

**BOSQUES  
NATURALES**

**Ensayos de plantación de clones  
*Paulownia sp.* para producción  
de biomasa lignocelulósica en las  
fincas de Madrigal de la Vera  
(Cáceres) y Carpio de Tajo  
(Toledo).**



Foto 1. Madrigal de la Vera 7-06-2012

Foto 2. Carpio de Tajo 30-08-2012

Departamento Técnico Bosques Naturales S.A  
Alcobendas a 27 de septiembre del 2013.



## ÍNDICE

Resumen .....	2
1. Introducción.....	3
1.1. Descripción de las especies y requerimientos .....	3
1.2. Cultivos energéticos de paulownia.....	4
1.2.1. Marco jurídico.....	4
1.2.2. Caracterización energética de la biomasa de paulownia .....	5
1.2.3. Selvicultura.....	6
1.2.4. Rendimientos .....	8
1.2.5. Técnicas de secado .....	9
1.3. Otros modelos de plantación .....	10
2. Objetivos.....	12
3. Materiales y métodos.....	13
3.1. Material vegetal de origen .....	13
3.2. Descripción del medio y condiciones de mantenimiento.....	13
3.2.1. Edafología.....	13
3.2.2. Climatología .....	14
3.2.3. Aguas de riego .....	14
3.2.4. Condiciones de mantenimiento .....	15
3.2.4.1. <i>Plantación y Ciclos de corta y Recepado</i> .....	15
3.2.4.2. <i>Control de la Competencia Herbácea</i> .....	15
3.2.4.3. <i>Meteorología, Riego y Fertilización</i> .....	16
3.3. Diseño experimental.....	17
3.3.1. Parcelas experimentales.....	17
3.3.2. Toma de datos.....	18
3.3.2.1. <i>Variables dasométricas</i> .....	18
3.3.2.2. <i>Biomasa Aérea</i> .....	18
4. Resultados.....	20
4.1 Primera savia: Año 2009 .....	20
4.1.1. Madrigal de la Vera: ensayo de Recepado cero savias.....	20
4.1.2. Madrigal de la Vera: diferencias clonales y de localización .....	20
4.1.3. Madrigal de la Vera: interacciones.....	21
4.1 Segunda savia: Año 2010 .....	22
4.1 Cuarta savia: Año 2012 .....	24
4.1 Resumen Crecimientos 4 años.....	26
4.1 Cálculos de biomasa producida.....	26
4.1.4. Estimación de biomasa .....	26
4.1.5. Fijación de CO <sub>2</sub> .....	27
5. Discusión .....	28
6. Conclusiones.....	31
7. Bibliografía.....	37
8. Anexo.....	39
8.1. Datos meteorológicos y riego.....	39
8.2. Mediciones de biomasa .....	40
8.3. Estadísticas .....	41



## RESUMEN

La biomasa de productos leñosos presenta un gran potencial en el ámbito de la producción energética. Por su naturaleza, poder calorífico y disponibilidad, tiene importantes usos potenciales para la generación de calor y electricidad mediante combustión o co-combustión (Marcos, F., 2008). En este sentido, Bosques Naturales S.A pone en marcha el presente ensayo como estrategia para la puesta en marcha de nuevos proyectos de ingresos recurrentes.

La biomasa de las distintas especies de *Paulownia sp.* presentan características físicas y químicas similares al de otros cultivos leñosos bioenergéticos como chopos, eucaliptos y sauces; es apta para calderas (bajo contenido de cenizas <3%) aunque su baja densidad (0.25-0.3 kg/dm<sup>3</sup>), en el umbral inferior a la del chopo, incrementa los costes de transporte (Marcos F., Latorre B., Izquierdo I., Pascual C., 2009).

Los clones “Sun Tzu” de *Paulownia sp.* registrados por Vicedex Europa S.L. y proporcionados por el vivero Cotevisa S.L., mostraron índices de supervivencia superiores al 95% para las condiciones de clima, suelo y aguas de riego de las fincas de “Aldea Tudal VII” (Madrigal de la Vera - Cáceres) y “El Soto” (Carpio de Tajo - Toledo). Pese a ello se observó la clara inviabilidad del clon 105 (*P. tomentosa*) mientras que el resto de clones (104 y 33 *P. fortunei* y 11, *P. elongata*) presentaron portes similares en su tercer y cuarto año.

Tras seguir las recomendaciones técnicas del cultivo y la bibliografía, se observa que ninguna de las parcelas experimentales cumple con las previsiones de rendimiento esperadas. Los resultados indican producciones en torno a 4Tn/ha/año en base seca (húmedad 0%), son muy inferiores a los datos de 23-38Tn/Ha\*año proporcionados por Vicedex Europa S.L. En todo caso, tanto el modelo, como los resultados obtenidos, cuadran con los datos obtenidos por Martínez E., Lucas M.E., Andrés M., López F.R., García F.A., Del Cerro A., 2009, 2010.

Según los cálculos económicos y sin incluir coste de naves, equipos de fertirrigación e improbables ayudas o subvenciones, el modelo dejaría de dar pérdidas en el año 12, tras 4 ciclos de corta/recepa, para una producción de 28 a 33Tn/ha/año en base seca, es decir, de 7 a 8 veces la producción media obtenida bajo condiciones de mantenimiento óptimas de cultivo.

La reducción de inversiones para condiciones técnicas mínimas de mantenimiento supone mínimos niveles de rentabilización del modelo, lo que limita la rentabilidad de otros cultivos bioenergéticos leñosos con rendimientos inferiores a 28Tn/ha/año en base seca.



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES Y REQUERIMIENTOS

*Paulownia* es el único género maderable de la familia *Scrophulariaceae*, cuyos miembros son principalmente herbáceos (Wang Q., Shogren J.F. 1992). Se trata de una especie caducifolia que presenta una copa ancha y ramas de crecimiento horizontal, hojas de gran tamaño, color verde oscuro en forma ovalada y acorazonada de 20 a 40cm. de ancho en disposición opuesta.

Foto 3. Ensayo *Paulownia* en Carpio de Tajo - Toledo, Finca "El Soto" 26-08-2010. Planta en su 2ª savia



El género lo comprenden 9 especies originarias de China, excepto *Paulownia fortunei*, la cual se extiende hasta Vietnam y Laos y, *Paulownia tomentosa*, que se distribuye por Corea y Japón (Zhu Zhao-Hua et al., 1986). Las variedades más utilizadas para proyectos forestales son *Paulownia elongata*, *P. fortunei* y *P. kawakamii*.

Su importancia radica en su rápido crecimiento y adaptación a terrenos pobres en nutrientes (Melhuish J.H., Gentry C.E., Becklord P.R. 1990). Las especies de *Paulownia* sp. se adaptan casi a cualquier terreno que presente buena capacidad de drenaje, prefieren suelos francos, buena humedad edáfica, ricos en nutrientes, terrenos neutros o ácidos, soportando la presencia de elevadas cantidades de calcio y magnesio.

Se estima que podría llegar a vivir en suelos salinos y pobres en nutrientes (El Showk, S. and El-Showk, N., 2003), sin embargo Zhu et. al. 1986 menciona que *Paulownia* spp., no soporta bien la sequía, los suelos pobres en nutrientes, la elevada salinidad o alcalinidad. En todo caso, se estima que estas especies podrían sobrevivir con





precipitaciones anuales próxima a los 150mm., siendo necesario riegos estivales.

Su desarrollo se puede ver afectado por la presencia de elevados contenidos de arcilla en suelo (>30%), fuertes vientos, elevados niveles freáticos (a menos de 1.5m) y temperaturas extremadamente bajas (-20°C). Puede ser plantado en llanuras y montañas hasta elevaciones 2000m. y su potente sistema radicular (hasta 2 y 3m.) puede fijar terrenos con riesgos de erosión (Zhu Zhao-Hua et al. 1986).

ESPECIES	Requerimientos Edafoclimáticos														
	Geografía		Temperature (°C)				Precipitación			Requerimientos Edáficos					
	Latitud	Altitud	Umbral inferior	Mínimo	Óptimo	Umbral superior	[mm]	Meses sequía	Profundidad min [m.]	Profundidad óptima [m.]	Textura	Contenido Arcilla	Capacidad de aire	Nivel freático	pH
<i>P. tomentosa</i>	28-40N	1500m	-20	>8	24 a 29	40	1500-500	3 - 9	>0,5m. (alturas medias de 4 a 5m.)	>1m. (70-85% raíces de <i>P. elongata</i> entre 0,4-1m.)	Franco a franco arcilloso	<10%	>30%	>1,5m. (Periodo encharcamiento max.: 3 meses.)	5-8.5
<i>P. elongata</i>	28-36N	1200m	-15 (-18)	>8	24 a 29	40	1500-600	3 - 9			Franco arenoso	<10%	>30%		5-8.5
<i>P. fortunei</i>	18-30N	1100m	-5 (-10)	>8	24 a 29	40	2500-1200	2 - 3			Franco a franco arcilloso	16,3-23,5%	>30%		4.5-7.5

Zhua Zhao-Hua et al. 1986  
Yang, 2004

Cuadro 1. Requerimientos edafoclimáticos en condiciones naturales *Paulownia sp.* en China.

Los árboles pertenecientes al género *Paulownia spp.* presentan rápidos crecimientos, siendo especialmente llamativo los primeros años de desarrollo. En condiciones normales, un árbol de 10 años de edad puede alcanzar los 30 - 40 cm de diámetro normal y volúmenes de madera de 0,3 a 0,5 m<sup>3</sup>. Si las condiciones de cultivo son óptimas, se pueden alcanzar volúmenes de madera cercanos a los 4 - 4,5m<sup>3</sup>, con unos crecimientos anuales en diámetro de 3 - 4 cm. (ZHU ZHAO-HUA et al., 1986).

Las enfermedades de mayor impacto detectadas para *Paulownia sp.* son la "Escoba de brujas", causada por un phytoplasma y la antracnosis. Otros patógenos descritos son: *Schaceloma paulowniae*, *Phyllosticta paulowniae*, *Rhizoctonia solani*, *Pseudocerospora sp.*, *Cercospora sp.*, *Corynespora cassicola*, *Fusarium sp.*, *Ascochyta paulowniae*, *Heteroporus biennis* y *Phytophthora spp.* (Zhu et. al. 1986; Basset 1998; Phillips and Burdekin 1992; Mehrotra, 1997; Mehrotra and Mehrotra 2000).

## 1.2. CULTIVOS ENERGÉTICOS DE PAULOWNIA

### 1.2.1. MARCO JURÍDICO.

Dentro del marco Planificación energética de la unión europea, la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia, con horizonte 2007-2012-2020, incluye actuaciones urgentes para aumentar la superficie agrícola destinada a los cultivos energéticos y lignocelulósicos.

Pese a las atractivas tarifas para cultivos bioenergéticos derivadas del RD 661/2007 (Marcos F., Latorre B., Izquierdo I., Pascual C., 2009), la cambiante situación jurídica del sector de las energías renovables de los



últimos años, ha generado incertidumbre y desconfianza ante la imposibilidad de ejecutar nuevos proyectos y el temor de cierre de plantas en marcha (Bas Jiménez F., 2013).

En esta situación será importante revisar el Real Decreto-ley 1/2012, de 27 de enero, por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de preasignación de retribución y Real Decreto-ley 2/2013 por el que se anulan todas las primas establecidas en el Real Decreto 661/2007 para la generación en Régimen Especial, válido hasta el 14 de julio de 2013 y, las tarifas pasan a ajustarse según el IPC subyacente.

Cuadro 2. Normativa sector energético y la biomasa. (Bas Jiménez, 2013)

NORMATIVA	ÁMBITO DE REGULACIÓN	PRINCIPALES ASPECTOS QUE AFECTAN A LA BIOMASA
RD 661/2007	actividad de producción en régimen especial	inercia muy favorable como consecuencia del su entrada en el sistema y el régimen económico que establecía
RDL6/2009	establece el registro de preasignación de retribución	dado que la biomasa estaba lejos de los objetivos del PER 2005-2010, no se acotó el desarrollo de proyectos de biomasa
RDL 1/2012	suspende <i>sine die</i> los incentivos económicos y el procedimiento de preasignación de retribución para instalaciones del régimen especial	aquellas instalaciones del RE que, a la fecha de entrada en vigor de este RDL, no estuvieran inscritas en el RPR, no dispondrán de un régimen primado por la venta de electricidad
LEY 15/2012	medidas fiscales para la sostenibilidad energética	incluye un impuesto del 7% para los ingresos por generación eléctrica. Afecta al RO y al RE
RDL 2/2013	medidas urgentes en el sistema eléctrico y en el sector financiero	* Se traspasan a TR todas las instalaciones acogidas al RE. Queda por tanto sin efecto la modalidad de mercado + prima. * Se asigna un valor nulo a las primas de todas las categorías del RE definidas en el RD 661/2007 y se fijan nuevas TR para 2013. * A partir de este RDL, las tarifas del RE se actualizarán de acuerdo al IPC subyacente, en vez de hacerlo con el IPC general

### 1.2.2. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA BIOMASA DE PAULOWNIA

- ❖ El poder calorífico inferior de la biomasa de *Paulownia sp.* se sitúa próximo a 19500 kJ/kg, valor muy superior al de otros residuos forestales y agrícolas y similares al de otras especies energéticas de crecimiento rápido como chopo y eucalipto. (Martínez E., Lucas M.E., Andrés M., López F.R., García F.A., Del Cerro A., 2009).
- ❖ La densidad normal (12% de humedad) de la biomasa de *Paulownia sp.* (0.245-0.319Kg/dm<sup>3</sup> al 10% humedad) es baja comparada con la biomasa de chopo (0.29-0.47Kg/dm<sup>3</sup>) o pino (0.55-0.65Kg/dm<sup>3</sup>), por lo que los costes de transporte serán altos. (Marcos F., Latorre B., Izquierdo I., Pascual C., 2009; Latorre B., Ruano J., 2009).



- ❖ Los residuos generados tras la combustión son muy bajos (carbonatos y cloruros corrosivos), por tanto, el rendimiento y la vida media de las calderas no se verán afectados. (Marcos F., Latorre B., Izquierdo I., Pascual C., 2009; Latorre B., Ruano J., 2009). Kawasaki, 2007 calcula residuos entre 1.1 y 1.5%, mientras que en otros estudios oscila entre 1.1 y 3%.

Propiedades Físico-Químicas de la biomasa de Especies Lignocelulósicas						
Especie	Densidad normal [Kg/dm <sup>3</sup> ]	% Cenizas	Poder calorífico Inferior (base seca)		Poder calorífico superior [KJ/Kg]	
			Madera	Corteza	Madera	Corteza
<i>Paulownia tomentosa</i>	0,245-0,290 <sup>(1)</sup>	2,88 <sup>(2)</sup>	13636 <sup>(3)</sup>	16758 <sup>(3)</sup>	19895 <sup>(3)</sup>	20034 <sup>(3)</sup>
<i>Paulownia elongata</i>		1,53 <sup>(2)</sup>	16001 <sup>(3)</sup>	16435 <sup>(3)</sup>	19623 <sup>(3)</sup>	19876 <sup>(3)</sup>
<i>Paulownia elongata x fortunei</i>	0,265-0,319 <sup>(1)</sup>	1,12 <sup>(2)</sup>	15961 <sup>(3)</sup>	16,447 <sup>(3)</sup>	19558 <sup>(3)</sup>	19881 <sup>(3)</sup>
<i>Populus x euroamericana</i>	0,400-0,290 <sup>(4)</sup>	1,55-1,36 <sup>(4)</sup>			18870-19748 <sup>(4)</sup>	
<i>Populus deltoides</i>	0,375-0,310 <sup>(4)</sup>				18615 - 19251 <sup>(5)</sup>	
<i>Populus trichocarpa</i>	0,325 <sup>(4)</sup>					
<i>Eucalitus globulus</i>	0,55 <sup>(6)</sup>		12970 <sup>(8)</sup>			
<i>Pinus pinaster</i>	0,52 <sup>(7)</sup>		14435 <sup>(8)</sup>			
<i>Pinus radiata</i>	0,49 <sup>(7)</sup>		15062 <sup>(8)</sup>			

(1) González et al. 2003 y ensayos propios

(2) Latorre B., Ruano R., 2008

(3) Marcos Martín F., Latorre Monteagudo B., Izquierdo Osado I., Pascual Castaño C., 2009

(4) Marcos Martín F., García Díaz R., García robredo F., Godino García M., Relova Delgado I., Villegas Ortiz de la Torre S. 2009

(5) Valores genéricos para *Populus nigra* Gimeno Pérez (1863) cito a Frabricius y Gross - Feher

(6) Taval G., 2009

(7) Centre de la Propietat Forestal de Catalunya, 2004

(8) Ortíz L., Alonso B., 2005 y Latorre B., Ruano J., 2009 al 30% humedad

Cuadro 3. Propiedades Físico-Químicas de los principales cultivos bioenergéticos lignocelulósicos.

