Año 2010 / Recolección(corte de las plantas)										
10/05/2010	1,10	3,24	3,30	3,85	3,52	0,86	1,07	2,99	1,53	1,68
10/06/2010	1,95	3,50	4,05	4,50	4,30	1,50	1,30	2,73	2,20	2,20
12/07/2010	2,90	4,45	4,80	5,70	5,25	2,25	2,00	4,85	3,40	3,00

Fuente: Elaboración propia.

Paulownia sp.

“Barruelos”

Tabla 16 Datos de **altura** de las plantas de **paulownia** de la muestra seleccionada en “Barruelos” (Clon 11).

Fecha	Altura del árbol muestreado(metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
14/08/2009	0,41	0,32	0,19	0,22	0,15	0,25	0,35	0,53	0,29	0,85
21/08/2009	0,48	0,44	0,27	0,28	0,20	0,27	0,40	0,67	0,34	0,99
28/08/2009	0,55	0,54	0,36	0,31	0,24	0,30	0,47	0,70	0,39	1,11
04/09/2009	0,62	0,64	0,43	0,38	0,31	0,32	0,52	0,87	0,44	1,20
18/09/2009	0,76	0,93	0,59	0,56	0,41	0,40	0,61	1,02	0,52	1,33
02/10/2009	0,86	1,04	0,64	0,62	0,47	0,42	0,62	1,06	0,59	1,37
16/10/2009	0,87	1,06	0,65	0,64	0,48	0,43	0,64	1,08	0,60	1,38
30/10/2009	0,89	1,06	0,67	0,68	0,49	0,45	0,64	1,09	0,60	1,38
16/11/2009	0,90	1,06	0,67	0,68	0,50	0,45	0,65	1,10	0,62	1,38
Año 2010										
08/03/2010	0,70	0,90	0,53	0,53	0,38	0,36	0,63	0,95	0,49	1,29
Recolección (corte de las plantas)										
14/05/2010	0,38	0,51	0,32	0,45	0,29	0,26	0,34	0,31	0,54	0,47
14/06/2010	0,98	1,58	0,85	0,92	0,75	0,74	0,98	0,95	1,03	0,93
14/07/2010	1,32	1,96	1,23	1,22	0,82	1,04	1,33	1,25	1,67	1,18
14/08/2010	1,93	2,45	1,70	1,75	1,90	1,98	1,95	1,55	2,56	1,47
14/09/2010	2,05	2,70	1,90	2,00	2,20	2,30	2,25	1,65	3,10	1,84

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17 Datos de altura de las plantas de paulownia de la muestra seleccionada en “Barruelos” (Cotevisa 2).

Fecha	Altura del árbol muestreado(metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
14/08/2009	0,24	0,21	0,45	0,30	0,45	0,30	0,41	0,46	0,35	0,18
21/08/2009	0,33	0,29	0,60	0,31	0,51	0,35	0,45	0,52	0,37	0,22
28/08/2009	0,44	0,36	0,73	0,34	0,55	0,44	0,46	0,58	0,40	0,27
04/09/2009	0,49	0,43	0,85	0,35	0,60	0,41	0,33	0,73	0,45	0,30
18/09/2009	0,67	0,58	1,12	0,47	0,63	0,52	0,64	0,86	0,45	0,33
02/10/2009	0,73	0,68	1,19	0,52	0,66	0,57	0,70	0,92	0,45	0,37
16/10/2009	0,74	0,77	1,22	0,53	0,66	0,60	0,70	0,92	0,45	0,37
30/10/2009	0,75	0,78	1,24	0,53	0,67	0,61	0,70	0,93	0,45	0,38
16/11/2009	0,75	0,78	1,25	0,54	0,67	0,61	0,71	0,93	0,45	0,38
Año 2010										
08/03/2010	0,68	0,70	1,12	0,36	0,67	0,52	0,67	0,87	0,41	0,33
Recolección (corte de las plantas)										
14/05/2010	0,41	0,61	0,48	0,39	0,52	0,37	0,40	0,49	0,21	0,27
14/06/2010	0,87	1,10	0,90	0,86	0,91	0,88	0,87	1,00	0,57	0,77
14/07/2010	1,35	1,78	1,54	1,10	1,22	0,88	1,59	1,40	0,84	0,95
14/08/2010	1,90	2,50	2,01	1,34	1,88	1,14	2,15	1,92	1,24	1,10
14/09/2010	2,46	2,77	2,52	1,65	2,10	1,55	2,45	2,30	1,62	1,33

Fuente: Elaboración propia.

