2016

PROINNOMADERA

PRODUCTOS INNOVADORES PROCEDENTES DE PLANTACIONES DE MADERA Y ORIENTADOS A MEJORAR LA COMPETITIVIDAD DEL SECTOR VALENCIANO DE LA MADERA Y BIOMASA

Nº Expte: IMAMCC/2016/1
Programa: LÍNEA NOMINATIVA A DISTRIBUIR S8021000. CENTROS TECNOLÓGICOS DE LA COMUNITAT VALENCIANA

Paquete de trabajo 7 – Difusión del proyecto y transferencia de resultados a las PYMEs

Entregable: E.PROINNOMADERA.12 - Ficha técnica resumen de los resultados del proyecto

Breve descripción:
Resumen técnico de los principales resultados alcanzados en el proyecto

Realizado por:
AIDIMME

UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Una manera de hacer Europa

GENERALITAT VALENCIANA

IVACE
INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL

Índice

1. Motivación del proyecto 3
2. Objetivo general 4
3. Objetivos específicos 4
4. Principales resultados obtenidos 5

RESUMEN TÉCNICO DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS ALCANZADOS EN EL PROYECTO

En este proyecto, AIDIMME ha investigado la viabilidad técnica, ecológica y económica de las plantaciones destinadas a madera y biomasa, en el entorno mediterráneo y especialmente en la Comunidad Valenciana. Asimismo, en el proyecto se han desarrollado productos innovadores basados en la madera y biomasa de origen local, mediante la incorporación de nuevos procesos tecnológicos.

Responsable y coordinador técnico del proyecto: Miguel Ángel Abián
Dpto. Tecnología y Biotecnología de la Madera

En diciembre de 2016 ha concluido la segunda y última anualidad del proyecto de I+D **PROINNOMADERA** (Productos innovadores procedentes de plantaciones de madera y orientados a mejorar la competitividad del sector valenciano de la madera y biomasa). Este proyecto ha sido financiado por el **IVACE** (Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial). También ha sido cofinanciado al 50% por el Programa Operativo **FEDER** de la Comunitat Valenciana 2014-2020.

1. Motivación del proyecto

El proyecto partió de la intención de evitar el declive en la Comunidad Valenciana del sector agrícola, cuya falta de rentabilidad ha producido el abandono en muchas zonas de grandes extensiones óptimas para la producción de madera y biomasa (49.000 hectáreas agrícolas se han abandonado en los 3 últimos años). Estas zonas, tanto de secano como de regadío, se encuentran en territorios que atraviesan actualmente por importantes problemas estructurales y productivos, en algunos casos por falta de inversiones y en otros por falta de competitividad.

Mediante el estudio y aprovechamiento de las plantaciones de madera de calidad en la CV, se conseguirá un **aumento significativo de la producción interna de madera y de su valor añadido**, lo que disminuirá las importaciones y mejorará la competitividad de los productos actuales. Asimismo, la posibilidad de obtener madera de calidad de distintas especies facilitará la diversidad de productos requeridos por el sector. Además, la valorización de los residuos biomásicos de las plantaciones ampliará el rango de productos y subproductos obtenido de las plantaciones.

Por otra parte, la madera y biomasa de distintas especies se ha clasificado y ensayado, y basándose en la información obtenida se han propuesto y desarrollado **productos innovadores** mediante la incorporación de nuevas tecnologías en los procesos productivos. Estos productos son viables, de interés para PYMEs valencianas y tienen un elevado grado de innovación, para diferenciarlos de los procedentes de países competidores en productos de bajo coste como China o países del Este de Europa.

2. Objetivo general

El objetivo general del proyecto consistió en determinar y difundir el potencial de las plantaciones de madera y biomasa en la Comunidad Valenciana, así como en desarrollar productos innovadores hechos con la madera producida en las plantaciones a fin de mejorar la competitividad del sector de la madera y biomasa, basándose en los requisitos y necesidades de las PYMEs del sector.

3. Objetivos específicos

Los objetivos específicos del proyecto fueron los siguientes:

a) Estudiar, evaluar y clasificar las plantaciones y masas forestales con fines madereros y biomásicos.
b) Determinar el potencial de las distintas especies de interés en la Comunidad Valenciana mediante estudios de viabilidad económica y medioambiental para el sector agrícola. Obtener y difundir fichas para el cultivo y planificación correcta de las plantaciones.
c) Caracterizar las propiedades de la madera y biomasa procedente de las plantaciones, actualmente poco conocidas en algunos casos.
d) Involucrar a numerosas PYMEs valencianas de los sectores de interés a fin de conocer las necesidades de madera de calidad y los procesos tecnológicos existentes para implementar los productos innovadores.
e) Proponer y definir productos innovadores para cada tipo de plantación, basándose en los requisitos y necesidades de las empresas, la sostenibilidad y la eficiencia energética.
f) Desarrollar prototipos de los productos innovadores.
g) Difundir el proyecto y sus resultados. Transferir los productos desarrollados a empresas de los sectores de interés.

4. Principales resultados técnicos obtenidos

PAQUETE DE TRABAJO 1: ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE PLANTACIONES CON FINES MADEREROS Y BIOMÁSICOS

Tarea 1.1. Estudio del arte sobre especies usadas en plantaciones

Para el estudio del arte sobre especies usadas en plantaciones, se consideraron de interés estas especies/géneros:

- Paulownia (*Paulownia sp.*)
- Chopo (P*opulus sp.*)
- Nogal (*Juglans sp.)*
- Cerezo (*Prunus avium*)
- Fresno (*Fraxinus sp.)*
- Robinia (*Robinia pseudoacacia*)
- Serbal (*Sorbus sp.)*
- Sauce (*Salix sp.)*
- Almez (*Celtis australis*)

A modo de ejemplo del trabajo realizado, se presentan los resultados obtenidos para la paulownia.

1. Introducción

El género *Paulownia* pertenece a la familia *Pauloniaceae*, del orden de las *Lamiales*, subclase *Asteridae*, clase *Magnoliatae*. La familia *Pauloniaceae* se compone especialmente de hierbas, a veces de arbustos y raramente de árboles. Dicha familia comprende alrededor de 190 géneros y más de 4.000 especies de extensa distribución. El género *Paulownia* está presente en China, en el norte y el sur de Laos, y en Vietnam. Históricamente, se ha cultivado en el Asia oriental, sobre todo en Corea y Japón.

Imagen 1. Plantación de Paulownia en Picanya
Fuente: AIDIMME

Este género se compone actualmente de 7 especies aceptadas (*P. fortunei*, *P. australis*, *P. elongata*, *P. tomentosa*, *P. fargesii*, *P. albiphloea* y *P. kawakamii*), de las 26 descritas (http://www.theplantlist.org/tpl/search?q=Paulownia). En la zona anterior tiene un amplio rango de distribución y se pueden encontrar ejemplares hasta a 2.400 m sobre el nivel del mar. La tendencia general es, sin embargo, que la población y variación disminuye con la distancia desde las zonas de los valles centrales y aguas abajo del río Yangtze (Zhao-Hua, 1986).

Actualmente el género *Paulownia* se encuentra presente también en España, Italia, Austria, Turquía, Israel, India, Estados Unidos (Carolina del Sur, Carolina del Norte, California, Kentucky e Indiana), Canadá, México y Brasil. Para proyectos forestales, las especies más utilizadas son *Paulownia elongata*, *Paulownia fortunei* y *Paulownia kawakam*, además de algunos híbridos entre ellas (Lucas *et al*., 2010).

La paulownia (*Paulownia sp.*) da lugar a **árboles de crecimiento extremadamente rápido que llegan hasta los 30 metros de altura**; con troncos de **entre 1,0 y 2,25 metros de diámetro**, de fuste recto, cilíndrico, de color grisáceo, con suaves estrías longitudinales y casi siempre sin nudos. Las ramas son opuestas sin yemas terminales. Asimismo, presentan hojas opuestas de color verde oscuro con un amplio peciolo, ovadas y acorazonadas en la base, enteras y con 3 o 4 lóbulos.

En comparación, por ejemplo, con el pino insigne (*Pinus radiata*), la paulownia crece tres veces más rápido que él, y puede alcanzar en 5 años la misma altura y diámetro que el pino en 15 años.

Imagen 2. Paulownia de 2 años
Fuente: Marcos *et al*. (2009b)

La paulownia se ha adaptado bien a climas como el mediterráneo y algunos tropicales y subtropicales. **En el entorno mediterráneo, la paulownia crece hasta los 1.400 m de altitud, es resistente a plagas y se encuentra relativamente libre de enfermedades.**

La madera de paulownia (a menudo conocida como kiri) es de alta calidad, de color claro, dura pero ligera y de baja densidad (entre 250 y 330 kg/m^3, dependiendo del suelo y de las condiciones de crecimiento del árbol). Para condiciones mediterráneas, la densidad de esta madera es según Fernández (2012) de 297 kg/m^3, valor muy semejante al obtenido por Hakan y Sahin (2009), quienes obtuvieron una densidad de 272 kg/m^3.

La baja densidad de la madera de paulownia se considera una ventaja importante, pues en España es la especie con menor densidad. El chopo (*Populus spp.*) la sigue en ligereza, con densidades que oscilan entre 330 kg/m^3 y 370 kg/m^3, dependiendo de la localidad de procedencia (Jovanovski *et al*., 2011; Díaz *et al*., 2002).

Esta madera tiene una buena resistencia al fuego, dada su baja densidad, pues su temperatura de ignición es de 420-430ºC, cuando las frondosas suelen tener temperaturas de ignición de 220-250ºC.

La baja densidad de esta madera, así como su ausencia de silicatos, hace que se pueda mecanizar y encolar con facilidad. Presenta una estabilidad dimensional excelente; ni siquiera en condiciones de exterior se tuerce, agrieta o deforma, pero es **poco durable frente a termitas y medianamente durable frente a hongos y carcoma.**

Por estas características, la madera de paulownia se emplea sobre todo para fabricar **mobiliario, instrumentos musicales y revestimientos destinados a uso interior** (Oliva *et al*., 2008). Se usa también en carpintería general, armarios, puertas, ventanas, molduras, marcos, embalajes, cajas, parqués, cubiertas de barcos, acabados en aviones, tableros encolados, juguetes y tableros contrachapados ligeros y ultraligeros, así como para la obtención de biomasa (astillas que después se usan para fabricar **biocombustibles sólidos** como pellets y briquetas, o con las que directamente se produce energía térmica o eléctrica), fibra de madera y pulpa para papel. Esta madera es idónea para generar pulpa, pues necesita muy poco blanqueado (López *et al*., 2012).

Debido al rápido crecimiento de la paulownia, la primera cosecha comercial para madera se da **entre los 6 y los 8 años** desde su plantación, frente a los 20 o 25 años que necesitan en general las plantaciones de crecimiento rápido de otras especies.

El rápido crecimiento de la paulownia y las buenas características energéticas de su biomasa (Falasca y Bernabé, 2010) la hacen idónea para cultivos energéticos de rotación corta.

2. La paulownia en España

El primer estudio en España sobre la paulownia lo realizó en 1985 el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA), y en él se analizó la capacidad de germinación de distintos clones de dicha especie (San Miguel, 1985).

Las siguientes plantaciones que se hicieron, según Marcos *et al*. (2009a), continuaron siendo experimentales o de estudio, y tenían como objetivo, por ejemplo, investigar los efectos de la aplicación de fertilizantes sobre la productividad de varias especies de paulownia (Universidad de Extremadura; sede de Plasencia); e investigar la resistencia de la paulownia, frente a diferentes plagas instaladas en las regiones óptimas para el cultivo de la misma (Universidad de Castilla La Mancha).

Las primeras experiencias con cultivos energéticos de paulownia en España están descritas en Latorre y Ruano (1998) y Jiménez *et al*. (2005), si bien los datos eran escasos y no eran contrastables. En cualquier caso, dichos trabajos no aportaban conocimiento científico sobre la influencia del crecimiento de esta especie sobre sus características energéticas.

A partir de 2005 empezaron a surgir **plantaciones experimentales**, como la de la imagen 3, destinadas a la producción de biomasa y a su caracterización energética.

Imagen 3. Plantación experimental de paulownia en Castilla León con cinco meses de edad, antes de realizar el recepe del primer año
Fuente: Lucas *et al*. (2010)

La red más grande hasta la fecha de plantaciones de estudio de paulownia destinada a la producción de biomasa ha sido realizada por la empresa COTEVISA y VICEDEX Europa (imagen 4).