- ❖ La humedad de corta es baja, llegando a alcanzar valores del 46% en base seca. Cuando se realizan los ensayos de poder calorífico en laboratorio, la humedad es menor, entre 28-30% en base húmeda. Por razones económicas es conveniente reducir la humedad de la biomasa de *Paulownia sp.* hasta, como mínimo, el 25% en base húmeda (Latorre Monteagudo B., Ruano Martínez J., 2009).

Densidad y Contenidos de humedad biomasa de <i>Paulownia sp.</i>									
ESPECIES	Contenidos de humedad [%] <sup>(1)</sup>						Densidad <i>Paulownia sp.</i> en base húmeda <sup>(2)</sup>		
	[Agua /Peso húmedo]		[Agua / Peso Seco]				10%	12%	15%
	Madera	Corteza	Madera	Corteza	Madera	Corteza			
<i>Paulownia tomentosa</i>	30,84	31,24	44,78	45,79					
<i>Paulownia elongata</i>	30,16	29,45	43,53	41,76	0,29	0,24	0,26 - 0,33		
<i>Paulownia elongata x fortunei</i>	28,46	28,76	39,82	41,09					

(1) Latorre B., Ruano J.R., 2005

(2) González et al. 2003

Cuadro 4. Caracterización biomasa de *Paulownia sp.*: Densidad y contenidos de humedad.

### 1.2.3. SELVICULTURA

Los marcos de plantación recomendados para la producción de biomasa son de 3x2 ó incluso inferior (Martínez E., Lucas M.E., Andrés M., López F.R., García F.A., Del Cerro A., 2009). El modelo incluye ciclos de recepado cada 3 años (Vicedex Europa S.L.).



La aplicación de fertilizantes incrementa el ratio de crecimientos. (Jay A. 1998). Así, los requerimientos nutricionales calculados para estas especies son:

- ❖ Requerimientos nutricionales medios anuales de *Paulownia tomentosa*, para planta de no más de dos años en plantación son: 100N, 75 K<sub>2</sub>O, 20 P<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, 8 CaO y 9 MgO en unidades fertilizantes ó Kg/Ha. (Jia Hui-jun J. Ingestad T., 1984)
- ❖ Se recomienda, aunque no se considere imprescindible, la aplicación de 400gr. por árbol de complejo fertilizante NPK 15-15-15. (Martínez E., Lucas M.E., Andrés M., López F.R., Garía F.A., Del Cerro A., 2009).
- ❖ Para el correcto crecimiento *Paulownia tomentosa* se recomiendan niveles de solución fertilizante con contenidos de hasta 100ppm. de N, entre 5 y 20ppm de fósforo y pH entre 5 y 7. (Melhuish Jr., Gentry C.E., Beckjord P.R., 1990)..

*Paulownia* sp. presenta bajas tasas de evapotranspiración, aspecto que se asocia al control estomático, transpiración cuticular y estructura del xilema. En este sentido, *Paulownia* sp., requeriría menores aportes hídricos que otros cultivos lignocelulósico como *Populus x canadensis*, *Eucaliptus globulus*, *Eucalitus camaldulensis*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila* ó *Casuarina equisetifolia* (Andivia E., Fernández M., Alaejos J., Tapias R., 2013).

Los riegos deben efectuarse por lo menos 1 vez por semana, preferiblemente por riego localizado por goteo. Las dotaciones mínimas varían entre 150 a 200mm. (Martínez E., Lucas M.E., Andrés M., López F.R., García F.A., Del Cerro A., 2009). Otros autores que emplearon los clones de paulonia Sun-Tzu registrados por Vicedex Europa S.L., recomiendan para la región de Villamartín - Cádiz dotaciones de entre 250 a 300mm. en periodo vegetativo (Ramos J.J, 2011).

Diversos autores recomiendan el control de la competencia herbácea a base de herbicidas y sucesivos desbrozados (Clatterbuck W.K., Hodges S.G., 2004; Ramos J.J, 2011, etc.)

Las ideas de aprovechamiento suponen el empleo de una cosechadora forestal y retirada del material vegetal mediante autocargadores y transporte a centro de astillado en camión.



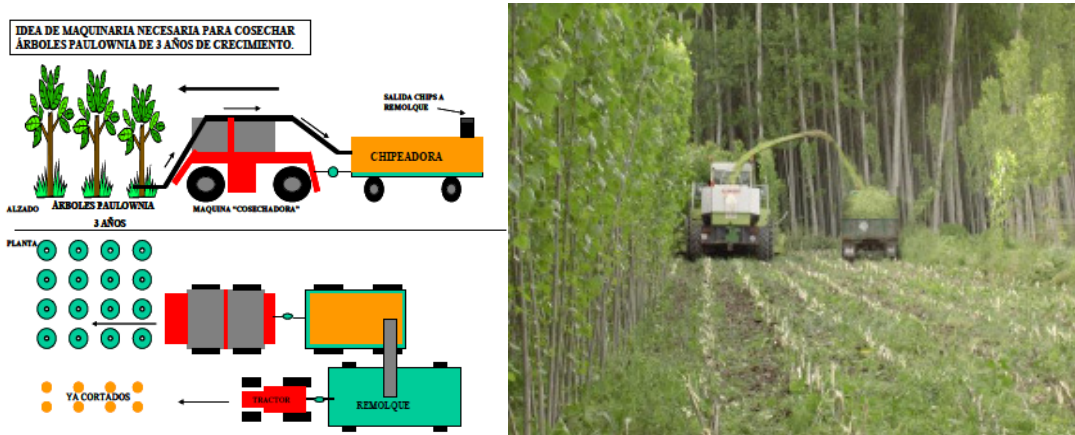


Fig. 1 y 2. Idea de Aprovechamiento Biomasa (izq.). Ejemplo aprovechamiento en chopo (der.)

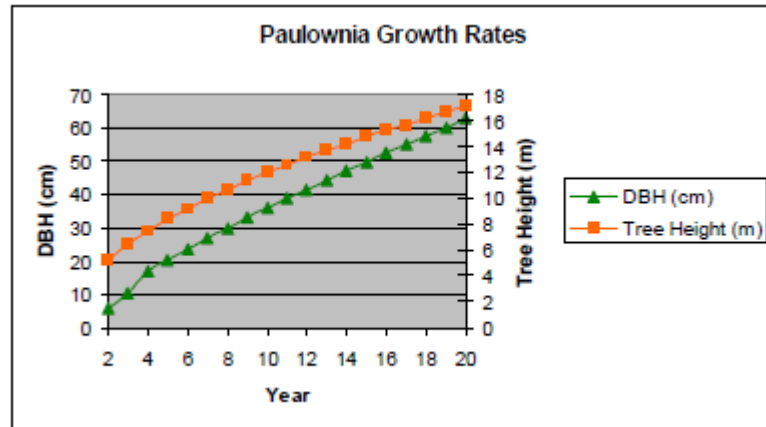
Para modelos a marco de plantación 3x2m. y siguiendo un modelo de rotación con recepados cada 3 savias se estiman:

- ❖ La empresa Vicedex Europa S.L. calcula productividades de entre **30-50Tn/ha/año (30% base húmeda)** para sus clones Sun-Tzu y poder calorífico entre 18535 (PCI inferior - base seca) y 12300KJ/Kg (PCS superior base húmeda 30%). productivos hasta por lo menos 21 años (6 a 7 ciclos de corta).
- ❖ Para plantaciones de clones de paulonia Sun-Tzu realizados en Villamartín - Cádiz se esperan productividades medias de **30 - 40Tn/ha/año al 30% base húmedad** (Ramos JJ, 2011), productivos hasta por lo menos 21 años (6 a 7 ciclos de corta). El modelo incluye cuidados control labores de riego, fertilización y control de la competencia herbácea.
- ❖ Para *Paulownia fortunei* se ha registrado que en sitios favorables de China y Japón puede alcanzar hasta 10m. de altura, fuste limpio de 5m. y diámetros normales de 22cm a los 4 años. En estas zonas es habitual encontrar árboles de 45-50cm. de diámetro normal con 10 años de edad, con producciones medias de biomasa de hasta **12m<sup>3</sup>/ha/año en base seca** (Van de Hoef, 2003).
- ❖ En plantaciones a marco 3x2m. en ambientes mediterráneos, con riegos de unos 2000m<sup>3</sup>/ha y fertilización NPK (400gr. pie de complejo 15-15-15), se registran producciones de biomasa total entre **2 y 6Tn/ha/año (*Paulownia elongata x fortunei* CV) en base seca** (0% humedad) o un equivalente a 3.68Tn/ha/año de CO<sub>2</sub> y poderes caloríficos en torno a 19520Kj/Kg en base seca (Martínez E., Lucas M.E., Andrés M., López F.R., García F.A., Del Cerro A., 2009, 2010).



En China, un árbol de 8 años presenta cantidades de biomasa aérea de 275.4Kg de materia seca total (Zhu Zhao-Hua et al. 1986). Los crecimientos medios de *Paulownia* sp. son de cerca de 2m. de altura y de 4 a 5 cm. por año (IDRC, International Development Research Centre 1998a). En sistemas agroforestales se han registrado árboles de 11 años de edad y 38cm. de diámetro normal con alturas de 12m. (Yin, 2004).

Fig. 3 Crecimientos *Paulownia elongata* en la Provincia de Henan - China (Zhu, 1986)



#### 1.2.5. TÉCNICAS DE SECADO

Distintos autores han aplicado diferentes técnicas de secado, entre ellas se observan:

- ❖ Las técnicas de secado hasta alcanzar el 0% de humedad (base seca), suponen emplear temperaturas en torno a 85°C durante 24 horas para hojas, ramas y pecíolos y 95°C durante 48 horas para el secado de troncos y raíces. La *Paulownia spp.* es una especie que permite un rápido y óptimo secado al aire, en periodos de 30 a 60 días (Martínez García E., Lucas Borja M.E. Andrés Abellán M., López Serrano F. R., García Morote F. A., Del Cerro Barja S., 2009, 2010)
- ❖ La *Paulownia spp.* es una especie que permite un rápido y óptimo secado al aire, en periodos de 30 a 60 días alcanzando entre el 10 y 15% de humedad (Zhu Z.H., Chao C.L., Lu X.Y., Xiong Y. G. 1986).
- ❖ Obtención de peso seco (0% humedad) por secado en estufa a 75°C hasta alcanzar peso constante (Andivia E., Fernández M., Alaejos J., Tapias R., 2013)



### 1.3. OTROS MODELOS DE PLANTACIÓN

Los modelos silvícolas suponen el empleo de marcos iniciales 3x3 (1111 árboles/ha) ó incluso superiores (Martínez E., Lucas M.E., Andrés M., López F.R., García F.A., Del Cerro A., 2009), de 6x6, 5x4 ó 5x5m., con 278, 400 o 500 pies/ha respectivamente. Los primeros aprovechamientos o claras se realizan a los 5-6 años de edad (Navarro, M.S., 1998), con un modelo sistemático, quitando filas alternas. Debido a la mala capacidad de cicatrización, la poda se efectúa a pronta edad y en un periodo muy corto; dicha intervención se ejecuta a salida de invierno, a partir del tercer o cuarto año, con alzados de copa de hasta 70%; dada la ramificación simpódica, se ha de mantener una guía del año, despejada y en desarrollo (El Showk, S. and El-Showk, N. 2003).

La madera de *Paulownia* sp. es fuerte, ligera, de 300 a 400Kg/m<sup>3</sup> (Zhu Z.H., Chao C.L., Lu X.Y., Xiong Y. G. 1986), imputrescible, sirve de aislante térmico (soporta de 420 a 430°C), resistente al alabeo, el agrietamiento y presenta un atractivo color de grano (Olson J.R., Fackler F.C. Stringer J.W. 1989). Su tiempo de secado es corto, de 24 a 48 horas en estufa y 60 días al aire libre. Se empleada para la fabricación de instrumentos musicales en China y Japón, la construcción para piezas estructurales y tableros, fabricación de muebles, contrachapado y piezas artesanales (Zhu Z.H., Chao C.L., Lu X.Y., Xiong Y. G. 1986).

Se pueden diseñar múltiples modelos de plantación mixta, siempre que no se incluyan otras especies de crecimiento rápido, debido a la alta demanda de luz de esta especie; la ventaja de estos modelos radica en que se pueden generar microclimas favorables en comparación con otros modelos abiertos (Zhu Z.H., Chao C.L., Lu X.Y., Xiong Y. G. 1986).

Los modelos agroforestales son una alternativa que supone el diseño de marcos fijos desde 5x10 a 6x12m intercalados con otros cultivos agrícolas como maíz y trigo en terrenos semiáridos; para marcos superiores a 10m. los rendimientos de trigos son similares a los de campo abierto, sin embargo a marcos superiores, de 20 a 40m., los rendimientos pueden subir de un 7 a 10% (Yoon y Toomey, 1986); en todo caso y aunque este parece una alternativa viable, todavía hace falta investigar sobre otras posibles interacciones para la producción de forraje y leña (Muthuri & Black, 2005). Los modelos agroforestales reducen la evapotranspiración de los cultivos agrícolas (Yoon y Toomey, 1986), mejorando la resistencia a la erosión y aumentando el aprovechamiento del sistema respecto de modelos de monocultivos (Yin, 2004).

La producción de forraje es rápida (Song Y. 1988) y su madera blanca produce pasta de celulosa de buena calidad para la fabricación de papel (Olson J.R. Carpenter S.B. 1985; Jiménez y Rodríguez, 2003).



El carbón de leña es aprovechado como fuente de energía calorífica para la elaboración de pólvora (Anonymous, 1988 The Wealth of India) y por último, las hojas, flores y corteza contienen sustancias utilizadas en la industria farmacéutica (Kang K.K, Huh H., Kim B.K., Lee Ch.K. 1990; Jiang T.F., Du X., Shi Y.P. 2004)

La composición de las hojas de *Paulownia* sp. en verde, puede servir de alimento al ganado debido a su alta palatabilidad y elevado contenido de nitrógeno; las hojas de *P. elongata* contienen un 20,83% de proteína cruda y un 66.12% de digestibilidad (Soest, V.P.J., 1994). Así mismo, la floración también es interesante para la apicultura y producción de miel (Zhu Zhao Hua et. al. 1986).



## 2. OBJETIVOS

- ❖ Evaluar la viabilidad y rentabilidad del cultivo de *Paulownia sp.* como especie leñosa para la producción de biomasa.
- ❖ Evaluar la posibilidad de introducir nuevos modelos de plantaciones de ciclo corto como alternativa donde otras plantaciones forestales de ciclo largo han fallado y así cubrir la progresiva disponibilidad de terrenos a medio - largo plazo.
- ❖ Verificar la viabilidad de los clones de *Paulownia sp.* registrados por Vicedex Europa S.L para la península ibérica.
- ❖ Hacer uso y aprovechamiento del personal, maquinaria e instalaciones disponibles.





### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. MATERIAL VEGETAL DE ORIGEN

El material vegetal elegido se trata de clones interespecíficos de *Paulownia* sp., originarios e China y seleccionados y registrados desde Estados Unidos por la empresa Vicedex Europa S.L. para las distintas condiciones ambientales de la península. Dichos clones son distribuidos por la empresa Cotevisa S.L.