“Cortijo de Enmedio”

Tabla 18 Datos de altura de las plantas de paulownia de la muestra seleccionada en “Cortijo de Enmedio” (Clon 11).

Fecha	Altura del árbol muestreado(metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
17/08/2009	1,02	0,91	0,87	0,98	0,53	0,55	0,75	1,01	0,83	0,96
24/08/2009	1,40	1,24	1,16	1,30	0,79	0,70	0,94	1,31	1,11	1,13
31/08/2009	1,58	1,51	1,36	1,45	0,90	0,86	1,10	1,52	1,32	1,28
14/09/2009	1,76	1,63	1,57	1,73	1,08	1,05	1,32	1,75	1,54	1,48
29/09/2009	1,91	1,71	1,66	1,77	1,15	1,12	1,44	1,90	1,57	1,47
14/10/2009	1,94	1,78	1,76	1,82	1,30	1,28	1,59	1,95	1,63	1,59
27/10/2009	1,98	1,83	1,79	1,87	1,37	1,42	1,65	1,99	1,71	1,66
12/11/2009	2,01	1,92	1,83	1,91	1,40	1,49	1,71	2,03	1,77	1,73
25/11/2009	2,05	1,96	1,86	1,93	1,43	1,51	1,75	2,08	1,81	1,80

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19 Datos de **altura** de las plantas de **paulownia** de la muestra seleccionada en “**Cortijo de Enmedio**” (Cotevisa 2).

Fecha	Altura del árbol muestreado (metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
17/08/2009	0,75	0,68	1,06	0,95	0,87	0,93	0,68	0,80	0,59	0,65
24/08/2009	0,91	0,82	1,14	1,22	1,06	1,10	0,83	0,95	0,68	0,83
31/08/2009	1,05	1,02	1,40	1,40	1,28	1,35	1,02	1,19	0,85	0,96
14/09/2009	1,25	1,19	1,71	1,61	1,56	1,50	1,20	1,45	0,99	1,19
29/09/2009	1,28	1,24	1,74	1,67	1,62	1,55	1,31	1,46	1,02	1,25
14/10/2009	1,30	1,29	1,77	1,72	1,62	1,55	1,35	1,46	1,10	1,29
27/10/2009	1,35	1,32	1,79	1,75	1,66	1,59	1,40	1,52	1,22	1,35
12/11/2009	1,42	1,38	1,85	1,79	1,72	1,63	1,47	1,60	1,29	1,42
25/11/2009	1,47	1,43	1,93	1,84	1,77	1,69	1,51	1,66	1,34	1,47

Fuente: Elaboración propia.

“Servicio de Plagas”

Año 2009

Tabla 20 Datos de **altura** de las plantas de **paulownia** de la muestra seleccionada en “**Servicio de Plagas**” (Clon 11).

Fecha	Altura del árbol muestreado (metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
13/10/2009	1,60	1,75	1,69	1,40	1,96	1,31	1,47	1,06	1,78	1,50
29/10/2009	1,79	1,93	1,90	1,60	1,98	1,48	1,63	1,18	1,97	1,74
Año 2010										
16/02/2010	1,79	1,94	1,90	1,62	1,98	1,48	1,63	1,18	1,97	1,74
Recolección (corte de las plantas)										
11/05/2010	0,62	1,30	1,16	1,15	1,34	1,05	1,00	0,69	1,39	1,27
10/06/2010	0,90	2,10	1,85	2,05	2,43	2,30	2,24	1,35	2,70	2,55
12/07/2010	1,48	3,00	2,70	3,10	3,79	3,98	4,05	2,60	4,35	4,35
11/08/2010	2,00	3,62	3,30	3,65	4,27	4,40	4,60	3,00	4,85	4,75
13/09/2010	2,40	4,25	3,70	4,10	4,65	4,95	4,90	3,35	5,30	5,20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21 Datos de **altura** de las plantas de **paulownia** de la muestra seleccionada en “Servicio de Plagas” (Clon 33).