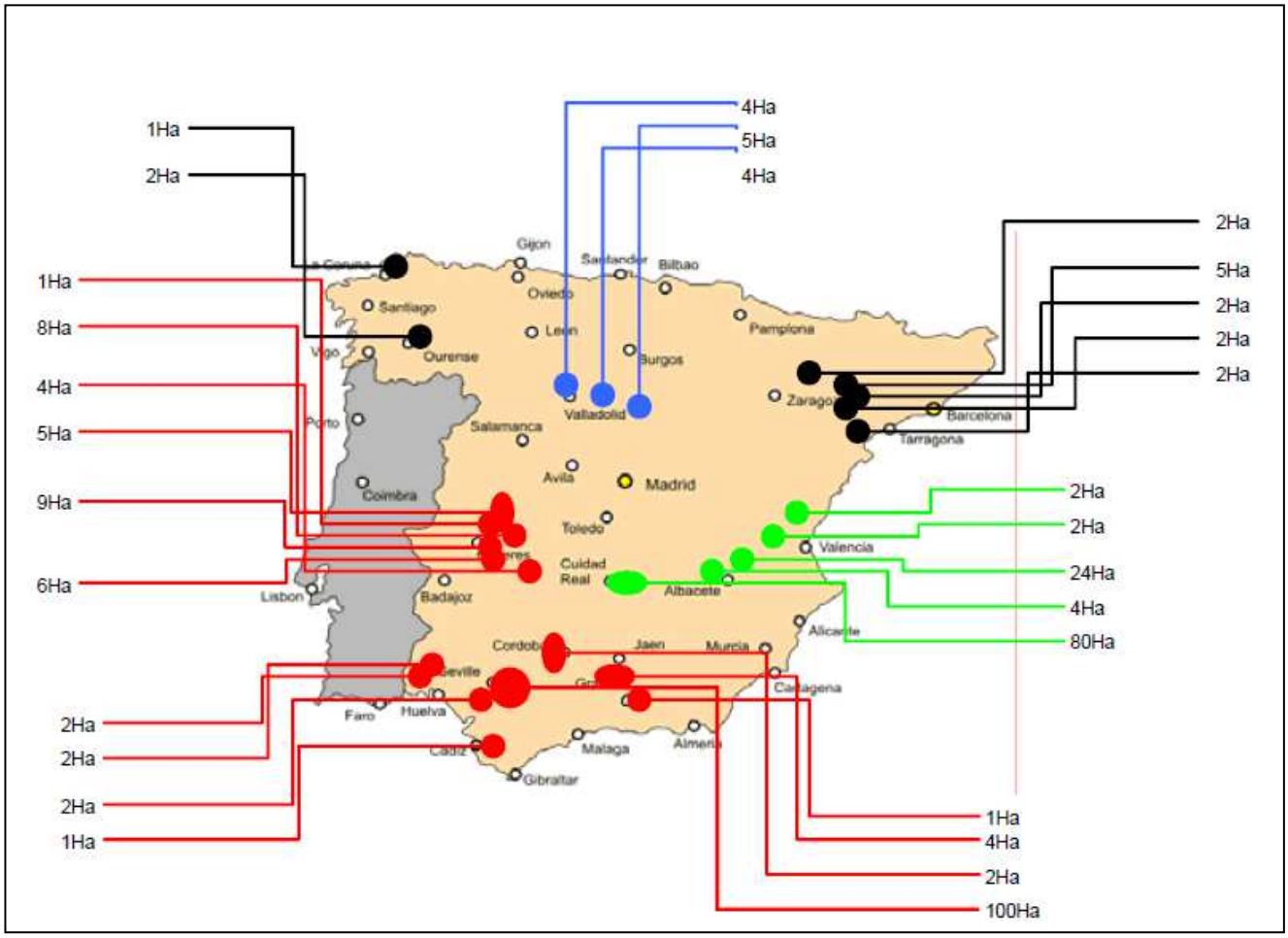


Imagen 4. Plantaciones de estudio de paulownia de COTEVISA y VICEDEX Europa para biomasa en España
Fuente: Kasamaki (2009)

En la **Comunidad Valenciana** existen crecientes proyectos de cultivos de paulownia en crecimiento rápido, sobre todo en tierras agrícolas (Sixto *et al*., 2007), como alternativa a los cultivos tradicionales (principalmente, naranjo, almendro, vid, olivo). Esto ha causado que en los últimos años esta comunidad disponga de viveros especializados.

3. Principales variedades y clones de paulownia presentes en España

Existen diversas especies y híbridos de las mismas, que son comercializados y plantados en España. Dependiendo de las condiciones ambientales del lugar de plantación, los viveristas recomiendan un cultivar u otro. Los que mejores resultados dan son los clones de híbridos seleccionados, ya que mejoran la calidad de la madera y no dan lugar a producción de semilla, que podrían producir la expansión de la especie en zonas no deseadas y conllevar costes indeseados. Algunos de estos clones son los siguientes:

- *Paulownia tometonsa*
- *Paulownia elongata*
- *Paulownia elongata x Paulownia fortunei* COTEVISA 1 ® (COT1)
- *Paulownia elongata x Paulownia fortunei* COTEVISA 2 ® (COT2)

- *Paulownia elongata x Paulownia fortunei* CLON IN VITRO 112 ® (112)
- *Paulownia elongata x Paulownia fortunei* LÉRIDA 1 ® (L1)
- *Paulownia elongata x Paulownia fortunei* CHINO SUN TZU 11® (CHINO11)
- *Paulownia fortunei x Paulownia tometonsa* CHINO SUN TZU 33® (CHINO33)

4. Establecimiento y cultivo de plantaciones de paulownia

4.1. Requisitos en clima y suelo

En general, la paulownia es **resistente al frío**; la especie *Paulownia elongata* y el híbrido *Paulownia fortunei x elongata* son capaces de resistir temperaturas de -20ºC.

Crece en casi todo tipo de suelos, exceptuando aquellos con más del 30% de componente arcilloso y los demasiado rocosos. Se desarrolla mejor en sustratos arenosos con pH de 6 a 7 y donde capa freática esté a más de 2 metros para asegurar el drenaje. Es una planta heliófila; es decir, tiene una gran exigencia de luz y por tanto tolera mal la competencia de la proximidad de otras especies que puedan implicar sombreado en las fases iniciales de la plantación.

Las necesidades hídricas mínimas de la paulownia son de **600-700 mm anuales**. Por tanto, podría considerarse como una especie de baja demanda de agua, a pesar de no crecer en zonas áridas (Caparros *et al*., 2008). Para su cultivo y producción maderera se recomienda al uso de riego principalmente la época vegetativa (4-6 meses) para paliar el déficit hídrico.

En caso de suelos poco apropiados para su desarrollo, con una textura superior a 20% de arcilla, debe añadirse una gran cantidad de materia orgánica y realizar subsuelo a base de arena, grava fina, composta o polvo de piedras.

4.2. Plantación

4.2.1. Elección y preparación del material vegetal

Para las condiciones de la península ibérica se recomienda emplear los clones híbridos COT1, COT2, 112, L1, CHINO11 y CHINO33.

La paulownia no tiene éxito en plantaciones de estaquilla (Izquierdo *et al*., 2013), por lo que deben utilizarse plantas procedentes de vivero.

4.2.2. Densidad, diseño, turno, corta y aprovechamiento

Las plantas de paulownia deben colocarse manualmente en hoyos abiertos antes con retroexcavadora o herramientas manuales, de manera que las dimensiones correspondan aproximadamente a las dimensiones del sistema radicular de la planta (San Miguel, 1985).

La plantación debe efectuarse en primavera o a principios de otoño. Conviene evitar plantar durante aquellos días con riesgo de precipitaciones, viento fuerte o heladas. Una vez terminada la plantación, es muy recomendable **regarla durante los 21 primeros días** para evitar el estrés hídrico y acelerar el establecimiento de las raíces en el suelo. El riego debe realizarse mediante goteo (Martínez *et al*., 2009).

Según AVEBIOM (Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa), debe tenerse en cuenta lo siguiente respecto al riego de la paulownia:

- Riegos excesivos perjudican la planta porque el árbol sufre asfixia radicular.
- Son aconsejables suelos con buen drenaje (por problemas de asfixia radicular) e incluir un sistema de riego por goteo para asegurar la efectividad de aplicación.
- Aplicaciones de riego: entre 2.500 a 3.000 m^3/ha durante la época vegetativa. Lo que equivaldría a unos 250-300 mm de agua de lluvia durante esta época.
- La planta es sensible a condiciones climáticas adversas como calor excesivo y la deshidratación por viento.

De acuerdo con Martínez *et al*. (2009), en condiciones mediterráneas puede realizarse un abonado durante los primeros años, a una dosis aproximada de 400 g/planta del complejo fertilizante NPK 15-15-15.

Según Lucas *et al*. (2010), el marco de plantación es variable en función del objetivo final esperado de la plantación (**producción de madera o biomasa**). En este sentido, recomienda **para biomasa un marco de 3 x 2 metros** (1.666 árboles/ha) e incluso inferior. Para **producción de madera,** recomienda marcos a partir de 3 x 3 metros (1.111 árboles/ha).

López *et al*. (2012) recomienda para las **plantaciones destinadas a pulpa para papel**, un marco similar al de las plantaciones destinadas a biomasa (**3 x 2 metros**: 1.666 árboles/ha).

Pero en la actualidad se ha visto que para alcanzar las dimensiones de madera aptas para la industria **son recomendables marcos de 5x4** (500 árboles/ha), **6x4** (417 árboles/ha) **e incluso superiores** en los años anteriores a la corta (8-10 años). Por lo que se puede plantar a un marco inferior a de la corta final y realizando una corta intermedia o plantar a un marco ya final de corta.

En los primeros años de crecimiento recomienda conveniente eliminar los brotes laterales cada dos o tres semanas (podas de guiado), hasta una altura de 5-5,5 metros, con el objetivo de obtener un fuste libre de nudos.

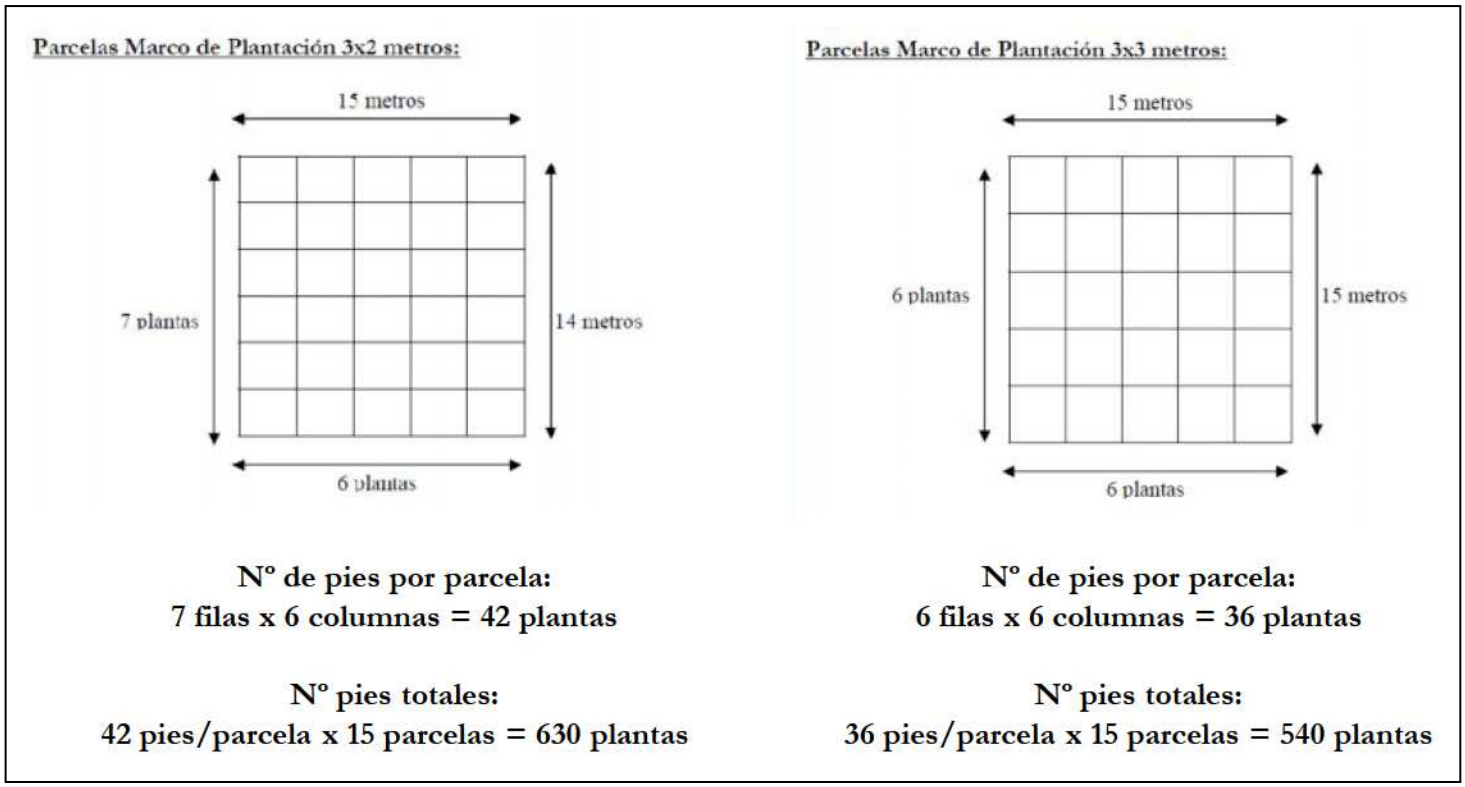


Imagen 5. Esquema de los dos marcos de plantación recomendados
Fuente: Martínez *et al*. (2009)