Procedencia Material Vegetal				
Especie	Tipo Procedencia	Tipo Progenie	Edad	Formato Plantación
<i>Paulownia elongata</i>	Clonal	SUN TZU 11	0/0	teku 250cc.
<i>Paulownia fortunei</i>	Clonal	SUN TZU 33	0/0	teku 250cc.
<i>Paulownia fortunei</i>	Clonal	SUN TZU 104	0/0	teku 250cc.
<i>Paulownia tomentosa</i>	Clonal	SUN TZU 105	0/0	teku 250cc.

Cuadro 5. Material vegetal par ensayos 2009-2013

#### 3.2. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO Y CONDICIONES DE MANTENIMIENTO

##### 3.2.1. EDAFOLOGÍA

- ❖ Finca Madrigal de la Vera -Cáceres:
  - Suelos Franco arenosos a arenoso-franco con contenidos de arcilla por debajo del 15%. pH entre 5.5 a 6. Contenidos de materia orgánica <1% y contenidos bajos de nitrógeno (750ppm), niveles adecuados de fósforo (100ppm) y niveles bajos de potasio (0.28mmolc/100gr ó 1.1ppm), calcio y magnesio (1.4 y 0.3 mmmolc/100gr. respectivamente).
  
- ❖ Finca Carpio de Tajo - Toledo:
  - Suelos Franco arenosos con contenidos de arcilla entre el 15 y 25%. pH entre 8 y 8.5. Contenidos de materia orgánica <1%, contenidos bajos de nitrógeno (500ppm), niveles bajos de fósforo (20ppm) y contenidos adecuados de potasio (0.41mmmolc/100gr ó 1.6ppm) y altos de calcio y magnesio (13 y 2 mmolc/100gr. respectivamente).



### 3.2.2. CLIMATOLOGÍA

Las clasificaciones climatológicas nos indican que las parcelas experimentales se ubican en climas semiáridos. De modo general se pueden observar que en la finca de Carpio de Tajo presenta mayores oscilaciones térmicas, temperaturas máximas ligeramente superiores y menores precipitaciones anuales que las fincas de Madrigal de la Vera.

Los regímenes pluviométricos entre los años 2009 y 2013, son muy variables, observándose importantes déficits desde el verano del 2011 a la primavera de 2012 y especialmente acentuados en la fincas de Toledo.

Descripción Datos Meteorológicos años 2009 a 2013			
Tipo Dato	Unidad	Cáceres <sup>(1)</sup>	Toledo <sup>(2)</sup>
		Madrigal de la Vera	Carpio de Tajo
Temperatura mínima (dic-ene)	°C	-5 a -2	-10,2 a -7,4
Temperatura media (jul - ago)	°C	25,2 - 25,6	25,8 - 25,7
Temperatura Max (jul - ago)	°C	37,3 - 38,2	39,1 - 40,1
Humedad relativa min (jul - ago)	%	20,5 - 19,7	15,2 - 17,4
Evapotranspiración referencia (jul -ago)	[mm/día]	6,6 - 6,0	5,9 - 5,4
Precipitación Anual	[mm]	466 - 928	284 - 693

(1) Estación meteorológica "Jarandilla de la Vera" Lat 400608N Long. 053842W Alt. 508m.  
 (2) Estación meteorológica "La Finconada" UTM x= 379987 y= 4410264 Alt. 432m.

Cuadro 6. Descripciones datos meteorológicos por zonas de ensayo.

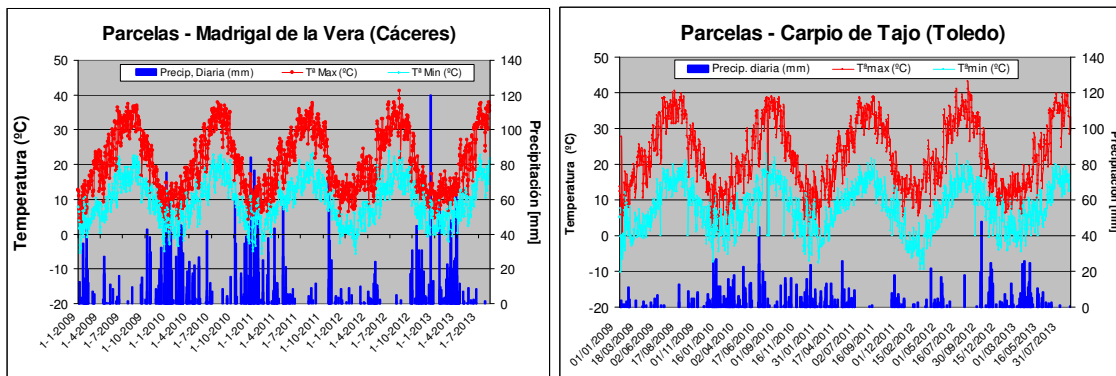


Fig. 4 y 5. Graficas Temperaturas Max y min - Precipitaciones 2009-2013.

### 3.2.3. AGUAS DE RIEGO

- ❖ Finca Madrigal de la Vera:
  - Aguas de muy baja mineralización (de 0.07 a 0.1mS/cm), con pH entre 6.5 y 7 y muy bajos contenidos de solutos.
- ❖ Finca Carpio de Tajo - Toledo:
  - Aguas de carácter alcalino con pH y contenidos de sales variables, tendiendo a empeorar sensiblemente desde mediados de primavera a final de verano. Según las normas Riverside se observan variaciones desde un C3:S1 a un C4:S1, aguas salinas o muy salinas y bajo contenido de



sodio o capacidad disgregante de arcillas, por lo que los cultivos requerirán de dosis extra de lavados de suelos.

- Son aguas duras de pH entre 7 a 8.3, conductividades entre 1.8 y 2.7mS/cm, contenidos moderados de nitrógeno y potasio, medios de sodio y sulfatos y altos de calcio, magnesio, cloruros.

### 3.2.4. CONDICIONES DE MANTENIMIENTO

#### 3.2.4.1. Plantación y Ciclos de corta y Recepado

La plantación se realiza en mayo de 2009, previa preparación del terreno mediante pases subsoladora y posterior gradeo y pase de rulos.

Gracias a la gran capacidad de rebrote de estas especies, se procedió a recepar el árbol cortando a ras de suelo, tras el segundo o tercer año de plantación y a principios de primavera, antes de la brotación. Los rebrotes producidos fueron abundantes y vigorosos, por lo que no fue necesario terciarlos por encima de la tercera yema; en nuestro caso y según las recomendaciones, se procedió a aclarar los rebrotes a favor del más recto, bajo y vigoroso (El Showk, S. and El-Showk, N. 2003).

Por tanto, las operaciones y ciclos de aprovechamiento fueron:

Ciclos Recepado		
AÑO	FASE	Descripción
2009	Plantación	Mezcla de clones <i>P. fortunei</i> , <i>P. elongata</i> y <i>P. tomentosa</i>
2010	2º año	Desarrollo normal
2011	Recepado - 2savias	Corte a ras de suelo (24-mayo)
	Poda rebrotes	Aclareo de rebrotes (17-agosto)
	Recepado - 3savias	Corte a ras de suelo (20-diciembre) y medición biomasa
2012	Poda rebrotes	1 rebrote bajo, recto y vigoroso.
2013	Recepado	-

Cuadro 7. Descripciones de ciclos de recepado y aprovechamiento 2009-2013.

#### 3.2.4.2. Control de la Competencia Herbácea

El control de la competencia herbácea se efectuó mediante el empleo combinado de herbicidas y desbrozado según el siguiente esquema:

Control de la cubierta vegetal			
AÑO	FASE	ACTIVIDAD	PRODUCTOS - HERRAMIENTAS
1	Implantación	Aplicación herbicida preemergencia	Isoxaben 40% + Orizalina 50%
	Primavera - Verano	Aplicación herbicida contacto con campana	Glifosato 36%
2	Primavera	Desbrozado	Desbrozadora 2,8kW disco sierra
	Verano	Desbrozado	Desbrozadora 2,8kW disco sierra
3	Corta (marzo-abril)	Aplicación herbicida contacto con campana	Glifosato 36%
	Primavera - Verano	Desbrozado	Desbrozadora 2,8kW disco sierra
4	Primavera	Desbrozado	Desbrozadora 2,8kW disco sierra
	Verano	Desbrozado	Desbrozadora 2,8kW disco sierra

Siguiendo recomendaciones de:

Clatterbuck W.K., Hodges S.G., 2004. Tree Crops for marginal Frmland: *Paulownia*. Universidad of Tennessee.

Cuadro 8. Intervenciones para el control de la competencias herbácea 2009-2012



### 3.2.4.3. Meteorología, Riego y Fertilización

Los aportes de riego y precipitación entre los meses de mayo y septiembre alcanzaron rangos de 180 a 230mm. en las parcelas de Madrigal de la Vera y valores entre 400 y 580mm. en Carpio de Tajo, con diferencias de dotación medias de un 224% a favor de esta última parcela, debido a la necesidad de riegos de lavado y a que su programación dependía del riego de otras plantación en la finca.

Las precipitaciones recibidas en octubre, con la planta aún vegetando, fueron de 70 a 90mm. en las parcelas de Madrigal de la Vera y entre 15 -40mm. en la parcela de Carpio de Tajo. El ciclo vegetativo de estos clones de *Paulownia* sp. se extendió hasta mediados de noviembre.

Los aportes de fertilizantes supusieron aportes medios de 60 UF (kg/ha) de nitrógeno mediante aplicaciones combinadas de fertirrigación y cobertera. La aplicación de otros elementos como fósforo, potasio, calcio y magnesio se realizó sobre todo en las parcelas de Madrigal de la Vera, debido a su potencial carencia en suelos y aguas de riego.

Campañas de Riego y Fertilización										
Parcela	Año	Precip. Anual [mm]	Periodo Mayo-Junio			Unidades Fertilizantes Aportadas				
			Riego	Precip. + Riego	ET <sub>0</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
			[mm]	[mm]	[mm]	[Kg/ha]	[Kg/ha]	[Kg/ha]	[Kg/ha]	[Kg/ha]
Madrigal de la Vera (Cáceres)	2009	554	135	177	873	59	20	20	18	48
	2010	928	139	225	798	73	3	4	2	0
	2011	491	148	172	811	73	3	4	340	200
	2012	366	147	230	766	28	22	37	6	8
Carpio de Tajo (Toledo)	2009	284	361	409	834	78	0	0	0	0
	2010	693	337	578	696	78	0	0	0	0
	2011	344	350	406	703	41	36	36	0	0
	2012	357	269	408	835	78	0	0	0	0

Cuadro 9. Campañas de riego y fertilización 2009-2012.

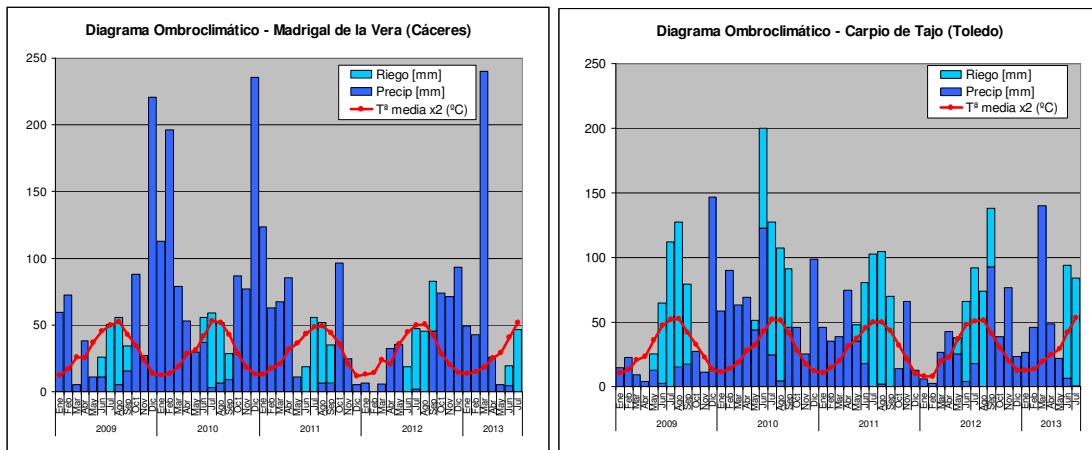


Fig. 6 y 7. Diagramas ombroclimáticos por zonas 2009-2013.



### 3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

#### 3.3.1. PARCELAS EXPERIMENTALES

Se diseñaron 3 parcelas experimentales:

- ❖ Dos ubicadas en la Madrigal de la Vera - Cáceres, subfinca Aldea Tudal VII, parcelas intermedia (408 pies) y parcelas balsa (630 pies): Lat. 40° 6' 8.21" N Long. 5° 23' 19.03" W.
- ❖ Una ubicada en Carpio de Tajo - Toledo, finca "El Soto", Parcela *Paulownia* (735 pies): Lat. 39° 50' 47.7" N Long. 4° 27' 57.71" W.



Foto 4. Vista Parcela Balsa Alta - Madrigal de la Vera. 09-05-2012

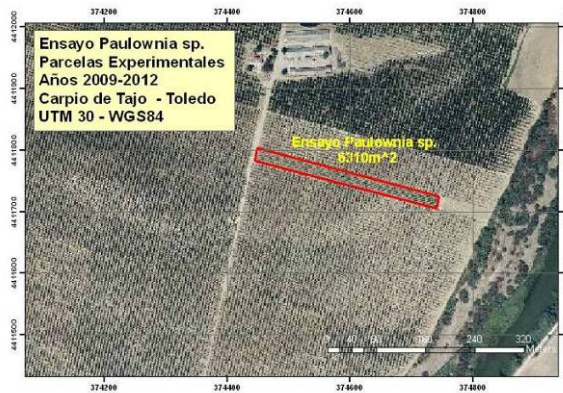


Foto 5. Vista Parcela Paulownia - Carpio de Tajo. 08-06-2012

Fig. 8 y 9. Ensayos de *Paulownia* sp. en Madrigal de la Vera (arriba) y Carpio de Tajo (abajo).

Las poblaciones de distribuyeron por bloques rectangulares y con un mínimo de 4 filas por bloque, salvo en la parcela intermedia, con 2 filas por clon.

Distribución de Clones Plantados							
FINCA	Parcelas	Fecha Plantación	nº de pies				Observaciones
			Clon 11	Clon 33	Clon 104	Clon 105	
Madrigal de la Vera	Parcela Intermedia	22/05/2009	112	108	76	112	
	Parcela Balsa Alta	22/05/2009	152	158	172	148	
Carpio de Tajo	Parcela Paulownia	26/05/2009	175	192	193	175	clon 33 y 105 arrancados 2011

Cuadro 10. Recuento unidades experimentales por Parcela - Clon





Las parcelas se diseñaron con un marco constante 3x2, dejando la distancia más amplia como calle. En paralelo a la línea de plantación se colocaron dos líneas de gotero integrado de 1.7L/h y 0.35m. de separación entre goteros para las “Parcelas intermedia” y “Parcela balsa” y 3.5L/h y 0.75m. de separación para la “Parcela Paulownia”.

### 3.3.2. TOMA DE DATOS

#### 3.3.2.1. *Variables dasométricas*

En cada una de las parcelas experimentales se procedió a la medición de diferentes variables biométricas e inventario de cada uno de los pies. Para la toma de datos se realizó un muestreo aleatorio por bloques, escogiendo 10 árboles por clon.

Los datos recogidos fueron:

- ❖ Primer año: Diámetro del cuello o de la base (DC), Alturas totales (Ht) de modo mensual.
- ❖ Superados los 1.3m.: Diámetro del cuello o de la base (DC), altura total (Ht) y diámetro a la altura del pecho (DAP)

#### 3.3.2.2. *Biomasa Aérea*

El apeo de los pies seleccionados se realizó con motosierra, dejando un tocón de aproximadamente 2cm. de altura. El fuste se dividió en trozas de un metro de longitud, de las que se cogieron rodajas de 12 a 15cm. de la base de cada una de las trozas de 1m., tomándose los respectivos datos de diámetro con cinta Pi.

Una vez apeados los árboles, se pesaron por separado el fuste libre (hasta antes de la bayoneta o pérdida de guía) y la ramas.