Fecha	Altura del árbol muestreado (metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
13/10/2009	1,49	1,80	1,55	1,56	1,35	1,60	1,94	1,12	1,52	1,09
29/10/2009	1,62	1,89	1,60	1,65	1,40	1,70	1,94	1,12	1,58	1,09
Año 2010										
16/02/2010	1,61	1,89	1,60	1,64	1,40	1,68	1,93	1,12	1,56	1,08
Recolección (corte de las plantas)										
11/05/2010	1,08	0,93	0,70	0,82	0,93	1,30	1,56	1,10	1,30	0,95
10/06/2010	1,83	1,43	1,33	1,31	1,63	2,15	2,65	2,25	2,45	1,95
12/07/2010	2,90	2,10	2,35	2,10	2,42	3,15	4,07	3,30	3,78	3,39
11/08/2010	3,30	2,55	2,95	2,80	2,97	3,60	4,75	3,86	4,30	3,65
13/09/2010	3,70	2,90	3,55	3,57	3,57	3,85	5,55	4,55	4,85	4,10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22 Datos de **altura** de las plantas de **paulownia** de la muestra seleccionada en “Servicio de Plagas” (Cotevisa 1).

Fecha	Altura del árbol muestreado (metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
13/10/2009	1,70	1,57	1,79	1,75	1,58	1,46	0,29	1,26	1,80	-
29/10/2009	1,73	1,69	1,90	1,83	1,66	1,59	0,29	1,39	1,88	-
Año 2010										
16/02/2010	1,71	1,69	1,89	1,83	1,66	1,59	0,28	1,38	1,88	-
Recolección (corte de las plantas)										
11/05/2010	1,19	0,80	0,55	0,56	1,27	0,80	0,23	1,28	1,45	0,29
10/06/2010	2,10	1,20	0,95	1,15	2,15	1,63	0,30	2,45	2,58	0,55
12/07/2010	2,85	1,65	1,83	1,80	3,00	2,60	0,30	3,87	3,68	1,53
11/08/2010	3,00	2,25	2,54	2,68	3,50	2,97	0,40	4,25	4,00	1,90
13/09/2010	3,70	2,85	3,10	3,35	4,30	3,40	0,93	5,00	4,85	2,05

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23 Datos de **altura** de las plantas de **paulownia** de la muestra seleccionada en “**Servicio de Plagas**” (**Cotevisa 2**).

Fecha	Altura del árbol muestreado (metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
13/10/2009	1,36	1,24	0,91	0,83	1,00	1,00	0,75	0,99	1,10	1,22
29/10/2009	1,49	1,24	0,91	0,85	1,02	1,06	0,75	1,20	1,10	1,36
Año 2010										
16/02/2010	1,48	1,23	0,90	0,86	1,00	1,04	0,74	1,20	1,10	1,35
Recolección (corte de las plantas)										
11/05/2010	1,80	4,20	0,80	0,89	0,99	1,12	0,91	1,18	1,20	0,92
10/06/2010	2,30	6,30	1,33	1,40	2,05	2,30	1,82	2,55	2,20	1,90
12/07/2010	0,60	1,00	1,95	2,47	3,05	3,75	3,10	4,60	3,52	3,80
11/08/2010	1,18	1,55	2,05	3,10	3,40	4,35	3,47	5,60	4,00	4,75
13/09/2010	1,38	1,95	2,20	4,05	3,65	4,70	3,60	6,50	4,55	5,30

Fuente: Elaboración propia.

“Somonte”

Año 2009

Tabla 24 Datos de altura de las plantas de paulownia de la muestra seleccionada en “Somonte” (Clon 11).