Imagen 6. Podas de guiado en una plantación de paulownia
Fuente: Lucas *et al*. (2010)

El **proyecto europeo PROFORBIOMED** (Promoción de la biomasa forestal residual en la cuenca mediterránea; 2011-2014) tuvo como objetivo promover las energías renovables en las zonas MED (Mediterráneo europeo). En el proyecto participaron la **Generalitat Valenciana** (Servicio de Ordenación y Gestión Forestal. Dirección General del Medio Natural. Consejería de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente), el **Ayuntamiento de Enguera** y el **Instituto de Fomento de la Región de Murcia**. En dicho proyecto se dieron las siguientes directrices para los cultivos energéticos de paulownia:

- Turnos cada 2 o 3 años.
- Densidad de plantación de 1.600 plantas/hectárea, con un marco de plantación de 3 x 2 m.
- Podas de guiado cada 6-8 meses, pues interesa que los ejemplares crezcan en altura y desarrollen troncos de diámetro elevado.

Siguiendo estas recomendaciones, se obtuvieron en algunas plantaciones experimentales rendimientos anuales de **30-50 toneladas de biomasa seca/hectárea**.

Según AVEBIOM, las fases del aprovechamiento de las plantaciones de pawlonia son las siguientes:

- Corte: mediante procesadora forestal.
- Retirada del material: Se saca el material mediante tractores autocargadores y se transporta a un centro de astillado con camión.
- Astillado: mediante astilladora cerca de la planta.
- Carga y transporte: se carga el camión mediante pala cargadora y transporte a planta.

La paulownia rebrota después del apeo 3 veces, en caso de turnos de 6-7 años (para producción de madera), o bien 6 o 7 veces en turnos de 3 años (para producción de biomasa), antes de que su rendimiento decaiga significativamente (Marcos *et al*., 2009a). Por lo tanto, la vida media de la plantación es de **18-21 años** antes de que deba ser replantada.

Según varias fuentes consultadas por AIDIMA (por ejemplo, BIOPLAT-Plataforma Tecnológica Española de la Biomasa y la empresa valenciana COTEVISA), en condiciones de la península ibérica, con un marco de plantación de 5 x 4 m o de 6 x 4 m, un árbol de paulownia produce 1 m^3 de madera a los 8-10 años de plantación, y por lo expuesto antes pueden conseguirse hasta 3 m^3 en 25 años sin necesidad de volver a plantar. Esto sitúa la producción en cada corte en aproximadamente **420-500 m^3/hectárea**.

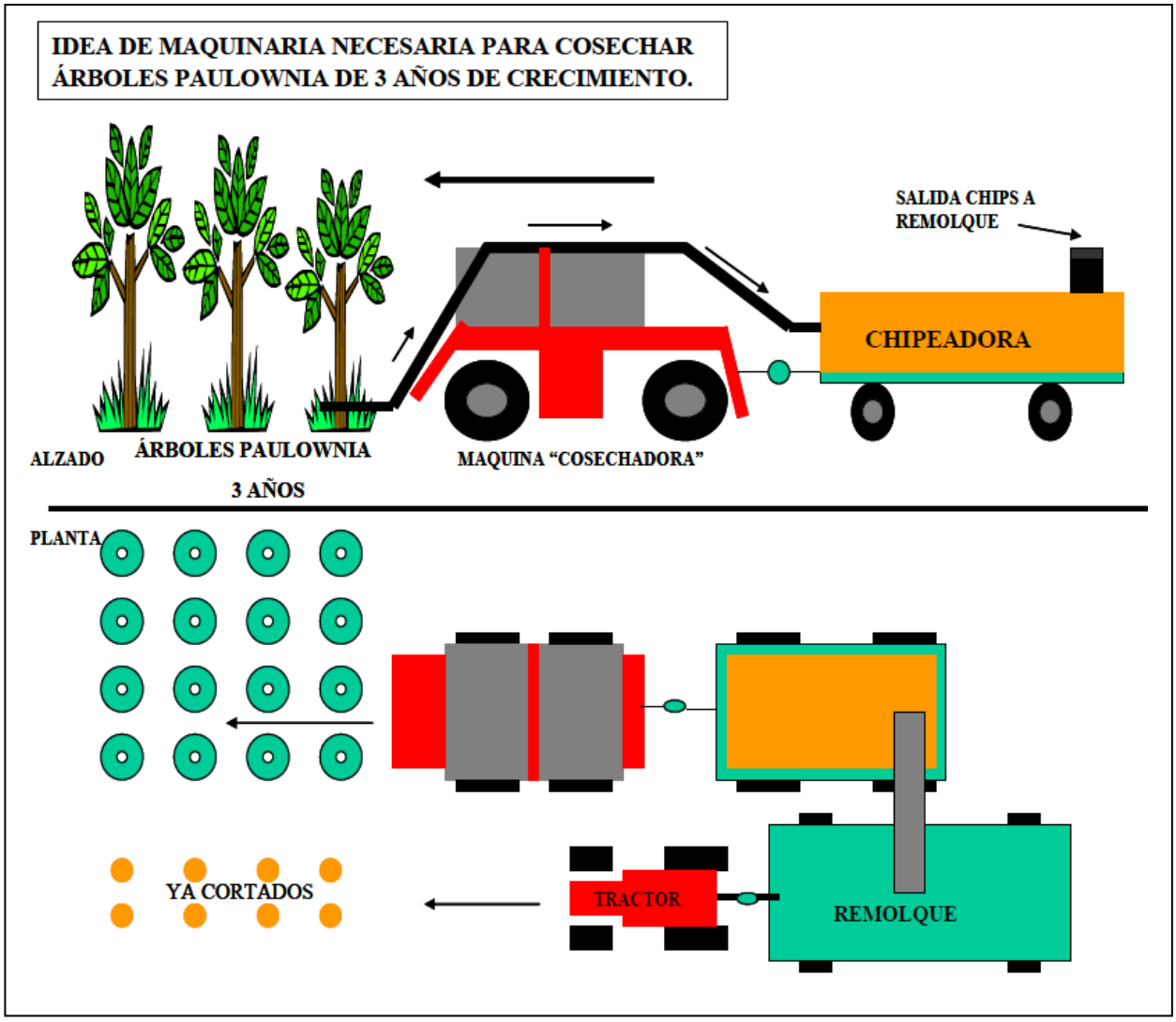


Imagen 7. Propuesta de maquinaría para cosechar especímenes de paulownia de 3 años
Fuente: AVEBIOM

Tarea 1.2. Estudio del arte de uso de la madera y biomasa procedente de plantaciones

El estudio del arte sobre el uso de la madera y biomasa procedente de plantaciones se realizó para todas las especies/géneros seleccionados en la tarea 1.1.

A modo de ejemplo del trabajo realizado, se presentan los resultados obtenidos para la paulownia.

1. Plantaciones de paulownia en España

A partir de 2005 empezaron a surgir **plantaciones experimentales** destinadas a la producción de biomasa y a su caracterización energética.

En la **Comunidad Valenciana** existen crecientes proyectos de cultivos de paulownia en crecimiento rápido, sobre todo en tierras agrícolas (Sixto *et al*., 2007), como alternativa a los cultivos tradicionales (naranjo, almendro, vid, olivo. Esto ha causado que en los últimos años esta comunidad disponga de en los últimos años a disponer de viveros especializados. Por ejemplo, existen pequeñas plantaciones en la Canal de Navarrés (Enguera, Navarrés, etc.) la Ribera Alta y Ribera Baixa (Alzira, Sueca, Turis), l'Horta (Picanya), los Serranos (Villar del Arzobispo) siempre sobre terrenos de aptitud agrícola.

Sobre todo en la **Comunidad Valenciana y en Cataluña** existen pequeñas plantaciones de paulownia pertenecientes a pequeños propietarios. Éstas deben considerarse de carácter experimental, pues son muy recientes y se desconoce aún la cantidad de madera y biomasa que se obtendrá de ellas, y por tanto su rentabilidad y viabilidad.

Las plantaciones de paulownia en altas densidades y de corta rotación (en inglés, SRF o *Short Rotation Forestry*), destinadas a la producción de biomasa energética, son de momento en España, experimentales, si bien ya ha habido experiencias casi industriales. A continuación se refieren algunas experiencias destacables.

Una experiencia corresponde al **proyecto europeo PROFORBIOMED** (Promoción de la biomasa forestal residual en la cuenca mediterránea; 2011-2014), en el cual participaron la **Generalitat Valenciana** (Servicio de Ordenación y Gestión Forestal. Dirección General del Medio Natural. Consejería de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente), el **Ayuntamiento de Enguera** y el **Instituto de Fomento de la Región de Murcia**.

En el marco de PROFORBIOMED, se realizaron en la Comunidad Valenciana varios ensayos de este tipo de cultivos usando diversos clones del género paulownia y en diferentes ubicaciones de la provincia de Valencia (Requena, La Yesa, Enguera y Alzira) y en la de Albacete.

En la siguiente tabla se indican los distintos clones y los marcos de plantación ensayados para las localizaciones valencianas.

Área	Material vegetal	Marco de plantación
Vivero de La Yesa	Paulownia (Cotevisa2)	5 x 5
	Paulownia (L-1)	
	Paulownia (X-1)	
	Paulownia (Cotevisa1)	
Alzira Vivero de la Garrofera	Paulownia (Cotevisa2)	3 x 2
	Paulownia (China-33)	
	Paulownia (Usa)	
Enguera Monte "La Matea"	Paulownia (Cotevisa2)	4 x 2
Requena Monte "La Herrada"	Paulownia (Cotevisa2)	4 x 4

Tabla 1. Clones y los marcos de plantación ensayados para las localizaciones valencianas
Fuente: Documentación en línea del proyecto europeo PROFORBIOMED (http://proforbiomed.eu)

En los ensayos se trató de la implantación de diferentes variedades e híbridos clonales de paulownia, dispuestos en marcos de plantación diferentes y aplicando diferentes volúmenes de riego y unidades fertilizantes distintos. Así, se determinaron los valores limitantes y óptimos para cada clon, y se obtuvieron patrones de comportamiento y esquemas a seguir en plantaciones. Se verificó que los clones de *Paulownia sp.* son, en general, de **muy rápido crecimiento**, y muy recomendables para recuperar antiguos espacios agrícolas abandonados, como en donde están enclavadas las parcelas de la provincia de Valencia.

Por lo tanto, el uso de la paulownia en la Comunidad Valenciana ofrece un **posible nuevo uso de los terrenos agrícolas abandonados**, uso este apoyado por la idoneidad de los clones estudiados tanto para cultivos energéticos como para aprovechamiento maderero. Además, el uso de plantaciones de paulownia tiene la ventaja añadida de su posible empleo como **cortafuegos natural** en los incendios forestales.

Estos resultados deberán complementarse en el futuro con estudios que permitan desarrollar proyectos agroforestales con variedades y clones concretos en los cuales se haya evaluado su uso. En la actualidad se continúan tomando datos en las citadas localizaciones y se está ampliando la superficie de experimentación, por lo que con los años el volumen de datos exponencialmente, lo que aportará una fuente de conocimiento para las futuras plantaciones.