Los tacos extraídos fueron pesados en húmedo (fibras saturadas) y posteriormente sometidos a tratamientos de secado en estufa 60°C hasta alcanzar un peso constante o humedad de equilibrio, que pasará a considerarse como peso en seco (0% de humedad). El proceso duró aproximadamente 3 días.



Fotos 6 y 7. Medición de biomasa 20-12-2011. Troncos y ramas para pesar y medir (izquierda) y Muestras de tronco y ramas para secado (derecha)



## 4. RESULTADOS

### 4.1 PRIMERA SAVIA: AÑO 2009

#### 4.1.1. MADRIGAL DE LA VERA: ENSAYO DE RECEPADO CERO SAVIAS.

Sobre el material vegetal clonal 0/0 plantado en las parcelas de Madrigal de la Vera con fecha 22/05/2009, se procedió a realizar el recepado de los plantones en la primavera del mismo año con fecha 10/06/2009, 19 días después.

Los resultados del análisis de datos nos muestran:

- ❖ Diferencias significativas para un nivel de confianza del 95%, mostrando mayores crecimientos en altura y diámetro de cuello los testigos (no recepados).
- ❖ Según al análisis de las covariables, se observa que el efecto de los tipos de Clon y los Bloques (Parcelas) son significativos en todos los casos.

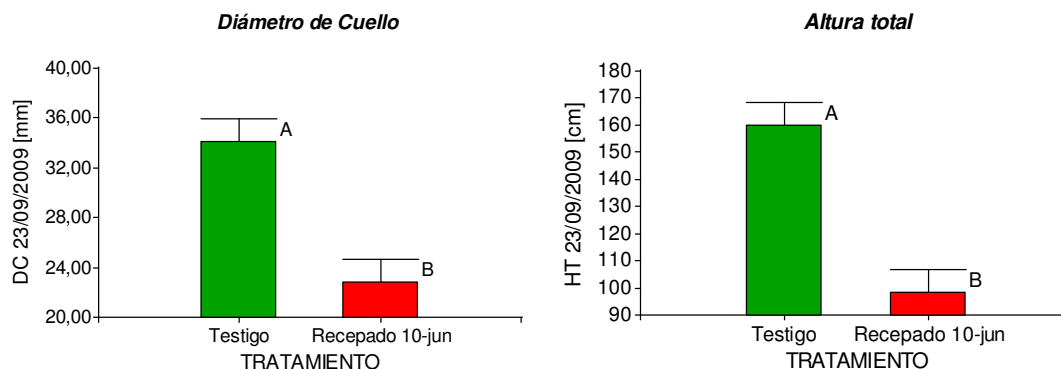


Fig. 10 y 11. Respuesta tratamientos de recepado a cero savias. Diámetro de cuello (izp.) - Altura total (der.)

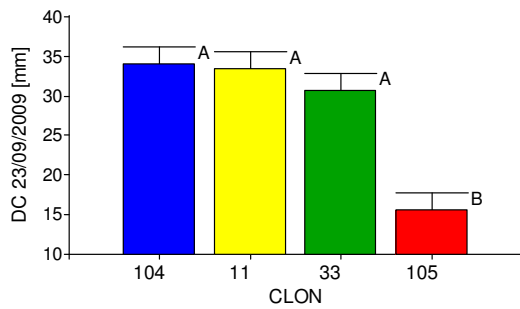
#### 4.1.2. MADRIGAL DE LA VERA: DIFERENCIAS CLONALES Y DE LOCALIZACIÓN

Todo el material clonal fue plantado el 22/05/2009. y su ciclo de vegetativo finalizó a mediados de noviembre. Los resultados analizados fueron recogidos el 23/09/2009 con aproximadamente más del 70% del ciclo vegetativo completado (124 días de 180).

Los resultados obtenidos nos indican que el efecto clonal fue significativo para los dos parámetros medidos, observándose que el clon Sun Tzu 105 muestra menores crecimientos en diámetro de cuello (15.70mm) y altura total (72.85cm), con valores que medios en torno al 50% de la media del resto de clones.



**Diferencias Clonales 1º año: Diámetro de cuello**



**Diferencias clonales 1º año: Altura Total**

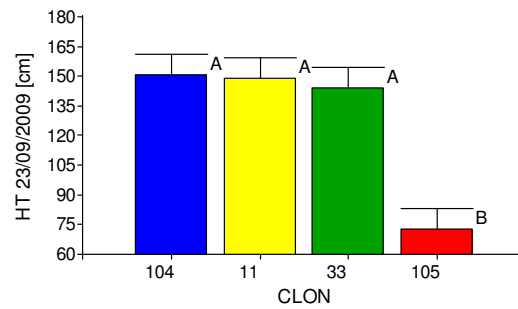
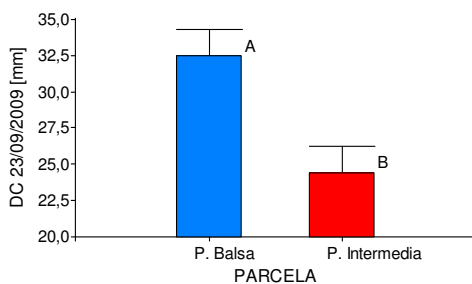


Fig. 12 y 13. Diferencias biométricas entre clones 2009. Diámetro de cuello (izp.) – Altura total (der.)

El efecto de la localización de las parcelas muestra diferencias significativas entre ellas, observándose que como media, los clones crecieron de un 30 a 25% menos en la Parcela Intermedia (1) para 2009.

**Diferencias parcelas 1º año: Diámetro de cuello**



**Diferencias parcelas 1º año: Altura Total**

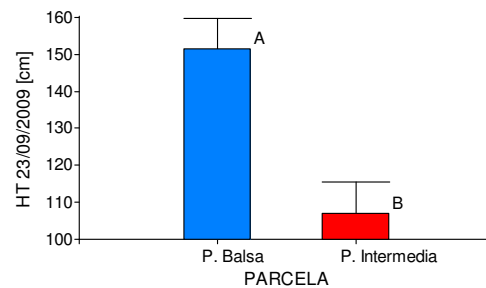


Fig. 14 y 15. Diferencias biométricas entre zonas 2009. Diámetro de cuello (izp.) – Altura total (der.)

#### 4.1.3. MADRIGAL DE LA VERA: INTERACCIONES

El efecto de la interacción entre clones, parcelas y tratamientos muestran que los grupos que más crecieron en 2009 fueron los clones 104, 33 y 11, ubicados en la Parcela Balsa (2) y sin tratamiento de recepado, alcanzado medias de altura de 2,4m., 4.93cm de diámetro de cuello. Las medias de diámetro a la altura del pecho fueron 2.86, 2.24 y 2.00cm. respectivamente para los clones 104, 33 y 11.

Por el contrario, los menores crecimientos se observan en los clones 105, recepados e independientemente de la parcela, alcanzándose alturas de 53cm. y diámetros de cuello de 1.27cm.

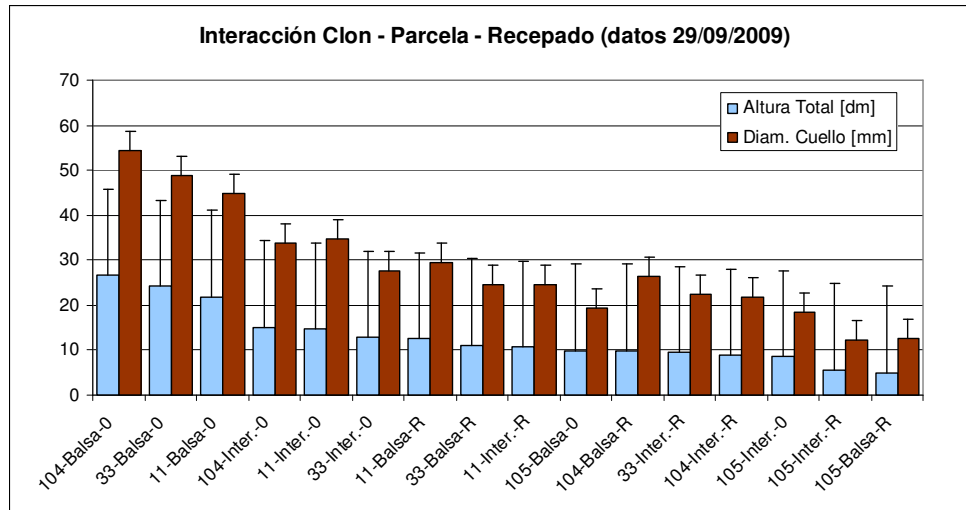


Fig. 16. Interacción Clon-Parcela-Recepado según medias de Diametro de cuello y Altura total al 70% de su primera savia.

#### 4.1 SEGUNDA SAVIA: AÑO 2010

En 2010 el comienzo de la brotación se produjo a primeros de abril, la senescencia de las hojas en la segunda quincena de noviembre, lo que supone un ciclo vegetativo de cerca de 235 días.

A continuación se muestran las medias de las medidas biométricas tomadas en campo a finales de octubre de 2010 (87% del ciclo vegetativo completado), plantada a finales de su segunda savia en la "Parcela Balsa" de Madrigal de la Vera y la "Parcela Paulownia" de Carpio de tajo.

Las diferencias de medias observadas entre parcelas experimentales e interacción Clon-Parcela, nos indican las siguientes tendencias:

- ❖ El índice de esbeltez de las masas (relación diámetro a la altura del pecho DAP [mm] – altura [dm]) es de 1.238 y 2.489 en la Parcela Balsa y Parcela Paulownia respectivamente. Esto supone que los árboles ubicados en Carpio de Tajo (Parcela Paulownia ó 3), presentarán cerca de la mitad del DAP respecto de los árboles plantados en la Parcela Balsa de Madrigal de la Vera, para una misma altura.



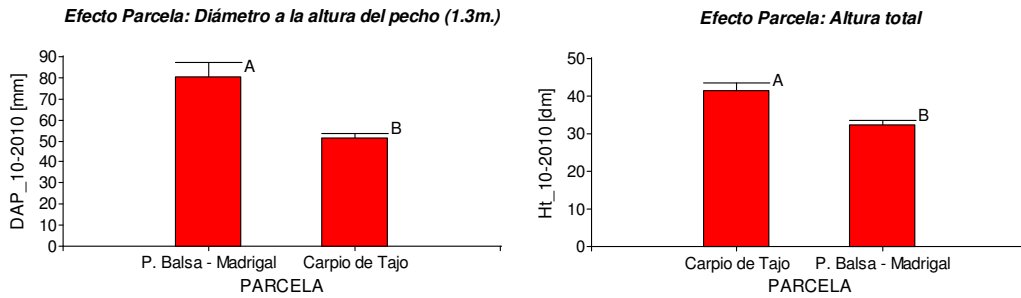
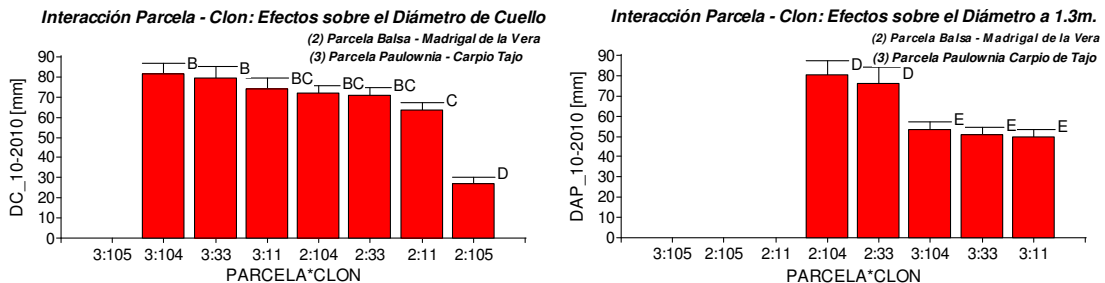


Fig. 17 y 18. Efecto bloque sobre el Diámetro a la altura del pecho (DAP, izq.) y Altura total (der.)

- ❖ El clon Sun Tzu 105 (*Paulownia tomentosa*) no se adaptó a las condiciones climáticas y de mantenimiento de ninguna de las parcelas experimentales produciéndose un importante número de pies cloróticos, especialmente acentuado en la parcelas de Carpio de Tajo, con medidas inferiores a 50cm, motivo por el cual fue arrancado de las parcelas experimentales en 2010.
- ❖ Para los pies no arrancados, los peores resultados se obtuvieron para el clon 11 plantado en las Parcela balsa de Madrigal de la Vera, no superándose los 1.2m. de alturas en su segunda savia, sin embargo, el mismo clon produjo crecimientos mucho mayores en la parcela de Carpio de Tajo (DC=70mm.; DAP=50mm; Ht=39dm.).
- ❖ Para los pies no arrancados, los mejores resultados se obtuvieron para los clones 104 y 33.
  - Clon 104: Los mejores valores se producen en la “Parcela Balsa” de Madrigal de la Vera (DAP=80mm; Ht=40dm). El mismo clon en la parcela de Carpio de Tajo presenta alturas similares pero menores diámetros normales (DAP=50mm).
  - Clon 33: Los mejores valores se producen en la “Parcela Balsa” de Madrigal de la Vera (DAP=75mm; Ht=39dm). El mismo clon en la parcela de Carpio de Tajo presenta alturas similares pero menores diámetros normales (DAP=48mm).



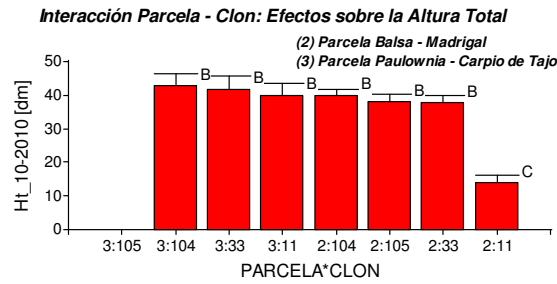


Fig. 19, 20 y 21. Interacción Parcela-Clon sobre el Diámetro de Cuello (DC, Arriba izq.); Diámetro a la altura del pecho (DAP, arriba der.) y Altura total (Ht, abajo).

#### 4.1 CUARTA SAVIA: AÑO 2012

A continuación se muestran las medias de las medidas biométricas tomadas en campo a finales de noviembre de 2012 y finales de marzo de 2013, con 95% de caída de hoja y antes de brotación, es decir, con casi el 100% del ciclo completado

Las diferencias de medias observadas entre parcelas experimentales e interacción entre Clones y Parcelas nos indican las siguientes tendencias:

- ❖ El índice de esbeltez de las masas (relación diámetro a la altura del pecho DAP [mm] - altura [dm]) es de 1.37 y 1.22 en la Parcela Balsa y Parcela Paulownia respectivamente. Esto supone que los árboles presentan arquitecturas similares hacia su cuarta savia.
- ❖ Las medias de las medidas dasométricas fluctúan entre de 107 a 124mm. de DC, 80-87mm. de DAP y alturas entre 70-58dm., en todos los casos ligeramente mayores en la Parcela Paulownia de Carpio de Tajo.

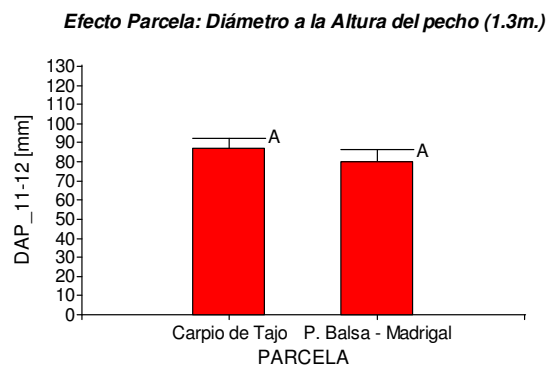
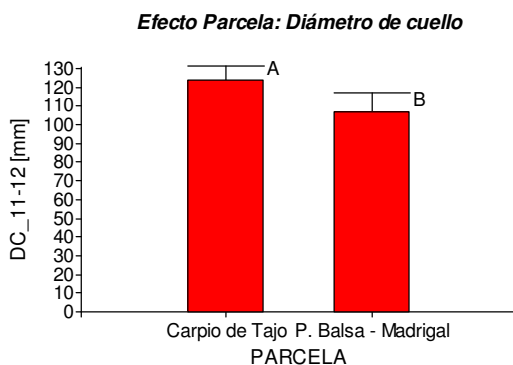


Fig. 22 y 23. Efecto Parcela sobre el Diámetro de Cuello (DC, Arriba izq.); Diámetro a la altura del pecho (DAP, arriba der.)