Fecha	Altura del árbol muestreado(metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
23/10/2009	2,33	1,92	2,53	2,11	2,33	2,17	2,60	1,96	2,35	2,40
10/11/2009	2,33	1,92	2,54	2,11	2,33	2,18	2,62	1,96	2,35	2,41
27/11/2009	2,33	1,92	2,53	2,11	2,33	2,17	2,60	1,96	2,35	2,40
Año 2010										
16/02/2010	2,32	1,76	2,44	1,98	2,24	2,26	2,70	1,86	2,22	2,51
Recolección (corte de las plantas)										
23/04/2010	0,60	0,69	0,75	0,67	0,60	0,49	0,27	0,59	0,69	0,43
21/05/2010	1,10	1,15	1,30	1,26	1,11	0,88	1,13	1,34	0,88	0,80
04/06/2010	1,62	1,73	1,92	1,94	1,80	1,63	1,40	1,68	1,95	1,06
22/06/2010	2,26	2,50	2,80	2,62	2,40	2,20	2,54	2,69	2,48	1,48
21/07/2010	3,00	3,30	3,20	3,70	3,20	3,15	2,85	3,40	3,40	2,14
21/08/2010	3,60	3,70	3,60	4,20	3,70	3,70	3,40	4,50	3,90	2,80
23/09/2010	4,43	3,82	3,70	4,20	2,30	4,82	4,44	4,46	4,58	3,32
25/10/2010	4,44	3,83	3,73	4,21	3,96	4,83	4,45	4,47	4,59	3,40
Recolección (corte de las plantas)										
18/04/2011	0,29	4,02	3,93	4,10	3,88	3,89	0,54	4,15	4,40	0,48
23/05/2011	1,82	4,95	4,63	4,48	4,83	5,00	1,87	5,38	5,41	1,77
22/06/2011	2,73	5,60	5,13	5,80	5,50	5,88	2,78	6,20	6,10	2,80
21/07/2011	3,76	5,98	5,68	6,54	5,90	5,71	3,00	5,27	5,72	3,70
19/08/2011	4,26	6,80	5,70	6,30	6,10	6,30	4,00	6,25	6,23	4,56
21/09/2011	4,17	6,27	6,05	6,70	6,44	6,80	3,83	7,13	7,35	4,22
18/10/2011	4,28	6,33	5,81	6,81	6,39	6,77	3,86	7,05	7,32	4,10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25 Datos de **altura** de las plantas de **paulownia** de la muestra seleccionada en “**Somonte**” (Cotevisa 2).

Fecha	Altura del árbol muestreado (metros)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2009										
23/10/2009	1,96	1,98	1,87	2,03	2,25	2,13	2,05	2,28	2,09	1,85
10/11/2009	1,96	1,99	1,87	2,03	2,25	2,13	2,05	2,28	2,09	1,87
27/11/2009	1,96	1,98	1,87	2,03	2,25	2,13	2,05	2,28	2,09	1,85
Año 2010										
16/02/2010	1,81	1,84	1,81	1,91	2,10	2,22	1,92	2,11	1,97	1,71
Recolección (corte de las plantas)										
23/04/2010	0,75	0,83	0,46	0,67	0,66	0,70	-	0,75	0,51	0,14
21/05/2010	1,55	1,40	0,87	1,30	1,30	1,20	-	1,27	1,25	0,27
04/06/2010	2,14	1,75	1,41	1,90	1,95	1,50	-	1,78	1,82	0,42
22/06/2010	3,20	1,60	2,20	2,70	2,84	2,00	-	2,50	2,66	0,87
21/07/2010	3,50	2,00	2,75	3,20	3,20	2,15	-	3,00	3,30	1,80
21/08/2010	4,00	2,10	3,43	3,55	3,45	2,30	-	3,40	3,66	2,65
23/09/2010	4,44	2,10	3,81	3,51	3,51	2,45	-	3,58	3,80	3,34
25/10/2010	4,47	2,11	3,83	3,53	3,54	2,38	-	3,59	3,81	3,36
Recolección (corte de las plantas)										
18/04/2011	0,56	3,80	3,82	3,80	3,63	3,68	-	4,08	4,09	0,40
23/05/2011	2,17	5,18	3,84	5,27	5,08	4,89	-	5,14	4,70	0,90
22/06/2011	3,10	6,02	3,83	6,11	5,80	5,76	-	5,84	5,55	1,60
21/07/2011	3,34	6,30	4,34	6,00	5,89	6,00	-	5,80	5,49	2,71
19/08/2011	4,00	6,24	4,45	6,21	5,15	6,00	-	6,00	-	3,20
21/09/2011	4,11	7,03	4,68	6,60	6,28	6,01	-	6,44	6,06	3,53
18/10/2011	4,08	6,98	4,51	6,53	3,02	6,01	-	6,15	6,04	3,73

Fuente: Elaboración propia.