En el **proyecto europeo LIFE+ ECOGLAUCA ERGON** (http://www.life-ecoglauca.eu), que actualmente se desarrolla a la vez en **siete municipios valencianos**, coordinados por el Ayuntamiento de Enguera, se han realizado varias plantaciones de paulownia con el clon híbrido COTEVISA 2® del híbrido *Paulownia fortunei x elongata* El objetivo principal de este proyecto, que comenzó en octubre de 2014 y finalizará en diciembre de 2017, se basa en la demostración del aprovechamiento de la biomasa procedente

de nuevos cultivos energéticos en zonas de cultivo actualmente abandonadas. De esta forma se pretende contribuir a la promoción del desarrollo rural y, además, contra la erosión que se produce en terrenos baldíos.

Las plantaciones de paulownia se encuentran en Valle de Ayora, Enguera, Fontanars dels Alforins, Bolbaite, Llosa de Ranes, Genovés Villanueva de Castellón y Navarrés. Hasta ahora no existen resultados de las plantaciones, pues se realizaron a finales de 2014. Aunque el fin de estas plantaciones es la recuperación de zonas agrícolas o degradadas para producir biomasa, en el último trimestre de 2015 comenzaron a colocarse panales de miel en las citadas plantaciones, a fin de estudiar el aprovechamiento apícola de la paulownia en proceso de floración. La miel obtenida por el momento ha resultado de buena calidad, y en 2016 los investigadores del proyecto quieren analizar y caracterizar el polen y la miel de la paulownia.

El proyecto más cerca de la industria relativo a paulownia para biomasa parte de una propuesta de la empresa RWE Innogy Iberia para una **planta de generación eléctrica** en Escúzar (Granada) de 15.000 kWh, de la que el 60% (74.582 toneladas) de su materia prima procederá de plantaciones de chopo y paulownia. Se plantaron experimentalmente **235 hectáreas** de paulownia en Villamartín (Cádiz) con la intención de probar su viabilidad como futuro biocombustible en la planta proyectada. Las características de la plantación fueron las siguientes:

- **Características técnicas**
  - Superficie: 235 ha
  - Especie: Paulownia
  - Clon: Sun Tzu 11 (CHINO11)
- **Diseño**
  - Plantación de plantones: junio 2009
  - Marco plantación: 3 x 2 m
  - Densidad 1.660 pies/ha
  - Recepado: abril 2010
  - Riego y fertilización: por goteo
  - Turno de corta: 3 años; 7 turnos

Imagen 8. Plantación de paulownia en Villamartín (Cádiz). 24.000 plantas (15 hectáreas/día)
Fuente: AVEBIOM

Imagen 9. Plantación de paulownia en Villamartín (Cádiz). 1 semana de vida. Fuente: AVEBIOM

Imagen 10. Plantación de paulownia en Villamartín (Cádiz). 1 mes de vida Fuente: AVEBIOM

Imagen 11. Plantación de paulownia en Villamartín (Cádiz). 1 año de vida
Fuente: AVEBIOM

En los próximos años se prevé conseguir rendimientos de entre **30-40 toneladas/hectárea/año de biomasa suficientemente seca**. Esto significa que una hectárea de la plantación de Villamartín producirá entre 90 y 120 toneladas cada 3 años.

2. Paulownia para la industria de la madera y papel

2.1. Usos de la pawlonia en la industria de la madera y papel

Según Zhao-Hua *et al*. (1986), en condiciones normales a 10 años de edad, la paulownia alcanza un volumen de **0,3 a 0,5 m^3/árbol**, y en condiciones óptimas, este volumen lo alcanza en 5 o 6 años.

Otros autores, como Hakan y Sahin (2009) señalan que cada árbol de paulownia puede llegar a producir 1 m^3 de madera útil cada 5 o 7 siete años, si los árboles no están plantados demasiado juntos. Un chopo, en cambio, precisa unos 12 años para producir ese volumen útil de madera.

En condiciones de la península ibérica, con un marco de plantación de 5 x 4 m o de 6 x 4 m, un árbol de paulownia produce 1 m^3 de madera a los 8-10 años de plantación, y por lo expuesto antes pueden conseguirse hasta 3 m^3 en 25 años sin necesidad de volver a plantar. Esto sitúa la producción en cada corte en aproximadamente **420-500 m^3/hectárea**.

La madera de paulownia (a menudo conocida como kiri) es de alta calidad, de color claro, dura pero ligera y de baja densidad (entre 250 y 330 kg/m^3, dependiendo del suelo y de las condiciones de crecimiento del árbol). Para condiciones mediterráneas,

la densidad de esta madera es según Fernández (2012) de 297 kg/m^3, valor muy semejante al obtenido por Hakan y Sahin (2009), quienes obtuvieron una densidad de 272 kg/m^3.

Este tipo de madera emplea sobre todo (Oliver *et al*., 2008) para fabricar **mobiliario, instrumentos musicales y revestimientos destinados a uso** interior. Se usa también en carpintería general, armarios, puertas, ventanas, molduras, marcos, embalajes, cajas, parqués, juguetes, cubiertas de barcos, acabados en aviones, y tableros encolados o contrachapados ligeros o ultraligeros, así como para la obtención de fibra de madera y pulpa para papel (López *et al*., 2012).

Imagen 12. Tablero contrachapado de paulownia
Fuente: Paulownias en Galicia

Imagen 13. Tablero alistonado de paulownia
Fuente: http://www.diytrade.com/

Imagen 14. Tableros contrachapados de paulownia
Fuente: Paulownias en Galicia

Imagen 15. Ventana de madera de paulownia
Fuente: Paulownias en Galicia

La paulownia es de mucho interés para fabricar pulpa, pues su madera tiene (López *et al*., 2012) un porcentaje de celulosa de entre el 46% y el 49%; de hemicelulosa pentosano entre el 22% y el 25%; y de lignina en torno al 21-23%. Además, requiere muy poco blanqueado.

2.2. Precio de la madera de la paulownia y rentabilidad de las plantaciones de paulownia para madera

No existe todavía un mercado nacional para la madera de paulownia. Los precios pueden oscilar según las fuentes consultadas entre los **50 y 110 € el m^3 de madera en pie,** dependiendo de la calidad, longitud de los troncos y otros factores como la accesibilidad a la finca y la distancia entre ella y el comprador.

Según algunas fuentes consultadas por AIDIMA, el precio real pagado para madera del clon COT2 de producción nacional, rondaba en 2012 los 60-70 €/ por m^3 en pie. El destino también puede influir en el precio final, siendo diferente si se vende para madera aserrada o para desenrollo. El precio es más elevado si el fin es para madera (con diámetros de tronco de 50 cm) que si es para desenrollo (diámetros a partir de 30 cm).

La empresa **Gexbioma** (http://www.gexbioma.com/) propone un borrador de estudio económico para el cultivo de paulownia para madera (tabla 2), en el que considera 1 hectárea, considerando un precio de la madera de paulownia de 80 €/m^3 contabilizando los costes de corta como de 12 €/m^3, pero no los costes de transporte a la industria. La rentabilidad de las plantaciones de paulownia destinadas a madera de calidad resulta similar a la de las plantaciones de frondosas nobles. Es decir: son una inversión rentable, con **tasas internas de rendimiento en torno al 5–7%** (Coello *et al*., 2009).

Borrador de estudio económico de cultivo de Paulownia para MADERA — **1 Ha**

Costes implantación del cultivo

Superficie: 1 Ha

Concepto	Uds	Precio (€/ud)	Total
Preparación del terreno	1	500	500,00 €
Plantas (4x4)	625	2,1	1.312,50 €
Plantación	625	0,5	312,50 €
Instalación de riego	1	1500	1.500,00 €
		Total costes de implantación	3.625,00 €

Costes de mantenimiento anual de la plantación

Concepto	Uds	Precio (€/ud)	Total
Riego	2000	0,15	300,00 €
Fertilización	1	200	200,00 €
Laboreo	1	100	100,00 €
		Total costes de mantenimiento anual	600,00 €
		Vida útil de la plantación (años)	21
		Total costes de mantenimiento	12.600,00 €

Costes de cosecha

Rendimiento 16 T/Ha.año δ=290 Kg/m3

Concepto	Toneladas	Precio (€/T)	Total
Tala (cada 7 años)	112	12	1.344,00 €
			3
		Total costes de cosechas	4.032,00 €

*No se han tenido en cuenta costes de transporte

Rendimientos del cultivo 55 (m3/Ha.año)

Producción total de madera (m3)	1155
Precio de la madera para MADERA* (€/m3)	80,00 €
*Precio de mercado actual	
Ingresos totales de la plantación	92.400,00 €
Beneficios totales de la plantación	72.143,00 €

Tabla 2. Borrador de estudio económico para el cultivo de paulownia para madera
Fuente: Gexbioma

3. Pawlonia para biomasa

3.1. Introducción

La paulownia es capaz de producir anualmente entre **35 y 45 toneladas y por hectárea de biomasa aprovechable suficientemente seca** (en plantaciones de 1.600 plantas/hectárea), aunque en las mejores condiciones en territorio español puede llegar a superar las **60 toneladas**.

Con un nivel de humedad en torno al 30%, la biomasa de paulownia tiene un poder calorífico próximo a 3.000 kcal/kg, y si está absolutamente seca se aproxima a 4.500 kcal/kg.

Imagen 16. Pellets (biocombustible sólido) de paulownia
Fuente: Paulownias en Galicia

Los biocombustibles sólidos (pellets y briquetas) se producen a partir de las astillas de la paulownia.

Según una nota de prensa de IPROCOR (http://www.energias-renovables.com/articulo/nuevo-intento-de-promover-la-paulonia-como), el proyecto singular y estratégico **On-CULTIVOS** (2005-2012) no situó a la paulownia entre las plantas más eficaces para la producción de biomasa, tras varios años de experimentación que incluyeron trabajos en una finca en Valtierra (Navarra). On-CULTIVOS fue un Proyecto Singular y Estratégico (PSE) para el desarrollo, demostración y evaluación de la viabilidad de la producción de energía en España a partir de biomasa de cultivos. Fue financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia y en él participaron empresas, universidades, centros de investigación y otras entidades.

Igualmente, según esa nota de prensa, en las jornadas “Los agroenergéticos como alternativa de cultivo en la Serranía de Cuenca en Ribatajada (Cuenca)”, algunos representantes de la empresa valenciana COTEVISA (http://www.cotevisa.com/) explicaron que, para la zona de Cuenca, el cultivo de rotación corta de la paulownia no

parecía la alternativa óptima, ya que es más viable como rotación larga con vistas a la producción de madera.

Dicha conclusión coincide con la comunicada a AIDIMA por la empresa GEXBIOMA (http://www.gexbioma.com/) de que la rentabilidad de la paulownia para madera es relativamente más alta que para biomasa, si bien el plazo de la recuperación de la inversión en el caso de la madera es superior.

3.2. Caracterización de la biomasa de paulownia

El trabajo más amplio relacionado con la caracterización energética de la biomasa generada por la paulownia fue realizado conjuntamente por el Departamento deI+D+i, de los laboratorios de Comercial y Técnica de Viveros (COTEVISA) y VICEDEX Europa; los análisis energéticos los realizó el Centro de Investigaciones, Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

La biomasa que se analizó provino de varias plantaciones localizadas en la Comunidad Valenciana, Madrid y Extremadura (imagen 10). Estas plantaciones pertenecen a una red de plantaciones de estudio de paulownia (imagen 11). Las muestras de madera procedieron de los clones *Paulownia tomentosa* y *Paulownia elongata x fortunei*, que son los mejor adaptados a las anteriores zonas geográficas.