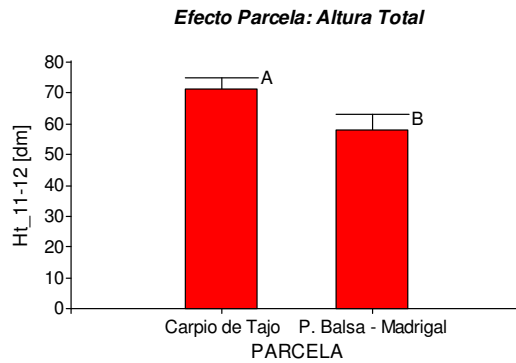


Fig. 24. Efecto Parcela sobre la Altura total (Ht, abajo).

- ❖ En su cuarta savia, la interacción entre Parcela - Clon no muestra diferencias significativas entre los clones 104, 33 y 11.

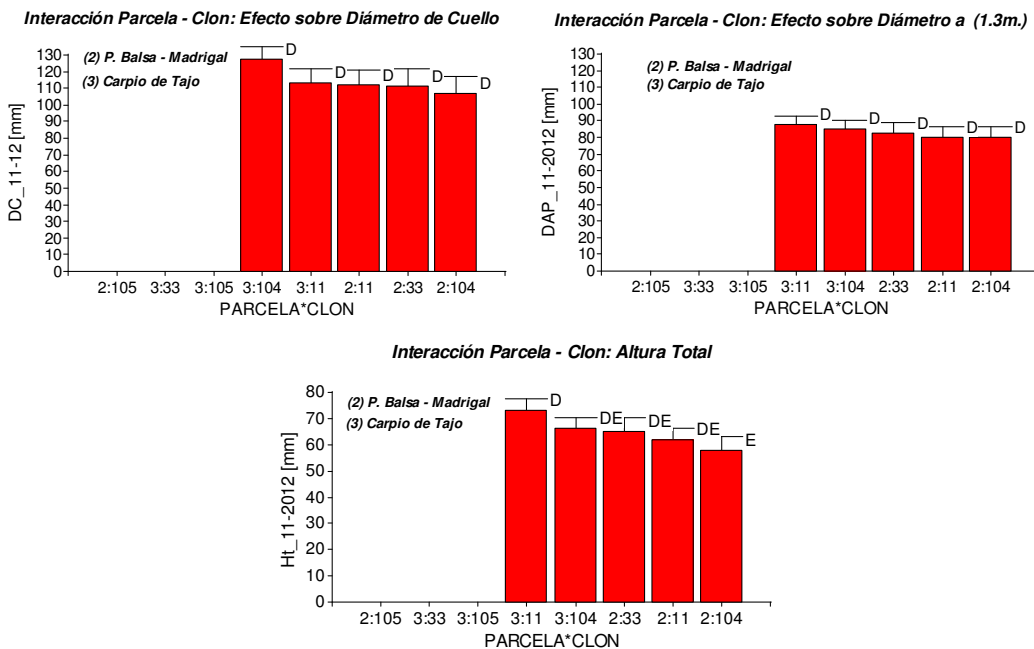


Fig. 25, 26 y 27. Interacción Parcela-Clon sobre el Diámetro de Cuello (DC, Arriba izq.); Diámetro a la altura del pecho (DAP, arriba der.) y Altura total (Ht, abajo).

- ❖ Los datos de resumen estadístico del DC, DAP y Ht muestran coeficientes de variación entre el 10 y 14% en la Parcela Paulownia de Carpio de Tajo y entre el 17 y 23% en la Parcela Balsa de Madrigal de la Vera; los datos para el clon 104 son especialmente variables en esta última parcela, alcanzado coeficientes de variación entre el 38 y 41%, datos incongruentes con las respuestas posibles para un material vegetal de origen clonal, por lo que se asume la presencia de importantes variaciones edafoclimáticas para el bloque que ocupa el clon 104 en Madrigal de la Vera.



#### 4.1 RESUMEN CRECIMIENTOS 4 AÑOS.

Tras recoger los datos de diámetro normal y altura, se pudieron recoger los datos de diámetro y altura consecutivos de los clones Sun Tzu 104 y 11 de 4 años consecutivos de la finca de Carpio de Tajo (Parcela *Paulownia*).

En función de estos datos se pueden observar que los mayores crecimientos en diámetro a la altura del pecho (DAP) se produjeron en el 1º año, con hasta 43mm. de diámetro. A partir del segundo año, los incrementos de DAP fueron de 25mm. en 2010 y 10mm. en 2011.

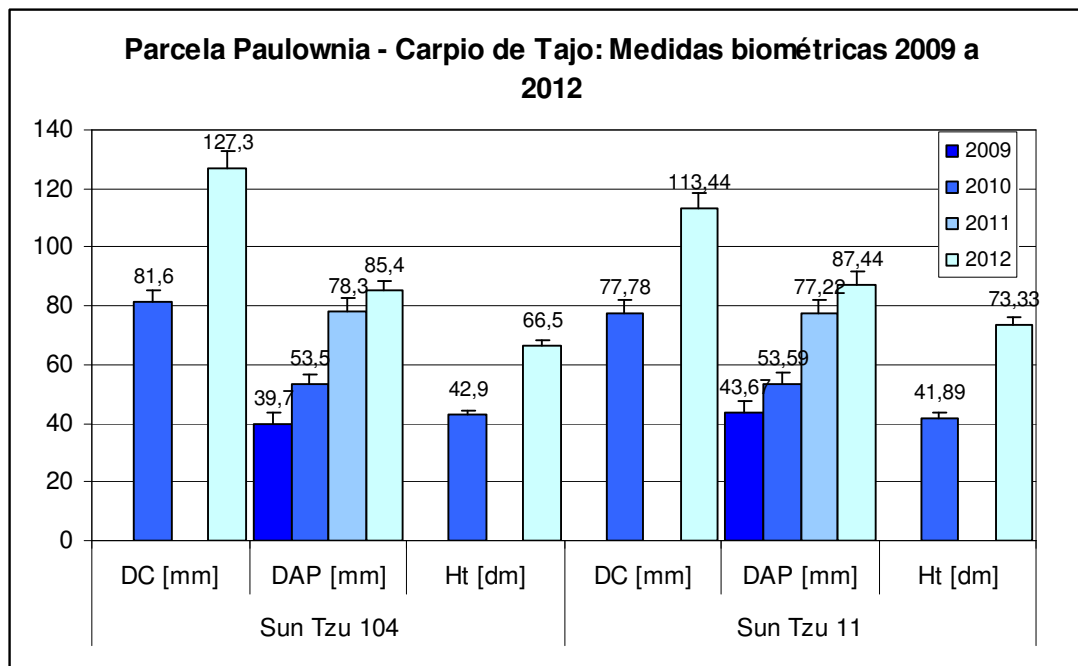


Fig. 28. Resumen Crecimientos Parcela *Paulownia* - Carpio de Tajo. Diámetro de Cuello (DC); Diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total (Ht).

#### 4.1 CÁLCULOS DE BIOMASA PRODUCIDA.

##### 4.1.4. ESTIMACIÓN DE BIOMASA

La toma de muestras se realizó el 20-11-2011, en la Parcela Balsa de Madrigal de la Vera, a savia parada y tras 3 años en plantación.

Según las muestras recogidas y extrapolando los datos para a producciones medias por hectárea, los datos indican valores de 5.0 a 9.1Tn/ha\*año en base húmeda (30% humedad). En el mejor de los casos, la extrapolación alcanza valores de hasta 13.2Tn/ha\*año (30% humedad), que se corresponde con el clon 104 (*P. fortunei*) ubicado en una zona con acceso a nivel freático y un microclima favorable, asociado a la presencia de vegetación de rivera.



Los contenidos de humedad del fuste y densidad solo pudieron ser medidos para el clon Sun Tzu 11 (*P. elongata*). La humedad varía entre el 36 y 37% y las densidades entre 0.245 – 0.315Kg/dm<sup>3</sup>.

Cuantificación biomasa y Propiedades Físicas - Parcela Balsa (Madrigal de la Vera) - Planta 3 savias																	
Muestra	Clon	Datos biométricos				Biomasa Fresca			Propiedades Físicas			Estim. Producción Biomasa Mín. [Tn/ha* año]					
		DC [mm]	DAP [mm]	Ht [dm]	BH [dm]	Fuste [Kg]	Fuste [dm <sup>3</sup> ]	Ramas [Kg]	Densidad seca media fuste [Kg/dm <sup>3</sup> ]		Humedad [%]	Base seca			Base húmeda 30%		
									Calculada	Ref. (1)		Fuste	Ramas	Total	Fuste	Ramas	Total
1	11	127	87	67	22,5	17	19,23	10	0,322		36%	3,4	2,0	5,4	4,4	2,6	7,0
2	11	141	102	76	20	20	25,29	14	0,275		37%	4,1	2,9	7,0	5,3	3,7	9,1
3	33	137	87	73,5	20	12	20,6	7		0,245 a 0,315	36,5%	2,4	1,4	3,9	3,2	1,8	5,0
4	33	141	90	73,5	30	15	21,99	7			36,5%	3,0	1,4	4,5	4,0	1,8	5,8
5	104	174	125	91,5	30	35	44,69	15			36,5%	7,1	3,0	10,1	9,2	4,0	13,2
6	104	132	93	77,5	27	15	22,23	7			36,5%	3,0	1,4	4,5	4,0	1,8	5,8

DC (diámetro de cuello); DAP (diámetro a la altura del pecho 1,3m); Ht (altura total); BH (Bole height - altura fuste limpio)

(1) González et al. 2003. 0,245-0,29Kg/dm<sup>3</sup> para *P. tomentosa* y 0,265-0,319 para *P. elongata x fortunei*

Cuadro 11. Resultados Medidas biométricas, biomasa y propiedades físicas de la madera de *Paulownia* sp. con 3 savias.

#### 4.1.5. FIJACIÓN DE CO<sub>2</sub>

A partir de la cuantificación de biomasa total, se estimó la cantidad de dióxido de carbono que hay almacenado en el cultivo. Para ello es necesario conocer el porcentaje de carbono de la materia seca. El Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), estima que la cantidad de carbono que almacena el género *Paulownia* spp. es aproximadamente del 49,5%.

Mediante la proporción entre el peso de la molécula de CO<sub>2</sub> y el peso del átomo de C que la compone obtenemos la relación que se utilizará para pasar de kg de carbono a kg de CO<sub>2</sub> equivalente: Peso CO<sub>2</sub>/ Peso C = 44/12 = 3,67. Así, multiplicando los valores de biomasa por el contenido en carbono y por 3,67 obtenemos los valores modulares de CO<sub>2</sub> acumulado (Martínez E., Lucas M.E., Andrés M., López F.R., García F.A. Del Cerro A., 2009).

Así para una producción de 4.5 a 7Tn/ha\*año (base seca) se estiman equivalentes de fijación de CO<sub>2</sub> entre de 8.175 a 12.717Tn/ha/año.



## 5. DISCUSIÓN

En general los resultados medidos muestran valores muy similares para las 2 fincas, igualándose las medias de diámetro de cuello, diámetro normal y altura a partir del cuarto año de plantación.

Los resultados muestran en general una elevada variabilidad en las parcelas de Madrigal de la Vera, especialmente en la Parcela Balsa, donde la presencia de corrientes de agua, niveles freáticos a >1,5m. y vegetación de rivera, generó un microclima con más humedad y menos insolación, que derivó en la presencia de rodales de clones 104 y 33 especialmente favorecidos.

Se produjeron diferencias clonales desde el primer año, observándose claramente una falta de adaptación del clon Sun Tzu 105 (*Paulownia tomentosa*), tanto en una localidad como otra. En general se puede asumir que este clon no se adapta a condiciones de suelos arenos francos, con riegos de hasta 200mm. en periodo vegetativo, ni a suelos franco a franco arcillosos, con aguas salinas y dotaciones de hasta 500mm. en periodo vegetativos, en ambos casos, con un similar nivel de evapotranspiración.

El resto de clones se adaptaron satisfactoriamente a las condiciones de todas las parcelas, soportando los riegos con aguas salinas y duras sobre suelos franco a franco arcillosos o riegos con aguas dulces de baja mineralización en suelos arenos-francos. Sin embargo es de destacar importantes diferencias de forma durante los 2 primeros años de crecimiento.

Se produjeron potenciales déficits de riego y nitrógeno asociada a la presencia de clorosis en hoja en los árboles ubicados en las zonas más arenosas y de suelos más pobres de las parcelas de Madrigal de la Vera (Foto 9). El verde intenso de las hojas de paulonia de las parcelas de Carpio de Tajo fueron indicativos de altos contenidos de nitrógeno y otros nutrientes, asociados en todo caso a las condiciones físico-químicas del suelo y no a la fertilización mineral, puesto esta fue similar en todas las localizaciones.



Foto 8. Parcela Paulownia - Carpio de Taio 12-07-2011 clon 104





Fotos 9. Parcela Intermadia - Madrigal de la Vera 13-7-2011 clones 33 y 104. Zona Areno-franca con clorosis.

En su cuarto año de plantación, los clones de *Paulownia sp.* ubicados en la Parcela de Carpio de Tajo, empezaron a demostrar un importante decaimiento debido a la generalizada presencia de fendas de insolación entre 1 y 2m. del fuste y reducción de crecimientos (incrementos de DAP de 10mm.), aunque en su cuarta savia no se observaban síntomas en hojas. Las principales causas podrían asociarse al estrés osmótico producido por acumulación de sales a nivel radicular, excesos de insolación y la elevada variabilidad de los regímenes térmicos diarios (máximas de 40°C) en coincidencia con las referencias de Zhu et al., 1986.

Los tratamientos de control de la cubierta vegetal mediante la aplicación de herbicida preemergencia (orizalina + isoxaben) y postemergencia (glifosato 36%) durante el primer año y paulatino y posterior cambio al desbrozado de calles, dio lugar a resultados satisfactorios para el primer ciclo de plantación de tres años, siempre en concordancia con las recomendaciones de Clatterbuck W.K., Hodges S.G., 2004.

Los clones Sun Tzu104 (*P. fortunei*), 33 (*P. fortunei*) y 11 (*P. elongata*) mostraron medias de crecimientos similares en todas las parcelas y localizaciones, con valores de 107-124mm. de DC, 80-87mm. de DAP y 70-58dm. de altura total en su cuarta savia. Los clones Sun Tzu 104 (*P. fortunei*) y 11 (*P. elongata*) alcanzaron medias de DAP de 78mm. en la parcela de Carpio de Tajo en su tercera savia. Dichos resultados son muy inferiores a los estimados por Zhu (1986) para *Paulownia elongata* en la provincia de Henan (China), que calcula para su cuarto año 175mm. de Diámetro a la altura del pecho (DAP) y 78dm. de altura total.

La extrapolación de datos de biomasa obtenidos se consideran sobrestimados, debido a que fueron recogidos en las mejores zonas de las Parcela Balsa de Madrigal de la Vera, lo que implicaría que para intentar obtener tales rendimientos medios, habría que incrementar los



aportes de riego y probablemente los de fertilizantes por encima de las recomendaciones de referencia establecidas para este cultivo. Extrapolando estos resultados a los crecimientos observados en Carpio de Tajo en su tercera savia, se puede observar que los rendimientos también se encuentran sobrestimados.

Los rendimientos de biomasa obtenidos están entre el 10 y 16% de los estimados por Vicedex Europa S.L y Ramos J.J., 2011 para condiciones mediterráneas y; son del 33% respecto de los datos registrados por Van de Hoef, 2003 para *Paulownia fortunei* en las mejores condiciones en China y Japón. Sin embargo, nuestros resultados si coinciden con los resultados obtenidos por Martínez E., Lucas M.E., Andrés M., López F.R., García F.A., Del Cerro A., 2009, 2010, que estiman producciones de entre 2 y 6Tn/ha/año en base seca.