Populus sp.

“Barruelos”

Tabla 26 Datos de **altura** de las plantas de **chopo** de la muestra seleccionada en “**Barruelos**”.

Fecha	Árbol muestreado									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año 2010										
08/03/2010	4,21	4,30	4,35	3,40	4,40	4,95	3,92	4,15	4,53	4,34
15/05/2010	4,50	1,55	1,40	1,35	1,40	1,60	2,85	1,65	1,63	1,77
14/06/2010	5,70	2,70	2,60	2,80	2,65	2,90	2,85	3,05	3,30	3,40
15/07/2010	5,95	4,20	3,92	3,74	3,90	3,85	3,76	3,80	3,68	3,73
14/08/2010	6,30	5,55	5,25	4,80	4,85	4,70	5,10	4,90	4,85	5,10
15/09/2010	7,20	6,80	6,00	7,10	5,80	5,60	6,30	6,00	5,90	6,50
15/10/2010	7,30	6,90	6,10	7,20	6,00	5,80	6,40	6,20	6,00	6,70

Fuente: Elaboración propia.

“Guzmán II”

Tabla 27 Datos de **altura** de las plantas de **chopo** de la muestra seleccionada en “**Guzmán II**”.

Fecha	Árbol muestreado									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30/04/2010	0,75	0,45	0,40	0,70	0,90	0,70	0,85	0,65	0,45	0,55
17/05/2010	1,14	1,25	1,20	1,10	1,30	1,10	1,34	1,00	1,25	1,00
17/06/2010	2,17	2,23	2,27	2,37	2,48	2,38	2,45	2,10	2,47	1,83
16/07/2010	2,52	2,76	2,77	2,95	2,92	2,95	2,96	2,54	3,00	2,72
20/08/2010	2,82	3,18	3,44	3,73	3,55	3,87	3,40	3,17	3,70	3,20
15/09/2010	2,94	3,53	3,87	4,12	3,60	4,47	3,92	3,65	4,21	3,50
15/10/2010	2,96	3,60	3,95	4,55	3,68	4,80	4,15	3,97	4,38	3,67
16/11/2010	2,96	3,60	3,95	4,58	3,68	4,98	4,25	4,05	4,40	3,70

Fuente: Elaboración propia.

“La Cabaña”

Tabla 28 Datos de **altura** de las plantas de **chopo** de la muestra seleccionada en “**La Cabaña**”.

Fecha	Árbol muestreado									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13/05/2010	1,60	1,70	1,57	1,64	1,47	1,55	1,70	1,73	1,46	1,52
14/06/2010	2,90	2,92	2,70	2,73	2,70	3,00	3,00	3,40	2,95	2,45
13/07/2010	3,30	3,47	3,28	3,25	3,14	3,85	3,50	3,90	3,60	2,87
12/08/2010	3,45	3,75	3,27	3,37	3,27	4,40	3,65	4,30	4,00	2,90
14/09/2010	3,45	4,10	3,35	3,50	3,50	4,88	3,80	4,75	4,40	2,95

Fuente: Elaboración propia.

“Servicio de Plagas”

Tabla 29 Datos de **altura** de las plantas de **chopo** de la muestra seleccionada en “**Servicio de Plagas**”.

Fecha	Árbol muestreado									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11/05/2010	1,72	1,92	2,12	1,98	2,03	2,25	2,27	2,20	2,20	2,21
10/06/2010	2,77	3,23	3,57	3,55	3,35	4,00	3,50	3,60	3,57	3,45
12/07/2010	3,10	3,75	4,74	4,26	3,95	5,55	4,45	4,95	4,60	4,05

Fuente: Elaboración propia.