Imagen 17. Ubicación de los cultivos energéticos ensayados. Izda: Valencia (Instituto Valenciano Investigaciones Agrarias); dcha: E. T. S. I. Montes (U.P.M) de Madrid
Fuente: Marcos *et al*. (2009b)

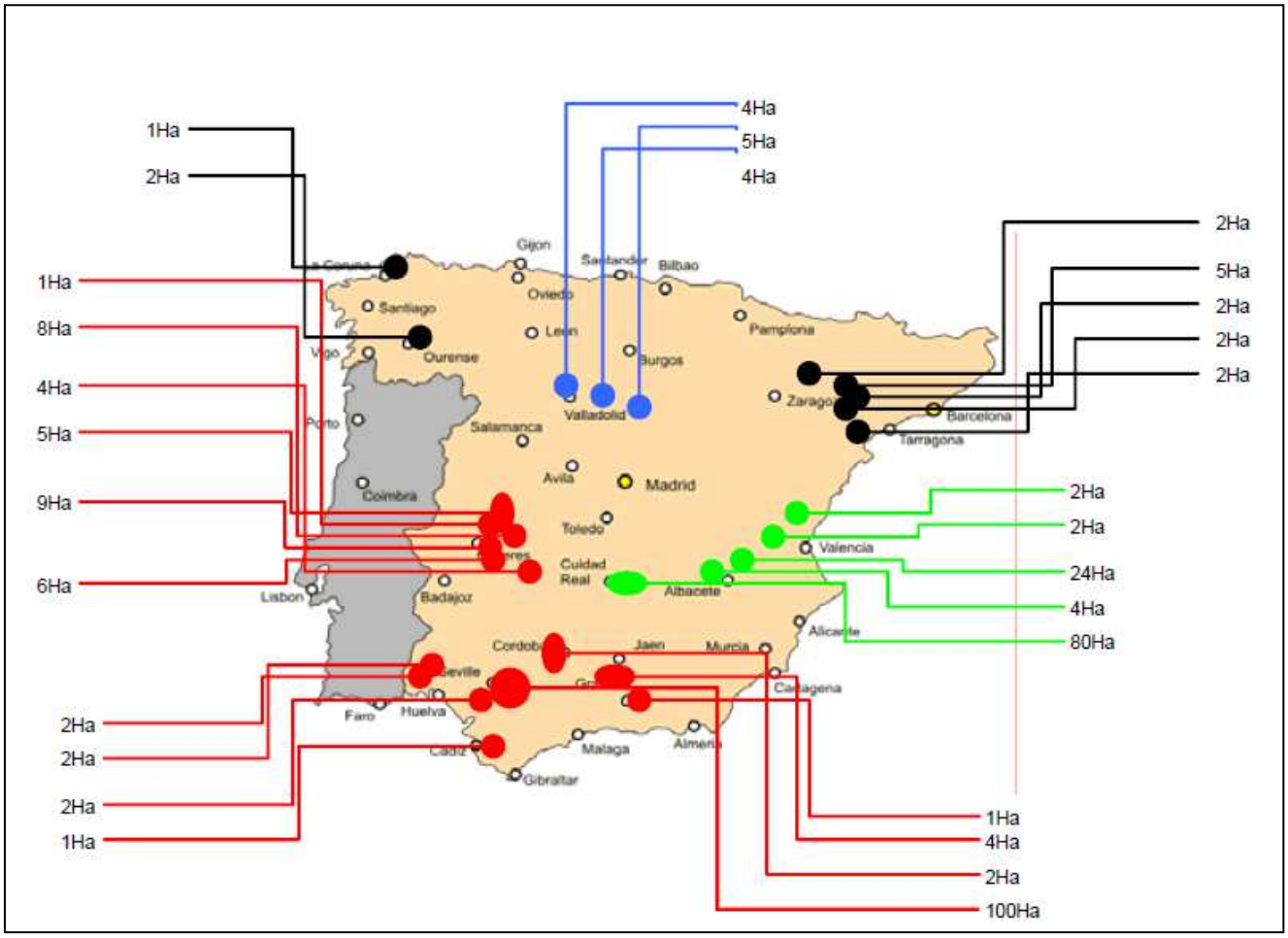


Imagen 18. Plantaciones de estudio de paulownia de COTEVISA y VICEDEX Europa para biomasa
Fuente: Kasamaki (2009)

El porcentaje de cenizas de la biomasa se muestra en la siguiente tabla.

	% Cenizas
Paulownia tomentosa	2,88
Paulownia elongata x fortunei	1,12

Tabla 3. Porcentaje de cenizas en residuos después de la combustión
Fuente: Marcos *et al*. (2009b)

La siguiente tabla expone los valores obtenidos para el poder calorífico superior anhidro y el poder calorífico inferior.

	P. C. Inferior (humedades indicadas, base seca) kJ/kg		PCSo kJ/kg	
	Madera	Corteza	Madera	Corteza
P. tomentosa	16.636 (9,9)	16.758 (11,4)	19.895	20.034
P. elongata x fortunei	15.961 (9,7)	16.447 (9,2)	19.558	19.881

Tabla 4. Poder calorífico superior anhidro y el poder calorífico inferior
Fuente: Marcos *et al*. (2009b)

Las principales conclusiones de Marcos *et al*. (2009b) fueron las siguientes:

- El poder calorífico inferior obtenido para los clones ensayados se sitúa en orden de magnitud media con respecto a biomasa proveniente de otras especies consideradas bioenergéticas.
- La cantidad de residuos generados tras la combustión es muy bajos, por lo que el rendimiento y vida útil de las calderas no se verán afectados por las cenizas originadas, las cuales contienen elementos corrosivos (cloratos y carbonatos).
- La densidad de la madera es baja, y alcanza valores inferiores a los asociados a la biomasa de chopo o pino; en consecuencia, los costes asociados al transporte serán altos. Esto es un inconveniente para el uso energético de la biomasa de la paulownia. Con todo, los resultados son alentadores.

3.3. Rentabilidad de las plantaciones de paulownia para biocombustibles

Actualmente, según los proveedores consultados por AIDIMME, el precio de venta de la biomasa de paulownia ronda entre los **10 y 60 €/T**, dependiendo de la humedad que contiene la madera, si esta en forma de tronco y ramas o ya astillada, y si esta en campo o consideramos el transporte hasta fabrica.

La paulownia al tener poca densidad, la cantidad de agua en verde es muy elevada, por lo que las toneladas en verde son muchos mayores que si la madera está seca. Así, en campo, las toneladas de ramas o madera destinada a biomasa, pueden alcanzar precios de 10-20 euros tonelada en verde. Y alcanzar precios a pie de planta, astillada y seca (20-30% humedad) de 60 €/T.

Este precio, frente al precio pagado por el pino astillado, 100-110 €/T, es un precio competitivo dadas las condiciones de la madera de paulownia, baja densidad y valores de ceniza superiores al pino.

Aun así, hay que resaltar que las plantaciones destinadas a biomasa conllevan unos costes de producción que deben de estudiarse para tener clara la viabilidad de las mismas. Y estudiar la viabilidad de plantaciones mixtas para madera y biomasa, que pueden dar mayores rentabilidades y gestionarse según las necesidades mercado.

La empresa **Gexbioma** (http://www.gexbioma.com/) propone un borrador de estudio económico para el cultivo de paulownia para biomasa (tabla 5), en el que considera 1 hectárea.

Borrador de estudio económico de cultivo de Paulownia para biomasa — **1 Ha**

Costes implantación del cultivo

Superficie: 1 Ha

Concepto	Uds	Precio (€/ud)	Total
Preparación del terreno	1	500	500,00 €
Plantas (2x3)	1600	2,1	3.360,00 €
Plantación	1600	0,5	800,00 €
Instalación de riego	1	1500	1.500,00 €
Total costes de implantación			6.160,00 €

Costes de mantenimiento anual de la plantación

Concepto	Uds	Precio (€/ud)	Total
Riego	2000	0,15	300,00 €
Fertilización	1	200	200,00 €
Laboreo	1	100	100,00 €
Total costes de mantenimiento anual			600,00 €
Vida útil de la plantación (años)			21
Total costes de mantenimiento			12.600,00 €

Costes de cosecha

Concepto	Toneladas	Precio (€/T)	Total
Tala + astillado	840	20	16.800,00 €
(7 ciclos de 3 años x 40 T/año)			
Total costes de cosechas			16.800,00 €

*Transporte a planta no incluido

Rendimientos del cultivo	40	(T/Ha.año)
Producción total de madera (Toneladas)		840
Precio de la madera para biomasa* (€/T) (*Astillada, a pie de planta y 30% de humedad)		60,00 €
Ingresos totales de la plantación		50.400,00 €
Beneficios totales de la plantación		14.840,00 €

Tabla 5. Borrador de estudio económico para el cultivo de paulownia para biomasa
Fuente: Gexbioma

Bibliografía consultada para la paulownia (Paulownia sp.)

- **Caparros, S.; Díaz, M.J.; Ariza, J.; López, F.; Jiménez, L.** New perspectives for *Paulownia fortunei* L. valorisation of the autohydrolysis and pulping processes. Bioresource Technology, 99: 741-749. 2008

- Coello Gómez, J.; Piqué Nicolau, M.; Vericat, P. Guia pràctica per a la producció de fusta de qualitat: plantacions de noguera i cirerer – aproximació a les condicions catalanes. Centre de la Propietat Forestal, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de Catalunya. 2010

- **Díaz, B.J.; Luna, L.; Keil, G.D.; Otaño, M.E.; Peri, P.L.** Tratamiento de la madera de *Populus nigra* CV. *Italica* ante la preservación con creosota y CCA. Investigaciones Agrarias y Sistemas Forestales, 11(2):325-338. 2002

- **Falasca, S.; Bernabé, M.** Aptitud agroclimática argentina para la implantación de bosques energéticos de *Paulownia spp*. Revista Geográfica, 148: 151-164. 2010

- **Fernández Puratich, H.** Valorización integral de la biomasa leñosa agroforestal a lo largo del gradiente altitudinal en condiciones mediterráneas. Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales. UPV. Valencia. 2012

- **Hakan Akyildiz, M.; Sahin Kol, H.** Some technological properties and uses of paulownia (*Paulownia tomentosa* Steud.). Wood Journal of Environmental Biology, 31: 351-355. 2009

- **Izquierdo Osado, I.; Latorre Monteagudo, B.; Marcos Martín, F.; Pascual Castaño, C; Falcón Roque, E.** Balances energéticos y de CO2 en cultivos energéticos forestales VI Congreso Forestal Español. 2013

- **Jiménez, L.; Rodríguez, A.; Ferrer, J.L.; A Pérez, A.; Ángulo, V.** Paulownia, a fast growing plant, as a raw material for paper manufacturing. Afinidad, 62(516):100-105. 2005

- **Jovanovski, A.; Robles, G.; y Davel, M.** Propiedades físicas de la madera de *Populus spp.* proveniente de cortinas forestales plantadas en Esquel, Chubut, Argentina. Jornadas de Salicáceas. Neuquén, Argentina. 2011

- **Kasamaki, P.** Cultivos energéticos. *Paulownia* para biomasa. Jornada sobre cultivos energéticos leñosos organizada por ADABE y ESCAN. Madrid. 2009

- **Latorre, B.; Ruano, R.** Estudio de producción de la especie *Paulownia* con fines bionergéticos ymadereros. Trabajo Final de Carrera. UPV. Valencia. 2008

- **López, F.; Pérez, A.; Zamudio, M.A.M.; De Alva, H.E.; García, J.C.** Paulownia as Raw Material for Solid Biofuel and Cellulose Pulp. Biomass and Bioenergy, 45: 77-86. 2012

- **Lucas, M.E., Martínez, E.; García, F.A.; López F.R.; Andrés, M.; Candel, D.; Cerro Barja.** El cultivo de Paulonia (*Pawlonia elongata x fortunei*) para la obtención demadera y biomasa en Castilla-La Mancha: Primeros resultados. Foresta, 47/48: 106-110. 2010

- **Marcos Martín, F.; Latorre Monteagudo, B.; Izquierdo Osado, I.; Pascual Castaño, C.** Estudio de plantaciones energéticas de PAULOWNIA SP. a turnos muy cortos. V Congreso Forestal Español. 2009

- **Marcos Martín, F.; Latorre Monteagudo, B.; Izquierdo Osado, I.; Pascual Castaño, C.** Uso energético de la Paulownia en España. Agricultura: Revista agropecuaria, nº 917: 272-274. 2009

- **Martínez García, E.; Lucas Borja, M.E.; Andrés Abellán, M.; López Serrano, F.R.; García Morote, F.A; Del Cerro Barja, A.** Adaptación de las especies del genero paulownia para su uso como cultivos forestales en el ámbito mediterráneo. V Congreso Forestal Español. 2009

- **Oliva, J.V.; Soriano, E.; Verhaeghe, G.; Santos, C.** Manual de plantación de maderas nobles: establecimiento, gestión y control de la calidad de la madera. AIDIMA (Instituto Tecnológico del Mueble, Madera, Embalaje y Afines). 2008

- **San Miguel, A.** Germinación, siembra, producción de plantitas, estaquillado y crecimiento de *Paulownia tomentosa* (Thumb) Steud. Comunicaciones INIA. Serie: recursos naturales. Nº 37. 1985

- **Sixto Blanco, H.; Hernández Garasa M.J; Barrio Martínez, M.; Carrasco García, J.E.; Cañellas Rey de Viñas, I.** Plantaciones del género *Populus* para la producción de biomasa con fines energéticos: revisión. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, 16(3): 277-294. 2007

- **Zhao-Hua, Z.; Yao Guo, X.; Xin-Yu, L.** *Paulownia* in China: cultivation and utilization. The Chinese Academy of Forestry. Beijing. 1986