En apariencia no se observaron importantes incidencias de ataques de plagas o enfermedades fúngicas, salvo la presencia generalizada, pero no grave de antracnosis desde mediados de verano en las parcelas de Madrigal de la Vera.

Los resultados de densidad normal de la madera del clon 11 (*P. elongata*) coinciden con los estimados por González et. al., 2003, que calculan valores entre 0.265 - 0.319Kg/dm<sup>3</sup>. para híbridos de *Paulownia elongata x fortunei*. Los contenidos de humedad del fuste y densidad solo pudieron ser medidos para el clon Sun Tzu 11 (*P. elongata*). La humedad varía entre el 36 y 37% y las densidades entre 0.27 y 0.32Kg/dm<sup>3</sup>.



## 6. CONCLUSIONES

- ❖ El recepado de pies con cero savias, a los 20 días de plantación, resultó contraproducente para todos los clones, reduciendo los crecimientos en diámetro y altura del primer año. El ciclo de corta ó recepado con turnos de 3 años de aprovechamiento fue el más óptimo en coincidencia con las referencias bibliográficas.
- ❖ Los crecimientos fueron notablemente menores en parcelas con suelos de texturas areno-francos a arenosos, pobres en nutrientes, acorde con las referencias de Zhu et al., 1986.
- ❖ El clon Sun Tzu 105 (*Paulownia tomentosa*), no se adaptó a las condiciones de ninguna de las parcelas y localizaciones, alcanzando medidas inferiores a 1m. en su primer año y elevados síntomas de clorosis en la finca de Carpio de Tajo.
- ❖ Dentro de un periodo de 4 años, se puede considerar que todos los clones se adaptaron correctamente a las diferentes condiciones de suelo, aguas de riego y clima, mostrando índices de supervivencia superiores al 95%.
- ❖ Las producción de biomasa extrapolados según los resultados de 2011, con planta de 3 savias, según recomendación, no superarían las 5Tn/ha\*año en base húmeda (30%) o 4Tn/ha\*año en base seca. Esto equivaldría a un árbol con medidas biométricas de 137mm de Diámetro del cuello, 87mm de Diámetro a altura del pecho y 73.5dm de altura total en su tercera savia.
- ❖ Las parcelas de Carpio de Tajo, no admitirían turno de corta de más de 3 años, debido a la presencia de importantes reducciones de crecimientos y síntomas de decaimiento asociados a la presencia de fendas de insolación. Esto descarta la opción de producir *Paulownia sp.* para madera. Por otro lado, tanto en las parcelas Carpio de Tajo como en Madrigal de la Vera, no se obtuvieron fustes limpios de más de 3m. de altura, debido a la presencia de pérdidas de guías y formación de bayonetas entre los 2 y 3m. de altura.
- ❖ Los resultados y recomendaciones técnicas derivados del presente ensayo son:



## Ensayo de Plantación de clones de *Paulownia sp.* para la producción de Biomasa en las fincas de Bosques Naturales S.A. 2009-2013

Recomendaciones Técnicas				
Concepto	Finca Carpio de Tajo		Finca Madrigal de la Vera	
	Valores	Unidades	Valores	Unidades
Marco de Plantación	2 x 3 m.		2 x 3 m.	
Densidad	1666 pies/ha		1666 pies/ha	
Plantones	clones Sun Tzu 104, 11 ó 33		clones Sun Tzu 104, 11 ó 33	
Turno de Rotación	3		3	
Ciclos de rebrote	3		4	
Vida Útil	9		12	
Requerimientos Riego	400 mm.		350 mm.	
Fertilización	300 gr./pie 15-5-5		400 gr./pie 15-15-15	
Biomasa base húmeda	5,5 Tn/ha*año		5,5 Tn/ha*año	
Humedad máxima	36,5 %		36,5 %	
Biomasa base seca	4 Tn/ha*año		4 Tn/ha*año	

Cuadro 12. Recomendaciones técnicas para la plantación de clones Sun Tzu de *Paulownia sp.* en las fincas de Bosques Naturales S.A.

- ❖ Los resultados de los estudios económicos indican que, sin contabilizar inversiones en naves e instalaciones de riego, el modelo resulta claramente inviable. Los datos indican que sería necesario que el precio de la biomasa en bruto, secada al aire, supere los 243.8 y 281.8€/Tn, para las localizaciones de Carpio de Tajo y Madrigal de la Vera cuando el precio actual es de 35€/Tn para biomasa bruta secada al aire. Asumiendo incrementos del precio de más del 800%, el modelo recuperaría lo invertido a partir del año 12 o el cuarto ciclo de corta.

Estudio Económico - Finca Carpio de Tajo													
1Ha de <i>Paulownia spp.</i> para biomasa	1º año	2º año	3º año	4º año	5º año	6º año	7º año	8º año	9º año	10º año	11º año	12º año	SubTotal
Costes	Plantones, plantación y coloc. protector	4.792,6 €											
	Tuberías de riego (1 línea) y colocación	3.023,8 €											
	Tractor de viña (2º mano) cada 30ha.	266,7 €											
	Riego (400mm. Año)	54,9 €	75,4 €	75,4 €	54,9 €	75,4 €	75,4 €	54,9 €	75,4 €	75,4 €	54,9 €	75,4 €	75,4 €
	Fertilización (300gr 15-5-5)	110,0 €	110,0 €	110,0 €	110,0 €	110,0 €	110,0 €	110,0 €	110,0 €	110,0 €	110,0 €	110,0 €	110,0 €
	1 aplicación de herbicidas	206,0 €	206,0 €		206,0 €	206,0 €		206,0 €	206,0 €		206,0 €	206,0 €	
	1 pase Desbrozado	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €
	Tratamientos Fitosanitarios (cobre 50%)		25,5 €		25,5 €		25,5 €		25,5 €		25,5 €		25,5 €
	Mantenimiento maquinaria	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €
	Mantenimiento instalaciones	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €
Ingresos	Venta biomasa en bruto (secado al aire 12,5% humedad) producción 4Tn/ha*año peso seco												
Opción 1. 35€/Tn			472,5 €			472,5 €			472,5 €			472,5 €	
Opción 2. 42€/Tn			567,0 €			567,0 €			567,0 €			567,0 €	
Opción 3. 243,8€/Tn			3.291,3 €			3.291,3 €			3.291,3 €			3.291,3 €	
Beneficios	Opción 1. 35€/Tn	-8.550,5 €	-513,5 €	190,5 €	-492,9 €	-488,0 €	165,0 €	-467,4 €	-513,5 €	190,5 €	-492,9 €	-488,0 €	190,5 €
Opción 2. 42€/Tn	-8.550,5 €	-513,5 €	285,0 €	-492,9 €	-488,0 €	259,5 €	-467,4 €	-513,5 €	285,0 €	-492,9 €	-488,0 €	285,0 €	
Opción 3. 243,8€/Tn	-8.550,5 €	-513,5 €	3.009,3 €	-492,9 €	-488,0 €	2.983,8 €	-467,4 €	-513,5 €	3.009,3 €	-492,9 €	-488,0 €	3.009,3 €	

Los costes incluyen la mano de obra asociada pero no los impuestos asociados.  
No se incluyen las inversiones en maquinaria especializada para poder ejecutar las labores correspondientes.

Cuadro 13. Finca "El Soto" - Carpio e Tajo. Estudio Económico para 1Ha. de *Paulownia sp.* destinada a biomasa.

Estudio Económico - Finca Madrigal de la Vera (Aldea Tudal VII)													
1Ha de <i>Paulownia spp.</i> para biomasa	1º año	2º año	3º año	4º año	5º año	6º año	7º año	8º año	9º año	10º año	11º año	12º año	SubTotal
Costes	Plantones, plantación y coloc. protector	4.792,6 €											
	Tuberías de riego (1 línea) y colocación	3.023,8 €											
	Tractor de viña (2º mano) cada 30ha.	266,7 €											
	Riego (350mm. Año)	48,0 €	66,0 €	66,0 €	48,0 €	66,0 €	66,0 €	48,0 €	66,0 €	66,0 €	48,0 €	66,0 €	66,0 €
	Fertilización (400gr, 15-15-15)	289,7 €	289,7 €	289,7 €	289,7 €	289,7 €	289,7 €	289,7 €	289,7 €	289,7 €	289,7 €	289,7 €	289,7 €
	1 aplicación de herbicidas	206,0 €	206,0 €		206,0 €	206,0 €		206,0 €	206,0 €		206,0 €	206,0 €	
	1 pase Desbrozado	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €
	Tratamientos Fitosanitarios (cobre 50%)		25,5 €		25,5 €		25,5 €		25,5 €		25,5 €		25,5 €
	Mantenimiento maquinaria	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €
	Mantenimiento instalaciones	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €
Ingresos	Venta biomasa (secado al aire 12,5% humedad) producción 4Tn/ha*año peso seco												
Opción 1. 35€/Tn			472,5 €			472,5 €			472,5 €			472,5 €	
Opción 2. 42€/Tn			567,0 €			567,0 €			567,0 €			567,0 €	
Opción 3. 281,8€/Tn			3.804,3 €			3.804,3 €			3.804,3 €			3.804,3 €	
Beneficios	Opción 1. 35€/Tn	-8.723,4 €	-683,8 €	20,3 €	-665,8 €	-658,3 €	-5,2 €	-640,3 €	-683,8 €	20,3 €	-665,8 €	-658,3 €	20,3 €
Opción 2. 42€/Tn	-8.723,4 €	-683,8 €	114,8 €	-665,8 €	-658,3 €	89,3 €	-640,3 €	-683,8 €	114,8 €	-665,8 €	-658,3 €	114,8 €	
Opción 3. 281,8€/Tn	-8.723,4 €	-683,8 €	3.352,1 €	-665,8 €	-658,3 €	3.326,6 €	-640,3 €	-683,8 €	3.352,1 €	-665,8 €	-658,3 €	3.352,1 €	

Los costes incluyen la mano de obra asociada pero no los impuestos asociados.  
No se incluyen las inversiones en maquinaria especializada para poder ejecutar las labores correspondientes.

Cuadro 14. Finca Aldea Tudal VII - Madrigal de la Vera. Estudio Económico para 1Ha. de *Paulownia sp.* destinada a biomasa.

- ❖ Los rendimientos deberían de ser superiores a 28 y 33Tn/ha/año en base seca (0.0% de humedad) para las localizaciones de Carpio de Tajo y Madrigal de la Vera respectivamente para que, con un



## Ensayo de Plantación de clones de *Paulownia sp.* para la producción de Biomasa en las fincas de Bosques Naturales S.A. 2009-2013

coste de 35€/Tn de biomasa bruta, el modelo recuperase las inversiones en el año 12 o cuarto ciclo de corta. A partir de este momento y asumiendo siempre rendimientos constantes, el modelo produciría beneficios netos de 2044.6 y 2121.8€/ha cada ciclo de 3 años y durante al menos otros 3 ciclos más de cultivo según las previsiones de Vicedex Europa S.L.

Estudio Económico - Finca Carpio de Tajo - PRODUCCION IDEAL														
1Ha de <i>Paulownia spp.</i> para biomasa	1º año	2º año	3º año	4º año	5º año	6º año	7º año	8º año	9º año	10º año	11º año	12º año	SubTotal	
Costes	Plantones, plantación y coloc. protector	4.792,6 €												
	Tuberías de riego (1 línea) y colocación	3.023,8 €												
	Tractor de viña (2º mano) cada 30ha.	266,7 €												
	Riego (400mm. Año)	54,9 €	75,4 €	75,4 €	54,9 €	75,4 €	75,4 €	54,9 €	75,4 €	75,4 €	54,9 €	75,4 €	75,4 €	
	Fertirrigación (300gr. 15-5-5)	110,0 €	110,0 €	110,0 €	110,0 €	110,0 €	110,0 €	110,0 €	110,0 €	110,0 €	110,0 €	110,0 €	110,0 €	
	1 aplicación de herbicidas	206,0 €	206,0 €		206,0 €	206,0 €		206,0 €	206,0 €		206,0 €	206,0 €		206,0 €
	1 pase Desbrozado	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €
	Tratamientos Fitosanitarios (cobra 50%)	25,5 €			25,5 €			25,5 €			25,5 €			25,5 €
	Mantenimiento maquinaria	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €
	Mantenimiento instalaciones	1,5 €	1,5 €		1,5 €	1,5 €		1,5 €	1,5 €		1,5 €	1,5 €		1,5 €
Ingresos	Venta biomasa en bruto (secado al aire 12,5% humedad) producción 28Tn/ha*año peso seco													
Opción 1. 35€/Tn	-8.550,5 €	-513,5 €	3.307,5 €	-492,9 €	-488,0 €	3.000,0 €	-467,4 €	-513,5 €	3.025,5 €	-492,9 €	-488,0 €	3.025,5 €	69,8 €	
Beneficios Opción 1. 35€/Tn														

Los costes incluyen la mano de obra asociada pero no los impuestos asociados.  
No se incluyen las inversiones en maquinaria especializada para poder ejecutar las labores correspondientes.

**Cuadro 15. Finca "El Soto" – Carpio e Tajo. Estudio Económico con producción ideal para 1Ha. de *Paulownia sp.* destinada a biomasa.**

Estudio Económico - Finca Madrigal de la Vera (Aldea Tudal VII) - PRODUCCIÓN IDEAL														
1Ha de <i>Paulownia spp.</i> para biomasa	1º año	2º año	3º año	4º año	5º año	6º año	7º año	8º año	9º año	10º año	11º año	12º año	SubTotal	
Costes	Plantones, plantación y coloc. protector	4.792,6 €												
	Tuberías de riego (1 línea) y colocación	3.023,8 €												
	Tractor de viña (2º mano) cada 30ha.	266,7 €												
	Riego (350mm. Año)	48,0 €	66,0 €	66,0 €	48,0 €	66,0 €	66,0 €	48,0 €	66,0 €	66,0 €	48,0 €	66,0 €	66,0 €	
	Fertirrigación (400gr. 15-15-15)	289,7 €	289,7 €	289,7 €	289,7 €	289,7 €	289,7 €	289,7 €	289,7 €	289,7 €	289,7 €	289,7 €	289,7 €	
	1 aplicación de herbicidas	206,0 €	206,0 €		206,0 €	206,0 €		206,0 €	206,0 €		206,0 €	206,0 €		206,0 €
	1 pase Desbrozado	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €
	Tratamientos Fitosanitarios (cobra 50%)	25,5 €			25,5 €			25,5 €			25,5 €			25,5 €
	Mantenimiento maquinaria	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €
	Mantenimiento instalaciones	1,5 €	1,5 €		1,5 €	1,5 €		1,5 €	1,5 €		1,5 €	1,5 €		1,5 €
Ingresos	Venta biomasa (secado al aire 12,5% humedad) producción 33Tn/ha*año peso seco													
Opción 1. 35€/Tn	-8.723,4 €	-683,8 €	3.445,9 €	-665,8 €	-658,3 €	3.420,4 €	-640,3 €	-683,8 €	3.445,9 €	-665,8 €	-658,3 €	3.445,9 €	378,7 €	
Beneficios Opción 1. 35€/Tn														

Los costes incluyen la mano de obra asociada pero no los impuestos asociados.  
No se incluyen las inversiones en maquinaria especializada para poder ejecutar las labores correspondientes.

**Cuadro 16. Finca Aldea Tudal VII – Madrigal de la Vera. Estudio Económico con producción ideal para 1Ha. de *Paulownia sp.* destinada a biomasa.**

- ❖ El modelo de cultivo bioenergético propuesto depende fundamentalmente de la producción de biomasa antes que del ajuste de las inversiones en mantenimiento y mano de obra. Así reduciendo niveles de riego, control de la cubierta vegetal y fertilización dentro de un rango técnico aceptable, las producciones mínimas requeridas son de 25 y 28Tn/ha/año para producir beneficios netos a partir del año 12 o cuarto ciclo de corta y recapeado.

Estudio Económico - Finca Carpio de Tajo - CON REDUCCIÓN DE INVERSIÓN														
1Ha de <i>Paulownia spp.</i> para biomasa	1º año	2º año	3º año	4º año	5º año	6º año	7º año	8º año	9º año	10º año	11º año	12º año	SubTotal	
Costes	Plantones, plantación y coloc. protector	4.792,6 €												
	Tuberías de riego (1 línea) y colocación	3.023,8 €												
	Tractor de viña (2º mano) cada 30ha.	266,7 €												
	Riego (350mm. Año)	48,0 €	66,0 €	66,0 €	48,0 €	66,0 €	66,0 €	48,0 €	66,0 €	66,0 €	48,0 €	66,0 €	66,0 €	
	Fertirrigación (300gr. 15-5-5)	110,0 €	110,0 €		110,0 €	110,0 €		110,0 €	110,0 €		110,0 €	110,0 €		110,0 €
	1 aplicación de herbicidas	206,0 €	206,0 €		206,0 €	206,0 €		206,0 €	206,0 €		206,0 €	206,0 €		206,0 €
	1 pase Desbrozado	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €
	Tratamientos Fitosanitarios (cobra 50%)	25,5 €			25,5 €			25,5 €			25,5 €			25,5 €
	Mantenimiento maquinaria	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €
	Mantenimiento instalaciones	1,5 €	1,5 €		1,5 €	1,5 €		1,5 €	1,5 €		1,5 €	1,5 €		1,5 €
Ingresos	Venta biomasa en bruto (secado al aire 12,5% humedad) producción 25Tn/ha*año peso seco													
Opción 1. 35€/Tn	-8.543,7 €	-298,0 €	2.790,6 €	-486,1 €	-272,5 €	2.765,1 €	-460,6 €	-298,0 €	2.790,6 €	-486,1 €	-272,5 €	2.790,6 €	19,4 €	
Beneficios Opción 1. 35€/Tn														

Los costes incluyen la mano de obra asociada pero no los impuestos asociados.  
No se incluyen las inversiones en maquinaria especializada para poder ejecutar las labores correspondientes.

**Cuadro 17. Finca "El Soto" – Carpio e Tajo. Estudio Económico con Ajuste de producción y reducción de inversiones para 1Ha. de *Paulownia sp.* destinada a biomasa.**



Estudio Económico - Finca Madrigal de la Vera (Aldea Tudal VII) - CON REDUCCIÓN DE INVERSIÓN													
1Ha de <i>Paulownia spp.</i> para biomasa	1º año	2º año	3º año	4º año	5º año	6º año	7º año	8º año	9º año	10º año	11º año	12º año	SubTotal
Plantones, plantación y coloc. protector	4.792,6 €												
Tuberías de riego (1 línea) y colocación	3.023,8 €												
Tractor de viña (2º mano) cada 30ha.	266,7 €												
Riego (300mm. Año)	41,1 €	56,6 €	56,6 €	41,1 €	56,6 €	56,6 €	41,1 €	56,6 €	56,6 €	41,1 €	56,6 €	56,6 €	
Fertirrigación (400gr, 15-15-15)	289,7 €	289,7 €		289,7 €	289,7 €		289,7 €	289,7 €		289,7 €	289,7 €		
1 aplicación de herbicidas	206,0 €			206,0 €			206,0 €			206,0 €			
1 pase Desbrozado	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	42,0 €	
Tratamientos Fitosanitarios (cobre 50%)	25,5 €			25,5 €			25,5 €			25,5 €			
Mantenimiento maquinaria	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	53,0 €	
Mantenimiento instalaciones	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	1,5 €	
Ingresos	Venta biomasa (secado al aire 12,5% humedad) producción 28Tn/ha*año peso seco												
Opcion 1. 35€/Tn			3.307,5 €			3.307,5 €			3.307,5 €			3.307,5 €	
Beneficios Opcion 1. 35€/Tn	-8.716,5 €	-468,3 €	3.154,4 €	-658,9 €	-442,8 €	3.128,9 €	-633,4 €	-468,3 €	3.154,4 €	-658,9 €	-442,8 €	3.154,4 €	102,1 €

Los costes incluyen la mano de obra asociada pero no los impuestos asociados.  
No se incluyen las inversiones en maquinaria especializada para poder ejecutar las labores correspondientes.

Cuadro 18. Finca Aldea Tudal VII – Madrigal de la Vera. Estudio Económico con Ajuste de producción y reducción de inversiones para 1Ha. de *Paulownia sp.* destinada a biomasa.

- ❖ Dado que las propiedades de poder calorífico de la mayoría de plantaciones bioenergética son muy similares (18800-19500KJ/Kg), véase Cuadro 3, página 6., las diferencias fundamentales entre cultivos bioenergéticos estriba en los requerimientos, adaptabilidad y fundamentalmente la productividad. En el caso de la *Paulownia sp.*, es interesante considerar dos aspectos:
  - Las inversiones en riego son relativamente menores que otros cultivos lignocelulósicos en la península como *Populus x canadensis*, *Eucaliptus globulus*, *Eucalitus camaldulensis*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila* ó *Casuarina equisetifolia* (Andivia E., Fernández M., Alaejos J., Tapias R., 2013).
  - La baja densidad de la madera de *Paulownia sp.* incrementa los costes de transporte (Marcos F., Latorre B., Izquierdo I., Pascual C., 2009).
- ❖ Los principales cultivos bioenergéticos lignocelulósicos no alcanzan rendimientos medios superiores a 28 Tn/ha/año de biomasa en base seca, lo que supone que para inversiones bajo mínimos técnicos requeridos, ninguna de estas especies generaría modelos rentables. A continuación se muestran referencias bibliográficas sobre rendimientos de las principales especies leñosas cultivadas para biomasa.
  - 12Tn/ha/año en base seca para *Paulownia sp.* en China (Van de Hoef, 2003).
  - 2 a 6Tn/ha/año en base seca en España (Martínez E., Lucas M.E., Andrés M., López F.R., García F.A., Del Cerro A., 2009, 2010), dato último que concuerda con las producciones obtenidas en Carpio de Tajo y Madrigal de la Vera sobre clones de *Paulownia sp.* clones Sun Tzu.





Ensayo de Plantación de clones de *Paulownia* sp. para la producción de Biomasa en las fincas de Bosques Naturales S.A. 2009-2013

- 9 a 11 Tn/ha/año base seca para *Salix viminalis* y *S. dasyclados* en Gran Bretaña (Bullard et. al. 2002a. Wilkinson et. al. 2007)
- 11 - 10.2 Tn/ha/año base seca para *Populus trichocarpa* *Columbia*, *River*, *Fritzi Pauley* y *Trichobel* en Bélgica (Laureysens et al. 2003, 2004)



Ensayo de Plantación de clones de Paulownia sp. para la producción de Biomasa en las fincas de Bosques Naturales S.A. 2009-2013

- 14.07 a 13.59 Tn/ha/año para *Populus trichocarpa* x *deltoides* clones Beaupré y Boleare en Suecia (Telonius 1999).
- 10.7 a 21.7Tn/ha/año en *Populus deltoides* var. Lux a 10000pies/ha en Italia (Bonari et al. 2004).
- 25.5Tn/ha/año base seca en suelos fértiles agrícolas con *Eucaliptus globulus* (Dalianis et al. 1994).
- 8.5 a 16.6 Tn/ha/año en base seca para *Eucaliptus globulus* (Sochacki et al., 2007).
- 16.9Tn/ha/año en base seca de *Ulmus pumila* con 6 ciclos de corta anuales (Geyer, 2006)

---

Con los resultados presentados se da por concluido el ensayo que con título: “*Ensayo de plantación de clones de Paulownia para la producción de Biomasa en las fincas de Bosques Naturales S.A., durante el periodo 2009 - 2013*”, se ha venido desarrollando en las UGF´s de Cáceres y Toledo.

Y para que conste a efectos informativos, se firma y fecha en Alcobendas, Madrid, a 27 de septiembre de 2013.

Fdo. Carlos Alberto Homar Sanchez.  
Departamento de Explotación de Fincas, BNSA.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

Andivia E., Fernández M., Alaejos J., Tapias R., 2013. "Consumo de agua de distintas especies leñosas utilizables como cultivos energéticos". Ref.: 6CFE01-122 S.E.C.F. Junta de Castilla y León.

Baker J., 2006. Paulownia Intercropping in Heze, Shandong Province: Its Past Success, Current Demise and Future Potential. Michigan State University.

Bas Jiménez Francisco, 2013. "Situación Actual del uso de la biomasa en el contexto de las energías renovables". Agencia Andaluza de la energía. Jornadas Sobre el uso de la Biomasa Forestal en Andalucía 21/03/2013.

Clatterbuck W.K., Hodges S.G., 2004. Tree Crops for marginal Farmland: Paulownia. Universidad of Tennessee. Ur Extension PB1465.

El Showk, S. and El-Showk, N. (2003) The Paulownia tree; An alternative for sustainable forestry, Crop Development, Morocco, pp. 1-8.

Gutiérrez Liñán J., Reyes Gama R., Villalobos Delgado M., 2005. "Evaluación del comportamiento y adaptación del árbol de Paulownia elongata en condiciones semiáridas en Zumpango, Estado de México". Revista Universitaria Paraninfo. Pg. 89-94.

Hui-jun J., Ingested T., 1984. Nutrient requirements and stress response of Populus sominii and Paulownia tomentosa. Physiology Plantarum Vol. 62, Issue 2, pg. 117-124.

Jay A. 1998. Paulownia plantation experiences and profitable timber production. Kiri Forest Enterprises Pty. Ltd. Australian Forest Growers Conference Lismore.

Latorre Monteagudo B., Ruano Martínez J., 2009. "Caracterización energética de la biomasa de Paulownia sp. procedente de plántulas cultivadas de una savia". Rev. Ciencia Técnica 3º trimestre 2009. Nº 98 Madrid. pg. 77-82.

Marcos Martín F., Latorre Monteagudo B., Izquierdo Osado I., Pascual Castaño C., 2009. "Estudio de Plantaciones energéticas de Paulownia sp., a turnos muy cortos". Ref.: 5CFE01-611. 5CFE01597 S.E.C.F. Junta de Castilla y León.

Martínez García E., Lucas Borja M.E. Andrés Abellán M., López Serrano F. R., García Morote F. A., Del Cerro Barja S., 2009. "Adaptación de las especies del género paulownia para su uso como cultivos forestales en el ámbito mediterráneo". Ref.: 5CFE01597 S.E.C.F. Junta de Castilla y León.

Martínez García E., Lucas Borja M.E. Andrés Abellán M., López Serrano F. R., García Morote F. A., Del Cerro Barja S., 2010. "Aprovechamiento energético de Paulownia spp. en el ámbito mediterráneo". Rev. Ciencia Técnica 3º trimestre 2010 - Nº102. Pg. 5-10.

Melhuish J.H., Gentry C.E., Beckjord P.R., 1990. Paulownia tomentosa Seedling Growth at Different Levels of pH, Nitrogen and Phosphorus. USDA Forst Service. Rev. J Environ. Hort 8(4):205-207. December 1990. Pg. 205-206.

Navarro M.S, 1998. "Propiedades tecnológicas de las maderas mexicanas de importancia en la construcción". Revista Chapingo, Series Ciencias Forestales, México; 4(1): 221-229.

Ramos J.J., 2011. Cultivos energéticos leñosos para le medio rural de Castilla y León. Asociación Española de Valorización energética de la biomasa - Avebiom.



Ray J.,D., Burgess T., Malajczuk N. and Hardy St. J., 2005. First Report of Alternaria blight of Paulownias pp. Csiro Publishing, Australian Plant Pathology, 34, pg. 107-109.

Ulu F., Çetiner S., Eren N., Ayan S., 2003. Results of the Field Stage in Third Year of Species and Provinces Trials of Paulownia Sieb & Zucc. In Eastern Black Sea Region.

Van de Hoef (2003). Paulownia, Agriculture Notes (AGO778), ISSN 1329-8062, A site in north east Victoria state, Department of Primary Industries, Box Hill, Melbourne, Australia, pg. 1-3.

Vega D.J., Dopazo R., Ortiz L., 2010. "Manual del Cultivos Energéticos". Cátedra ENCE y Universidad de Vigo, Escuela de Ingeniería Forestal. Libro.

Zhu, Z.H., C.J. Chao, X.Y. Lu, X.Y. Gao, 1986. Paulownia in China: Cultivation and Utilization. Asian Network for Biological and International Development Research Centre.

Zhu Zhao-Hua, Chao Ching-Ju, Lu Xin-Yu, Xiaong Yao Gao, 1986: Paulownia in China Cultivation and Utilization, Acamemy of Forestry, Beijing, China; ISBN 9971-84-546-6





## 8.2. MEDICIONES DE BIOMASA (20-12-2011)

Muestra	Medidas Biometricas		Vol [dm <sup>3</sup> ]	Calculo humedad tacos muestra		
				Peso Fresco [gr]	Peso Seco [gr]	Humedad [%]
Clon Sun Tzu 11. Muestra 1	DAP (1,3m.)	87				
	Ht [dm]	67				
	H fuste limpio [dm]	22,5				
	D a 0m. [mm]	127	9,50	677	238	35,16%
	D a 1m. [mm]	92	6,09	340	128	37,65%
	D a 2m. [mm]	84	3,65	221	84	38,01%
	D a 3m. [mm]	51				
	Total Vol. Fuste [dm <sup>3</sup> ]		19,23		Humedad media [%]	36%
	Peso Fresco Fuste [Kg]		17		Densidad en seco [Kg/dm <sup>3</sup> ]	
Peso Freso Ramas [Kg]		10			0,322	
Clon Sun Tzu 11. Muestra 2	DAP (1,3m.)	102				
	Ht [dm]	76				
	H fuste limpio [dm]	20				
	D a 0m. [mm]	141	11,97	870	304	34,94%
	D a 1m. [mm]	105	7,11	465,1	168	36,12%
	D a 2m. [mm]	85	4,85	324,5	137	42,22%
	D a 3m. [mm]	72	1,36	210	89	42,38%
	Total Vol. Fuste [dm <sup>3</sup> ]		25,29		Humedad media [%]	37%
	Peso Fresco Fuste [Kg]		20		Densidad en seco [Kg/dm <sup>3</sup> ]	
Peso Freso Ramas [Kg]		14			0,275	
Clon Sun Tzu 33. Muestra 1	DAP (1,3m.)	87				
	Ht [dm]	73,5				
	H fuste limpio [dm]	20				
	D a 0m. [mm]	137	10,60			#DIV/0!
	D a 1m. [mm]	94	5,76			#DIV/0!
	D a 2m. [mm]	77	3,45			#DIV/0!
	D a 3m. [mm]	55	0,79			#DIV/0!
	Total Vol. Fuste [dm <sup>3</sup> ]		20,60		Humedad media [%]	#DIV/0!
	Peso Fresco Fuste [Kg]		12		Densidad en seco [Kg/dm <sup>3</sup> ]	
Peso Freso Ramas [Kg]		7			#DIV/0!	
Clon Sun Tzu 33. Muestra 2	DAP (1,3m.)	90				
	Ht [dm]	73,5				
	H fuste limpio [dm]	30				
	D a 0m. [mm]	141	11,16			#DIV/0!
	D a 1m. [mm]	96	6,10			#DIV/0!
	D a 2m. [mm]	80	3,82			#DIV/0!
	D a 3m. [mm]	59	0,91			#DIV/0!
	Total Vol. Fuste [dm <sup>3</sup> ]		21,99		Humedad media [%]	#VALOR!
	Peso Fresco Fuste [Kg]		15		Densidad en seco [Kg/dm <sup>3</sup> ]	
Peso Freso Ramas [Kg]		7			#VALOR!	
Clon Sun Tzu 104. Muestra 1	DAP (1,3m.)	125				
	Ht [dm]	91,5				
	H fuste limpio [dm]	30				
	D a 0m. [mm]	174	18,27			#DIV/0!
	D a 1m. [mm]	130	8,52			#DIV/0!
	D a 2m. [mm]	103	7,25			#DIV/0!
	D a 3m. [mm]	89	5,36			#DIV/0!
	D a 4m. [mm]	76	4,08			#DIV/0!
	D a 5m. [mm]	68	1,21			#DIV/0!
Total Vol. Fuste [dm <sup>3</sup> ]		44,69		Humedad media [%]	#DIV/0!	
Peso Fresco Fuste [Kg]		35		Densidad en seco [Kg/dm <sup>3</sup> ]		
Peso Freso Ramas [Kg]		15			#VALOR!	
Clon Sun Tzu 104. Muestra 2	DAP (1,3m.)	93				
	Ht [dm]	77,5				
	H fuste limpio [dm]	27				
	D a 0m. [mm]	132	10,55			#DIV/0!
	D a 1m. [mm]	99	6,52			#DIV/0!
	D a 2m. [mm]	83	4,16			#DIV/0!
	D a 3m. [mm]	62	1,01			#DIV/0!
	Total Vol. Fuste [dm <sup>3</sup> ]		22,23		Humedad media [%]	#VALOR!
	Peso Fresco Fuste [Kg]		15		Densidad en seco [Kg/dm <sup>3</sup> ]	
Peso Freso Ramas [Kg]		7			#VALOR!	