- Fichas y documentos públicos del proyecto europeo PROFORBIOMED (http://proforbiomed.eu):
  - http://proforbiomed.eu/es/proyecto
  - http://proforbiomed.eu/sites/default/files/files/newsletter1_es_opt.pdf
  - http://proforbiomed.eu/newsletter-proforbiomed-2-january-2013
  - http://proforbiomed.eu/newsletter-proforbiomed-3-april-2013-0
  - http://www.proforbiomed.eu/sites/default/files/Newsletter_4.pdf
  - http://www.proforbiomed.eu/sites/default/files/NL_5_0.pdf
  - http://www.proforbiomed.eu/sites/default/files/Newsletter_PROFORBIOMED-n6_0.pdf
  - http://www.proforbiomed.eu/sites/default/files/Design%20forest%20methodology_EN.pdf
  - http://www.proforbiomed.eu/sites/default/files/_Forest%20management%20France.zip

- Fichas y documentos públicos del proyecto europeo ECOGLAUCA ERGON (http://www.life-ecoglauca.eu):
  - http://www.life-ecoglauca.eu/wp-content/files_mf/1445017847FICHASPARCELASWEB_03.pdf
  - http://www.life-ecoglauca.eu/las_parcelas/enguera/
  - http://www.life-ecoglauca.eu/las_parcelas/fontanars-dels-alforins/
  - http://www.life-ecoglauca.eu/las_parcelas/bolbaite/
  - http://www.life-ecoglauca.eu/las_parcelas/llosa-de-ranes/
  - http://www.life-ecoglauca.eu/las_parcelas/genoves/
  - http://www.life-ecoglauca.eu/las_parcelas/villanueva-de-castellon/
  - http://www.life-ecoglauca.eu/las_especies/ulmus-pumila/
  - http://www.life-ecoglauca.eu/las_especies/paulownia-fortunei-x-elongata/
  - http://www.life-ecoglauca.eu/las_especies/robinia-pseudoacacia/
  - http://www.life-ecoglauca.eu/las_especies/populus-deltoides/
  - http://www.life-ecoglauca.eu/wp-content/files_mf/1442946043PaulowniafortuneixelongataWEB.pdf

PAQUETE DE TRABAJO 2: RECOPILACIÓN EN CAMPO DE INFORMACIÓN SOBRE LAS PLANTACIONES ACTUALES EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

Tarea 2.1. Desarrollo de la metodología de toma de datos y análisis en campo de plantaciones

En base a la bibliografía consultada y las localizaciones encontradas se seleccionaron distintas zonas de estudio representativas para cada una de las plantaciones, dependiendo de las distintas condiciones ambientales y climáticas de cada región dentro la Comunidad valenciana.

Se propusieron distintas variables para la toma de los datos relevantes de cada especie, a fin de obtener suficiente información para determinar la viabilidad de las plantaciones. A su vez, dependiendo de cada plantación se determinó un número mínimo de parcelas de toma de datos y su superficie de la siguiente forma:

- Mínimo 3 parcelas por plantación, con las siguientes premisas:
  - Plantaciones de 1-2 ha: 3 parcelas
  - Plantaciones 2- 5 ha: 2 parcelas/ha
  - Plantaciones 5-10 ha: 1,5 parcelas/ha
  - Plantaciones >10 ha: 1 parcela/ha
- Parcela: de 20x20 metros. Situada en medio de la calle, y haciendo la parcela paralela y perpendicular a la línea de plantación.

Las variables medidas en campo fueron las siguientes:

- **Diámetros:** diámetro a la altura del pecho (DAP), diámetro en la base del tronco (DB) y diámetro a la atura libre de ramas del fuste (DF)
- **Alturas:** Altura del árbol (para obtener la altura dominantes de la masa) y altura libre de ramas (donde se mide el diámetro y puede cubicarse el tronco).
- **Marco de plantación:** da información sobre el espacio ocupado por cada árbol y permite obtener así el volumen total por plantación.
- **Edad del arbolado.**
- **Enfermedades presentes.**
- **Tipología de suelo.**
- **Labores culturales y silvícolas.**
- **Tipología de riego** (goteo o a manta).

Con estos datos se obtuvieron distintas variables de crecimiento y volumen maderable y biomásicos. Estos datos servirán para los paquetes de trabajo siguientes, y quedan reflejados en la fichas de plantación.

Tarea 2.2. Trabajo de campo. Toma de datos y muestras de distintas plantaciones

Basándose en los resultados de la tarea anterior, se visitaron distintas plantaciones de la Comunidad Valenciana para recoger la información y las muestras necesarias para en el PT3 disponer de suficiente información al respecto.

Las plantaciones visitadas se ubican en:

- Turís (paulownia)
- Picaña (paulownia)
- Navarrés (paulownia)
- Sinarcas (nogal)

De cada una de estas parcelas se realizó una ficha descriptiva con los datos tomados y con los correspondientes datos estadísticos calculados después. A continuación se muestra una de las fichas, correspondiente a una parcela de paulownia en Turís.

Localización	Turís	Cultivo/ especie	Paulownia
Nº parcelas	**6**		
Carácter. arbolado			
Clon	COT2		
Año plantación	2013		
Edad arboles (años)	2		
Recepe (años)	si (1)		
Marco plantación (m)	4,5x5 (444,5 a/ha)		
Carácter. parcela			
Superficie (ha)	6		
Altitud (m)	225		
Terrazas	si		
Orientación	S		
Carácter. suelo-riego			
Tipología	agrícola		
Riego	a goteo		
Prof. suelo	alta		
Datos producción			
Destino	madera		
diámetro medio (DN, cm)	12,05		
Altura fuste (HF, m)	3,96		
Altura árbol	7,63		
Volumen medio por árbol (m^3)	0,0461		
Volumen maderable (m^3/ha)	20,48		

Mapa situación

Tabla 6. Ficha de plantación de Turís de paulownia de 2 años de edad
Fuente: Elaboración propia de AIDIMME

Imagen 19. Plantación de paulownia estudiada (Picaña)

Imagen 20. Plantación de paulownia estudiada (Picaña)

Imagen 21. Medición mediante forcípula del diámetro de una paulownia en la plantación de Picaña. El ejemplar tiene 3 años.

Imagen 22. Medición mediante forcípula del diámetro de una paulownia en la plantación de Picaña. Tiene un diámetro de 38,1 cm.

Imagen 23. Medición mediante forcípula del diámetro de una paulownia en la plantación de Picaña. El ejemplar es un recepe de 2 años.

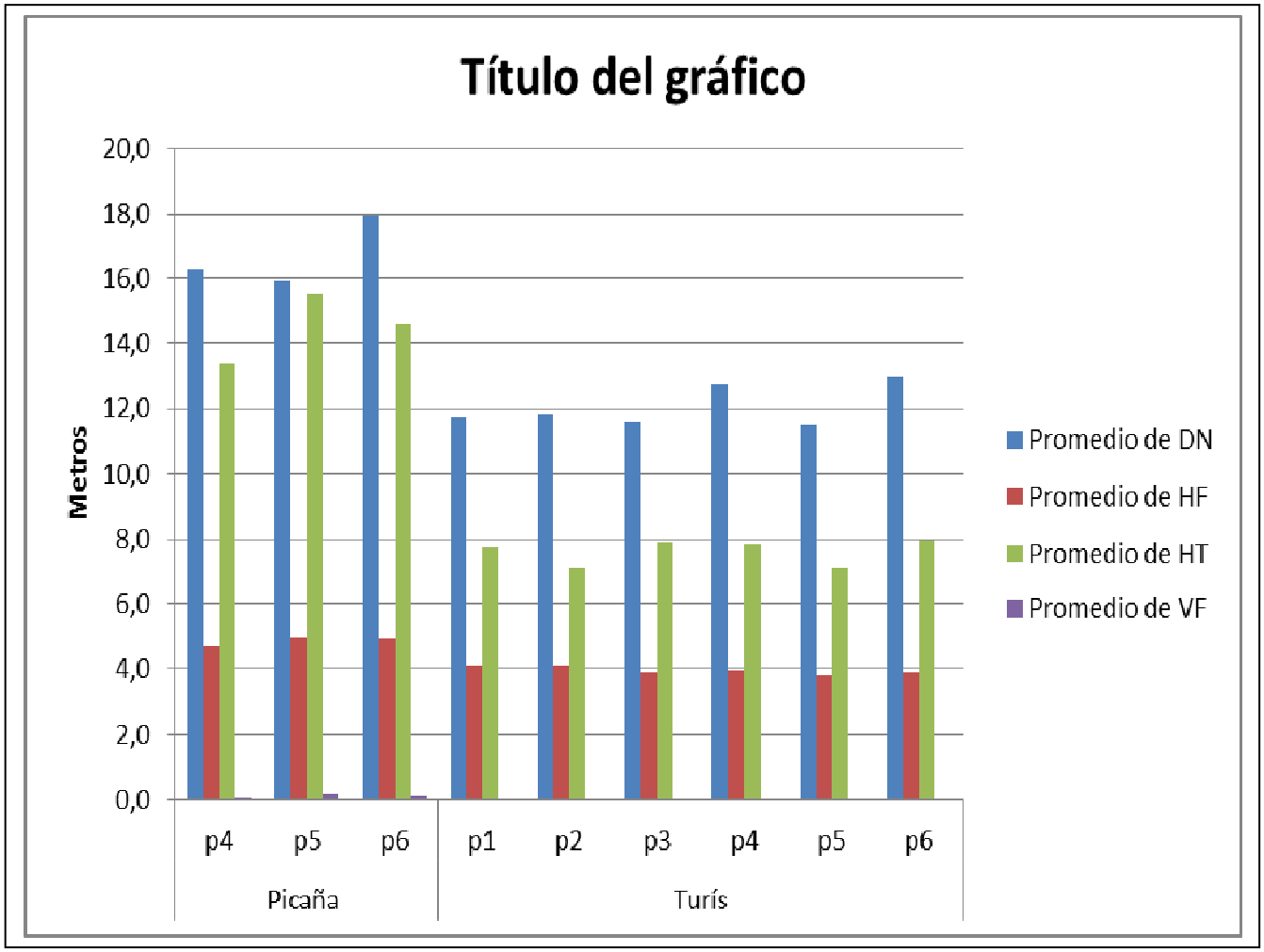
Imagen 24. Plantación de paulownia estudiada (Navarrés). Tiene una extensión aproximada de 4-5 hectáreas, y los árboles tienen una edad media de 6-7 años.

Imagen 25. Medición mediante forcípula del diámetro de una paulownia en la plantación de Navarrés. El ejemplar es un recepe de 2 años.

Imagen 26. Medición mediante forcípula del diámetro de una paulownia en la plantación de Navarrés. Tiene un diámetro de 32,7 cm.

Se muestrearon las plantaciones anteriores y se tomaron datos para evaluar la producción y la viabilidad ambiental, y también muestras para caracterizar en el futuro la madera y la biomasa (PT4).

A modo de ejemplo, se exponen gráficamente los resultados promedios de las variables dendrométricas de interés para las plantaciones de Picaña y Turís (gráfica 1).



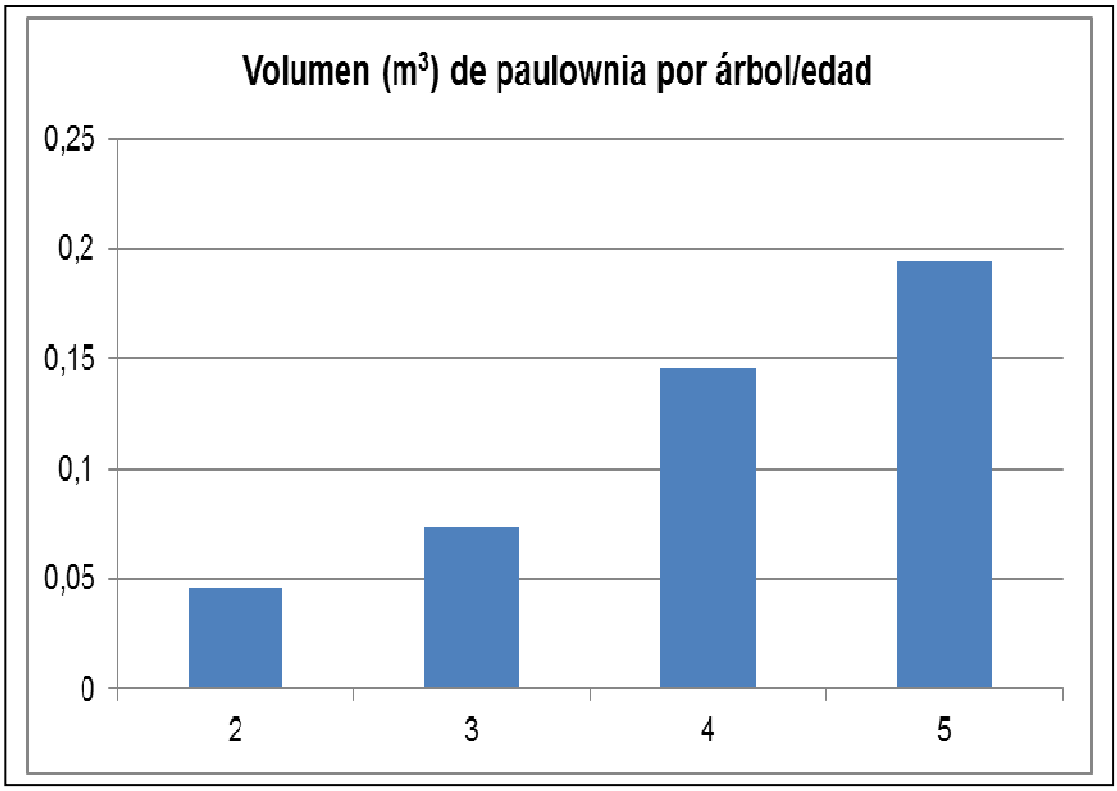
Gráfica 1. Datos promedios obtenidos para las parcelas de las plantaciones de Picaña y Turís. DN o DPA: diámetro normal o diámetro a la altura del pecho (cm); HF: altura del fuste (m); HT: altura total del árbol (m); VF: volumen del fuste (m^3).

La siguiente tabla muestra los datos promedios de altura de fuste (HF), diámetro normal o a la altura del pecho (DN/DPA), volumen y altura total (HT) en función de la altura de los árboles de paulownia de las dos plantaciones citadas antes.

Edad (años)	Altura fuste o HF (m)	Diametro normal o DN/DPA (cm)	Volumen (m^3) por árbol	Altura árbol o HT (m)
2	4,0	11,8	0,046	7,629166667
3	4,7	13,5	0,074	13,4
4	4,9	18,4	0,145	14,6
5	5,0	22,0	0,194	15,525

Tabla 7. Datos promedios de altura de fuste (HF), diámetro normal o a la altura del pecho (DN/DPA), volumen y altura total (HT) en función de la altura de los árboles de paulownia de las plantaciones de Picaña y Turís.

La gráfica que viene a continuación muestra los datos promedios de volumen por árbol en función de la edad, para las plantaciones de Picaña y Turís.



Gráfica 2. Volumen promedio de la paulownia en función de la edad del árbol, para las plantaciones de Picaña y Turís.

PAQUETE DE TRABAJO 3: ESTUDIO DEL POTENCIAL DE LAS DISTINTAS ESPECIES PRESENTES EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

Tarea 3.1. Cálculo de la producción de madera y biomasa. Análisis de la viabilidad de las especies de interés

En esta tarea se analizaron los datos obtenidos en los PT1 y PT2 y se realizaron distintos estudios para obtener la posible producción de madera y biomasa de calidad y determinar la viabilidad económica y medioambiental de las especies estudiadas en campo y las posibles según la bibliografía.

A partir de los datos de volúmenes y edades de las plantaciones, se evaluó la producción de madera y biomasa por año. Además se consideraron los costes de producción por árbol y hectárea. Con estos datos y el precio actual de la madera y biomasa de las distintas especies se analizó el rendimiento y por tanto la viabilidad de éstas en las distintas condiciones que pueden encontrarse en la Comunidad Valenciana.

Con toda la información obtenida se prepararon fichas de las posibles especies idóneas para la Comunidad Valenciana basándose en la información recogida en campo, de los suelos, el clima y los cuidados de cultivo idóneos para cada especie tanto de aquellas presentes en la Comunidad Valenciana como en otras regiones de la península. También se determinaron aquellas variedades de las especies más adecuadas al entorno mediterráneo.

A continuación, a modo de ejemplo, se muestra una de las fichas realizadas.

Robinia

Nombre científico	*Robinia pseudoacacia*

Árbol de hoja caduca originario de EEUU. Naturalizada-invasora. Actualmente poco empleada en plantaciones.

Requerimientos

Suelo	Indiferentes, drenados, Profundidad suelo> 35 cm. PH 5-8
Clima	Resistente al frio y la calor. Precipitación >400 mm
Fisiología	Especie heliófila, pero que crece mejor en zonas con precipitación entre 700-1500mm.

Observaciones: Tolera los suelos pobres y es resistente al frío y a la falta de agua. Pero prefiere zonas de ribera.

Carácter. Silvícolas

Crecimiento	Medio-rápido
Marcos plantación	Desde 1x1,5(biomasa) 3x2, 3x3 (biomasa/madera) hasta 5x5 (madera).
Turnos	3 años (biomasa)/ >25 años (madera)

Observaciones: especie de fácil establecimiento y pueden encontrarse plantas de vivero lista para plantar.

Uso

Madera	Muebles, madera de exterior y parquets (densidad 720-800 hg/m^3)
Biomasa	Tiene una calidad media alta en cuanto a las propiedades

Observaciones: la madera es dura, pesada, fibrosa y elástica. Similar al fresno y olmo

Datos producción

Rendimiento (t/ha año)	5-10
Recepes	Tiene gran capacidad de rebrotar de cepa.

Cuidados culturales

Riegos	Para producción en zonas secas debe de realizarse riegos a goteo
Podas	Requiere de pocas podas de formación. Eliminar brotes en tallo y ramas secas en invierno

Observaciones: no requiere de grandes mantenimientos ni tiene muchos problemas de enfermedades, únicamente *Phytophthora sp.*

Tabla 8. Ficha de la *Robinia pseudoacacia*
Fuente: Elaboración propia

Tarea 3.2. Clasificación de las regiones idóneas para cada especie

A partir de los datos obtenidos y del estudio de los suelos, climas y características agrícolas de las distintas regiones de la Comunidad Valenciana, se realizó una zonificación atendiendo a su idoneidad para la producción de madera o biomasa.

Para cada especie se determinaron distintas zonas idóneas donde existen experiencias positivas o donde podrían desarrollarse de forma viable para la producción de madera o biomasa. Los criterios que se han tenido en cuenta son:

- Los datos de producción y viabilidad de las plantaciones muestreadas.
- El estado fitosanitario de las plantaciones.
- La presencia de estas especies en el medio natural.
- La calidad de los suelos: agrícola, de ribera.
- El clima de la región (heladas, viento, temperaturas bajas o altas, etc.)
- La posibilidad de realizar riegos.

A modo de ejemplo del trabajo realizado, se exponen los resultados en forma de mapas para paulownia (*Paulownia sp.*), robinia (*Robinia pseudoacacia*) y nogal (*Juglans sp.).* Los valores significan: 1, menor idoneidad; 5, mayor idoneidad.

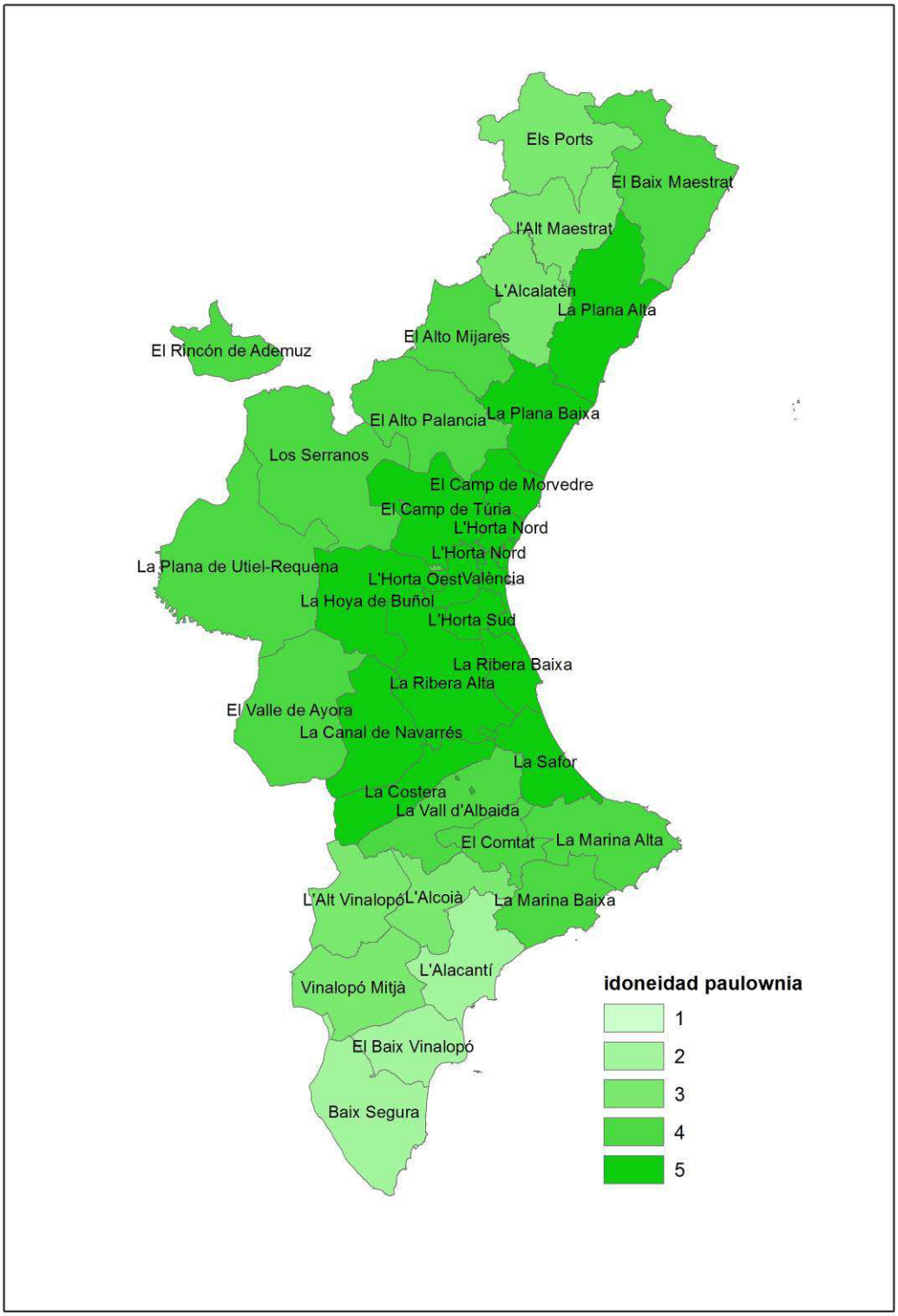


Imagen 27. Mapa de idoneidad de la paulownia en la Comunidad Valenciana (1: menor idoneidad; 5: mayor idoneidad)