### 8.3. ESTADÍSTICAS

#### Análisis de la varianza

DC 23/09/2009

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
DC 23/09/2009	80	0,33	0,30	40,33

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo.	4955,48	3	1651,83	12,53	<0,0001	
TRATAMIENTO	2508,80	1	2508,80	19,02	<0,0001	
CLON	1134,48	1	1134,48	8,60	0,0044	-0,09
PARCELA	1312,20	1	1312,20	9,95	0,0023	8,10
Error	10022,47	76	131,87			
Total	14977,95	79				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=5,11427

Error: 131,8745 gl: 76

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
Testigo	34,08	40	1,82 A
Recepado 10-jun	22,88	40	1,82 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

HT 23/09/2009

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
HT 23/09/2009	80	0,40	0,37	41,12

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo.	140508,63	3	46836,21	16,58	<0,0001	
TRATAMIENTO	76384,80	1	76384,80	27,04	<0,0001	
CLON	24962,58	1	24962,58	8,84	0,0039	-0,42
PARCELA	39161,25	1	39161,25	13,87	0,0004	44,25
Error	214652,37	76	2824,37			
Total	355161,00	79				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=23,66813

Error: 2824,3733 gl: 76

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
Testigo	160,15	40	8,40 A
Recepado 10-jun	98,35	40	8,40 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

#### Análisis de la varianza

DC 23/09/2009

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
DC 23/09/2009	80	0,39	0,35	38,88

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo.	5786,45	4	1446,61	11,80	<0,0001	
CLON	4474,25	3	1491,42	12,17	<0,0001	
PARCELA	1312,20	1	1312,20	10,71	0,0016	8,10
Error	9191,50	75	122,55			
Total	14977,95	79				

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=6,97387

Error: 122,5533 gl: 75

CLON	Medias	n	E.E.
104,00	34,05	20	2,48 A
11,00	33,40	20	2,48 A
33,00	30,75	20	2,48 A
105,00	15,70	20	2,48 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

HT 23/09/2009

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
HT 23/09/2009	80	0,35	0,32	42,91

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo.	124482,15	4	31120,54	10,12	<0,0001	
CLON	85320,90	3	28440,30	9,25	<0,0001	
PARCELA	39161,25	1	39161,25	12,73	0,0006	44,25



## Ensayo de Plantación de clones de Paulownia sp. para la producción de Biomasa en las fincas de Bosques Naturales S.A. 2009-2013

Error	230678,85	75	3075,72
Total	355161,00	79	

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=34,93693**

Error: 3075,7180 gl: 75

CLON	Medias	n	E.E.	
104,00	150,85	20	12,40	A
11,00	149,20	20	12,40	A
33,00	144,10	20	12,40	A
105,00	72,85	20	12,40	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

### Análisis de la varianza

DC 23/09/2009

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
DC 23/09/2009	80	0,33	0,30	40,33

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo.	4955,48	3	1651,83	12,53	<0,0001	
TRATAMIENTO	2508,80	1	2508,80	19,02	<0,0001	
PARCELA	1312,20	1	1312,20	9,95	0,0023	
CLON	1134,48	1	1134,48	8,60	0,0044	-0,09
Error	10022,4776		131,87			
Total	14977,9579					

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=5,11427**

Error: 131,8745 gl: 76

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
Testigo	34,08	40	1,82	A
Recepado 10-jun	22,88	40	1,82	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=5,11427**

Error: 131,8745 gl: 76

PARCELA	Medias	n	E.E.	
2,00	32,53	40	1,82	A
1,00	24,43	40	1,82	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

HT 23/09/2009

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
HT 23/09/2009	80	0,40	0,37	41,12

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo.	140508,63	3	46836,21	16,58	<0,0001	
TRATAMIENTO	76384,80	1	76384,80	27,04	<0,0001	
PARCELA	39161,25	1	39161,25	13,87	0,0004	
CLON	24962,58	1	24962,58	8,84	0,0039	-0,42
Error	214652,37		2824,37			
Total	355161,00					

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=23,66813**

Error: 2824,3733 gl: 76

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
Testigo	160,15	40	8,40	A
Recepado 10-jun	98,35	40	8,40	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=23,66813**

Error: 2824,3733 gl: 76

PARCELA	Medias	n	E.E.	
2,00	151,38	40	8,40	A
1,00	107,13	40	8,40	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

### Análisis de la varianza

DC\_10-10

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
DC_10-10	128	0,56	0,54	27,45

Datos desbalanceados en celdas.

Para otra descomposición de la SC

especifique los contrastes apropiados.. !!



## Ensayo de Plantación de clones de Paulownia sp. para la producción de Biomasa en las fincas de Bosques Naturales S.A. 2009-2013

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo.	45994,20	6	7665,70	26,03	<0,0001	
PARCELA	9353,98	1	9353,98	31,76	<0,0001	
CLON	36623,31	3	12207,77	41,45	<0,0001	
LOCALIZACION	0,00	0	0,00	sd	sd	0,00
PARCELA*CLON	16,90	2	8,45	0,03	0,9717	
Error	35633,77	121	294,49			
Total	81627,97	127				

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 294,4940 gl: 121

PARCELA	Medias	n	E.E.	
3	78,35	29	3,20	A
1	58,50	99	1,75	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 294,4940 gl: 121

CLON	Medias	n	E.E.	
104	76,93	37	3,19	A
33	75,32	34	3,35	A
11	68,75	30	3,34	A
105	27,04	27	3,32	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 294,4940 gl: 121

PARCELA	CLON	Medias	n	E.E.			
3	105	sd	0	sd	A		
3	104	81,60	10	5,45		B	
3	33	79,44	9	5,74		B	
3	11	74,00	10	5,45		B	C
1	104	72,26	27	3,32		B	C
1	33	71,20	25	3,45		B	C
1	11	63,50	20	3,85			C
1	105	27,04	27	3,32			D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

### DAP\_10-10

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
DAP_10-10	34	0,46	0,39	20,61

Datos desbalanceados en celdas.

Para otra descomposición de la SC

especifique los contrastes apropiados.. !!

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo.	3274,44	4	818,61	6,26	0,0009	
PARCELA	3182,46	1	3182,46	24,33	<0,0001	
CLON	87,94	2	43,97	0,34	0,7173	
LOCALIZACION	0,00	0	0,00	sd	sd	0,00
PARCELA*CLON	4,05	1	4,05	0,03	0,8616	
Error	3794,06	29	130,83			
Total	7068,50	33				

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 130,8295 gl: 29

PARCELA	Medias	n	E.E.	
1	80,67	5	6,72	A
3	51,46	29	2,16	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 130,8295 gl: 29

CLON	Medias	n	E.E.	
105	sd	0	sd	A
104	67,08	13	3,83	B
11	63,58	10	5,31	B
33	63,44	11	4,55	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 130,8295 gl: 29

PARCELA	CLON	Medias	n	E.E.			
3	105	sd	0	sd	A		
1	105	sd	0	sd		B	
1	11	sd	0	sd			C
1	104	80,67	3	6,72			D



## Ensayo de Plantación de clones de Paulownia sp. para la producción de Biomasa en las fincas de Bosques Naturales S.A. 2009-2013

1	33	76,00	2	8,23	D	
3	104	53,50	10	3,68		E
3	33	50,89	9	3,88		E
3	11	50,00	10	3,68		E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

### Ht\_10-10

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ht_10-10	133	0,42	0,39	31,26

Datos desbalanceados en celdas.  
Para otra descomposición de la SC  
especifique los contrastes apropiados.. !!

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo.	11375,05	6	1895,84	15,35	<0,0001	
PARCELA	1337,05	1	1337,05	10,83	0,0013	
CLON	7738,41	3	2579,47	20,88	<0,0001	
LOCALIZACION	0,00	0	0,00	sd	sd	0,00
PARCELA*CLON	2299,58	2	1149,79	9,31	0,0002	
Error	15562,55	126	123,51			
Total	26937,59	132				

### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 123,5123 gl: 126

PARCELA	Medias	n	E.E.	
3	41,56	29	2,07	A
1	32,41	104	1,11	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 123,5123 gl: 126

CLON	Medias	n	E.E.	
104	41,35	40	2,04	A
33	39,85	36	2,15	A
105	38,19	27	2,15	A
11	26,88	30	2,16	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 123,5123 gl: 126

PARCELA	CLON	Medias	n	E.E.	
3	105	sd	0	sd	A
3	104	42,90	10	3,53	B
3	33	41,89	9	3,72	B
3	11	39,90	10	3,53	B
1	104	39,79	30	2,04	B
1	105	38,19	27	2,15	B
1	33	37,81	27	2,15	B
1	11	13,85	20	2,49	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

### DC\_11-12

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
DC_11-12	39	0,09	0,00	21,08

Datos desbalanceados en celdas.  
Para otra descomposición de la SC  
especifique los contrastes apropiados.. !!

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo.	2050,89	4	512,72	0,87	0,4945	
PARCELA	1041,11	1	1041,11	1,76	0,1938	
CLON	293,24	2	146,62	0,25	0,7821	
LOCALIZACION	0,00	0	0,00	sd	sd	0,00
PARCELA*CLON	716,54	1	716,54	1,21	0,2791	
Error	20138,70	34	592,31			
Total	22189,59	38				

### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 592,3146 gl: 34

PARCELA	Medias	n	E.E.	
3	124,18	19	7,57	A
1	107,00	20	10,09	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

### Test:Duncan Alfa=0,05



## Ensayo de Plantación de clones de Paulownia sp. para la producción de Biomasa en las fincas de Bosques Naturales S.A. 2009-2013

Error: 592,3146 gl: 34

CLON	Medias	n	E.E.		
	sd	0	sd	A	
105					
33	121,65	6	11,93		B
104	117,15	16	6,38		B
11	112,78	17	6,00		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 592,3146 gl: 34

PARCELA	CLON	Medias	n	E.E.				
		sd	0	sd	A			
1	105							
3	33						B	
3	105							C
3	104	127,30	10	7,81				D
3	11	113,44	9	8,23				D
1	11	112,13	8	8,73				D
1	33	111,50	6	10,09				D
1	104	107,00	6	10,09				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

### DAP\_11-12

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
DAP_11-12	39	0,04	0,00	19,33

Datos desbalanceados en celdas.

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados.. !!

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo.	346,07	4	86,52	0,33	0,8545	
PARCELA	301,04	1	301,04	1,16	0,2900	
CLON	40,88	2	20,44	0,08	0,9247	
LOCALIZACION	0,00	0	0,00	sd	sd	0,00
PARCELA*CLON	4,15	1	4,15	0,02	0,9003	
Error	8860,33	34	260,60			
Total	9206,40	38				

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 260,5978 gl: 34

PARCELA	Medias	n	E.E.		
	sd	0	sd	A	
3	86,99	19	5,02		A
1	79,75	20	6,69		A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 260,5978 gl: 34

CLON	Medias	n	E.E.		
	sd	0	sd	A	
105					
33	85,31	6	7,92		B
11	83,90	17	3,98		B
104	82,58	16	4,23		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 260,5978 gl: 34

PARCELA	CLON	Medias	n	E.E.				
		sd	0	sd	A			
1	105							
3	33						B	
3	105							C
3	11	87,44	9	5,46				D
3	104	85,40	10	5,18				D
1	33	82,48	6	6,69				D
1	11	80,35	8	5,79				D
1	104	79,75	6	6,69				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

### Ht\_11-12

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ht_11-12	39	0,16	0,06	18,89

Datos desbalanceados en celdas.

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados.. !!

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo.	1002,85	4	250,71	1,63	0,1889	



## Ensayo de Plantación de clones de Paulownia sp. para la producción de Biomasa en las fincas de Bosques Naturales S.A. 2009-2013

PARCELA	628,56	1	628,56	4,09	0,0511	
CLON	356,83	2	178,41	1,16	0,3253	
LOCALIZACION	0,00	0	0,00	sd	sd	0,00
PARCELA*CLON	17,46	1	17,46	0,11	0,7382	
Error	5224,99	34	153,68			
Total	6227,84	38				

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 153,6762 gl: 34

PARCELA	Medias	n	E.E.	
3	71,16	19	3,85	A
1	58,02	20	5,14	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 153,6762 gl: 34

CLON	Medias	n	E.E.	
105	sd	0	sd	A
33	69,39	6	6,08	B
11	67,61	17	3,06	B
104	62,26	16	3,25	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 153,6762 gl: 34

PARCELA	CLON	Medias	n	E.E.					
1	105	sd	0	sd	A				
3	33	sd	0	sd		B			
3	105	sd	0	sd			C		
3	11	73,33	9	4,19				D	
3	104	66,50	10	3,98				D	E
1	33	65,15	6	5,14				D	E
1	11	61,89	8	4,45				D	E
1	104	58,02	6	5,14				D	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

### Medidas resumen

PARCELA	CLON	Variable	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín	Máx	
		<b>Asimetría</b>								
1	11	DC_11-12	8	112,13	21,10	7,46	18,82	83,00	141,00	-
0,24		-1,02								
1	11	DAP_11-12	8	80,35	13,56	4,80	16,88	59,50	102,00	
0,13		-0,32								
1	11	Ht_11-12	8	61,89	10,61	3,75	17,14	47,60	77,50	
0,50		-0,96								
1	33	DC_11-12	6	111,50	24,68	10,08	22,13	90,00	148,00	
0,91		-1,38								
1	33	DAP_11-12	6	82,48	15,56	6,35	18,87	57,40	100,90	-
0,77		0,12								
1	33	Ht_11-12	6	65,15	14,86	6,07	22,80	46,00	88,90	
0,55		0,45								
1	104	DC_11-12	6	107,00	43,61	17,80	40,75	67,00	174,00	
0,88		-0,98								
1	104	DAP_11-12	6	79,75	29,06	11,86	36,43	48,90	125,00	
0,82		-0,67								
1	104	Ht_11-12	6	58,02	22,05	9,00	38,01	36,00	91,50	
0,75		-1,00								
1	105	DC_11-12	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	
sd		sd								
1	105	DAP_11-12	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	
sd		sd								
1	105	Ht_11-12	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	
sd		sd								
3	11	DC_11-12	9	113,44	15,39	5,13	13,56	87,00	132,00	-
0,58		-0,96								
3	11	DAP_11-12	9	87,44	11,82	3,94	13,52	65,00	99,00	-
1,12		0,17								
3	11	Ht_11-12	9	73,33	8,66	2,89	11,81	60,00	90,00	
0,66		0,83								
3	33	DC_11-12	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	
sd		sd								
3	33	DAP_11-12	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	
sd		sd								
3	33	Ht_11-12	0	sd	sd	sd	sd	sd	sd	
sd		sd								
3	104	DC_11-12	10	127,30	16,91	5,35	13,29	97,00	159,00	
0,19		0,87								
3	104	DAP_11-12	10	85,40	10,66	3,37	12,48	70,00	100,00	-
0,31		-1,59								
3	104	Ht_11-12	10	66,50	5,80	1,83	8,72	58,00	75,00	
0,22		-1,29								