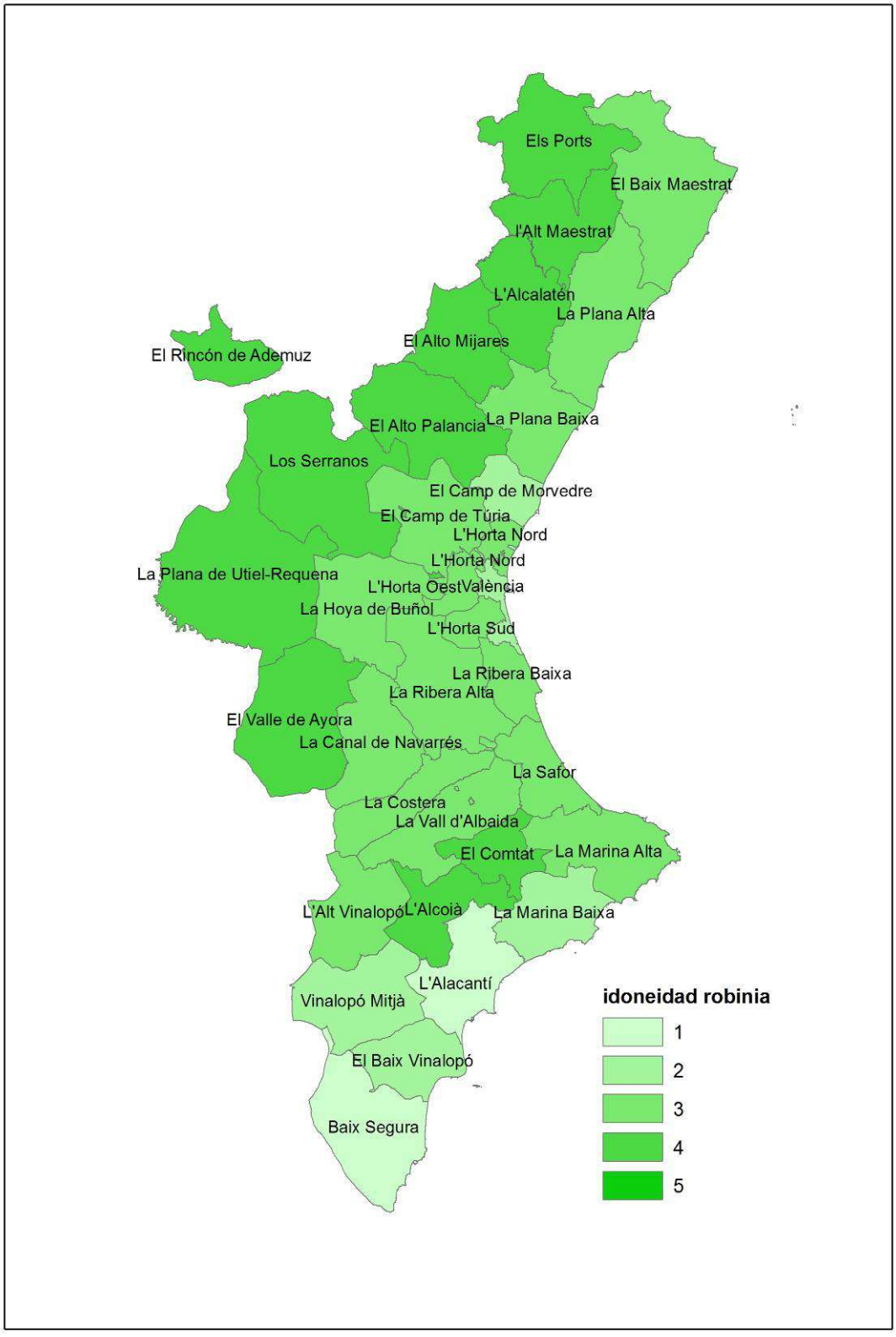


Imagen 28. Mapa de idoneidad de la robinia en la Comunidad Valenciana (1: menor idoneidad; 5: mayor idoneidad)

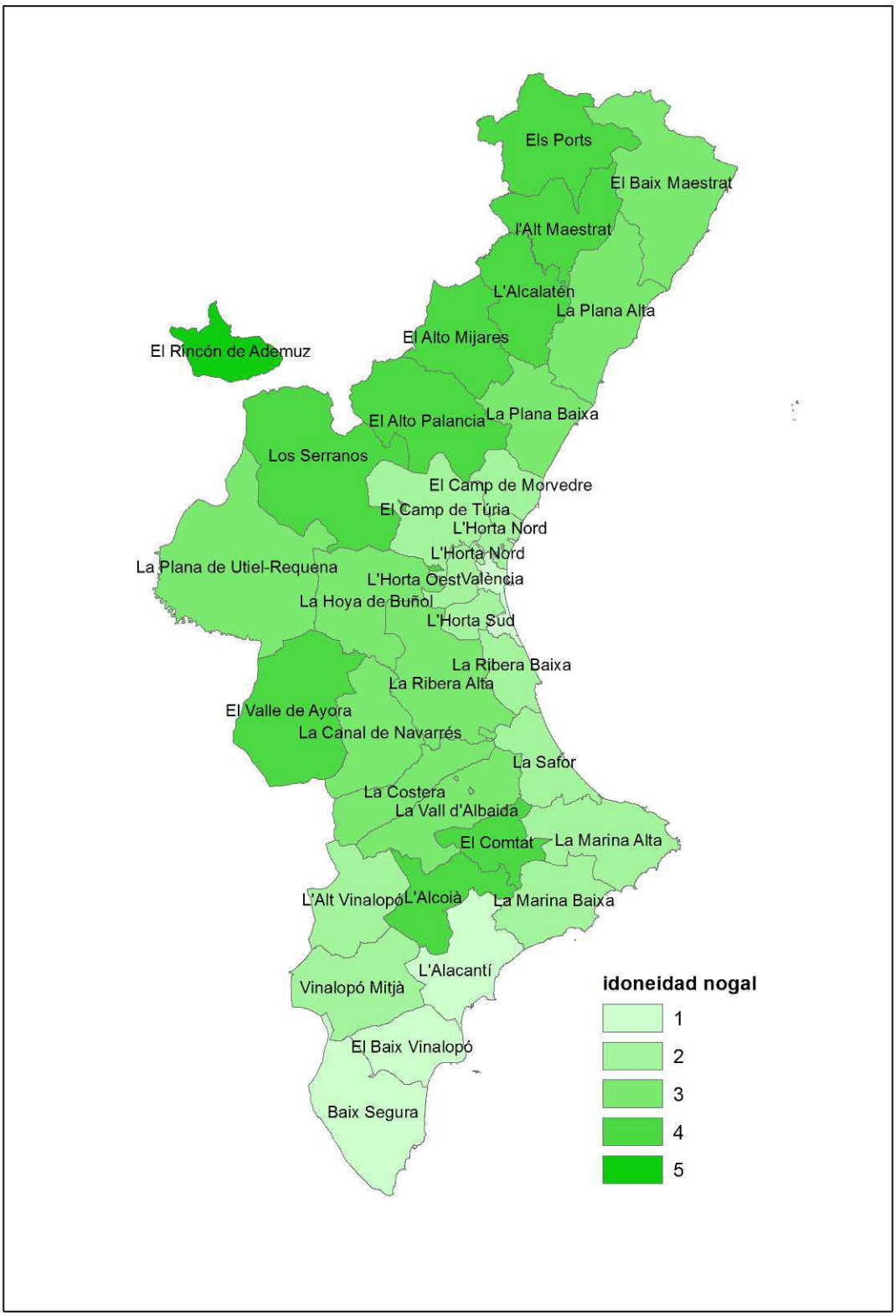


Imagen 29. Mapa de idoneidad del nogal en la Comunidad Valenciana (1: menor idoneidad; 5: mayor idoneidad)

PAQUETE DE TRABAJO 4: ANÁLISIS DE LAS NECESIDADES DE INNOVACIÓN Y SUMINISTRO DE MATERIAS PRIMAS DE LAS PYMES

Tarea 4.1. Definición de las necesidades del sector de la madera y biomasa.

Se realizó un estudio para determinar las necesidades de uso de madera ligera en la industria del mueble y madera, así como identificar necesidades y oportunidades de innovación en estas industrias.

La información de esta tarea se corresponde a la prospección de mercado realizada con empresas productoras y utilizadoras de madera mediante una encuesta realizada mediante cuestionario estructurado a una muestra industrial de empresas.

El diseño muestral puede verse en la siguiente tabla:

Universo	Empresas españolas con alguna actividad propia de las industrias de la madera y el mueble.
Población	Listado inicial de 44 empresas con potencial interés en el proyecto, según recoge la memoria de solicitud del mismo.
Muestra	n=33
Error muestral	±8,8%
Nivel de confianza	95% (z=1,96)
Formato de encuesta	Cuestionario estructurado auto-administrado por Internet (a través de plataforma Typeform).
Fechas de realización	Del 27/05/16 al 10/06/16. El acceso al cuestionario online permanece abierto por si empresas interesadas quieren aportar sus respuestas.

Tabla 9. Diseño muestral de la encuesta

Algunas de las preguntas realizadas en la encuesta abarcan diversos aspectos como:

- Tamaño de la empresa y ámbito de mercado
- Especies y volúmenes de madera utilizada
- Origen de la madera
- Necesidades de innovación

Las conclusiones obtenidas del análisis de la encuesta fueron las siguientes:

- Se realizó una **encuesta industrial** a directivos y responsables técnicos de 33 empresas productoras de primera y segunda transformación de la madera para detectar necesidades de innovación respecto al uso de nuevas especies forestales. En su mayoría, las empresas participantes son de la Comunidad Valenciana.
- Entre las empresas de **primera transformación**, participaron empresas fabricantes de tableros y derivados de la madera, principalmente. En cuanto a la **segunda transformación**, se han obtenido respuestas también de empresas fabricantes de industrias utilizadoras, como es la fabricación de muebles.
- La industria de la madera destaca por el uso que da principalmente a la **madera de pino, chopo y haya** en la actualidad.
- Un segundo grupo de especies más utilizadas se corresponde con **maderas nobles**, donde destacan la madera de nogal, roble, fresno y cerezo.

- El tablón (42%) y el tablero aglomerado (39%) son los **formatos más utilizados** a nivel industrial.
- El 73% de las empresas importa **madera del extranjero** en alguna proporción. Las principales regiones mundiales de aprovisionamiento son Europa (Francia y centro y este de Europa), África y América (tanto Latinoamérica como América del Norte).
- La encuesta ha evidenciado que la investigación con especies de madera se asocia principalmente a procesos de **innovación en producción y procesos**: el 65% de las empresas reconoce necesitar innovación en procesos y el 61% en producto.
- La **innovación en mercadotecnia** interesa al 39% de las empresas, mientras que la **innovación organizativa** preocupa al 32%.
- La industria espera innovaciones en el ámbito de los **procesos productivos** (63% de las empresas), **nuevos materiales** (50%) y **materias primas** (47%), mientras que el interés en la mejora de los acabados es inferior (40%).
- Los resultados indican que, aproximadamente, una de cada tres empresas está interesada en la **investigación y uso de especies de madera ligeras**, como es el caso de la paulownia.

Las **necesidades de innovación** que demandaron las empresas en la encuesta fueron éstas:

1) Incorporación de nuevos procesos que mejoren la productividad.
2) Plantaciones de crecimiento rápido.
3) Se debe actualizar parte de la gama del producto.
4) Sería interesante incorporar nuevos materiales, especialmente ligeros.
5) Nuevos tipos de madera.
6) Desarrollar productos más innovadores y útiles: materiales más ligeros
7) Racionalización costes, mejora proceso productivo.
8) En diseño. No necesariamente se necesita otra madera de la actualmente disponible en el mercado, pero podrían ser útiles esas nuevas maderas.
9) Nuevos materiales y productos
10) Nuevos acabados con las maderas.
11) Investigación del comportamiento de la madera en muebles macizos.
12) Maderas de chopo o similar de mejor calidad y más cercanas a la industria.
13) Mejor servicio al cliente.
14) Más eficientes en comunicación.
15) Nuevos productos.
16) Materias primas.
17) Maquinaria.
18) Nuevos productos.
19) Nuevos procesos.
20) Impresión digital.
21) Productividad.
22) Ante todo, falta aumentar el mercado y sensibilizar al consumidor sobre las ventajas de la madera.
23) Uso de maderas de producción local o nacional.
24) Adquisición de nueva maquinaria.
25) Mejora de los aprovechamientos forestales.
26) Mejora en los procesos de aserrado para minimizar las pérdidas.
27) Innovación de nuevos mercados.

28) Materiales y productos con buen aislamiento térmico y acústico.
29) Nuevos productos.
30) Materias y productos ligeros para construcción.
31) Selección de los troncos para evitar defectos y optimizar el corte minimizando desperdicio.
32) Diseño de nuevos productos.
33) Materias y productos ligeros para construcción.
34) Materias primas y productos finales de calidad asegurada (mediante marcas, controles de calidad, sellos de calidad, etc.).
35) En departamento de marketing digital.
36) Uso de maderas de crecimiento rápido y de gran absorción de CO2, como la paulownia.

Tarea 4.2. Creación de una red de colaboración entre grupos de empresas y federaciones.

Se realizaron contactos para crear una red de empresas y entidades que puedan participar en los siguientes desarrollos del proyecto. En particular, la red se crea para tener una serie de contactos en la industria con los que poder compartir y evaluar las innovaciones y potenciales resultados de investigación sobre especies de madera ligeras.

Se realizó una selección de empresas y organizaciones relacionadas con la investigación y explotación forestal y de productos con madera que resultan interesantes para el proyecto. En algunos casos, existe una relación previa con AIDIMME (por ejemplo, FEVAMA, FINSA, SONAE ARAUCO…), mientras que en otros casos se estableció contacto a raíz del proyecto (por ejemplo, BIOPLAT, CATENVA…). La mayoría de empresas son PYMEs de la Comunidad Valenciana, aunque se consideró interesante tener representación también de la gran industria a nivel nacional.

Todas estas empresas pueden aportar conocimiento y campos de aplicación para la investigación con nuevas especies forestales destinadas a la explotación de la madera.

En la siguiente figura se recogen las empresas de la red.

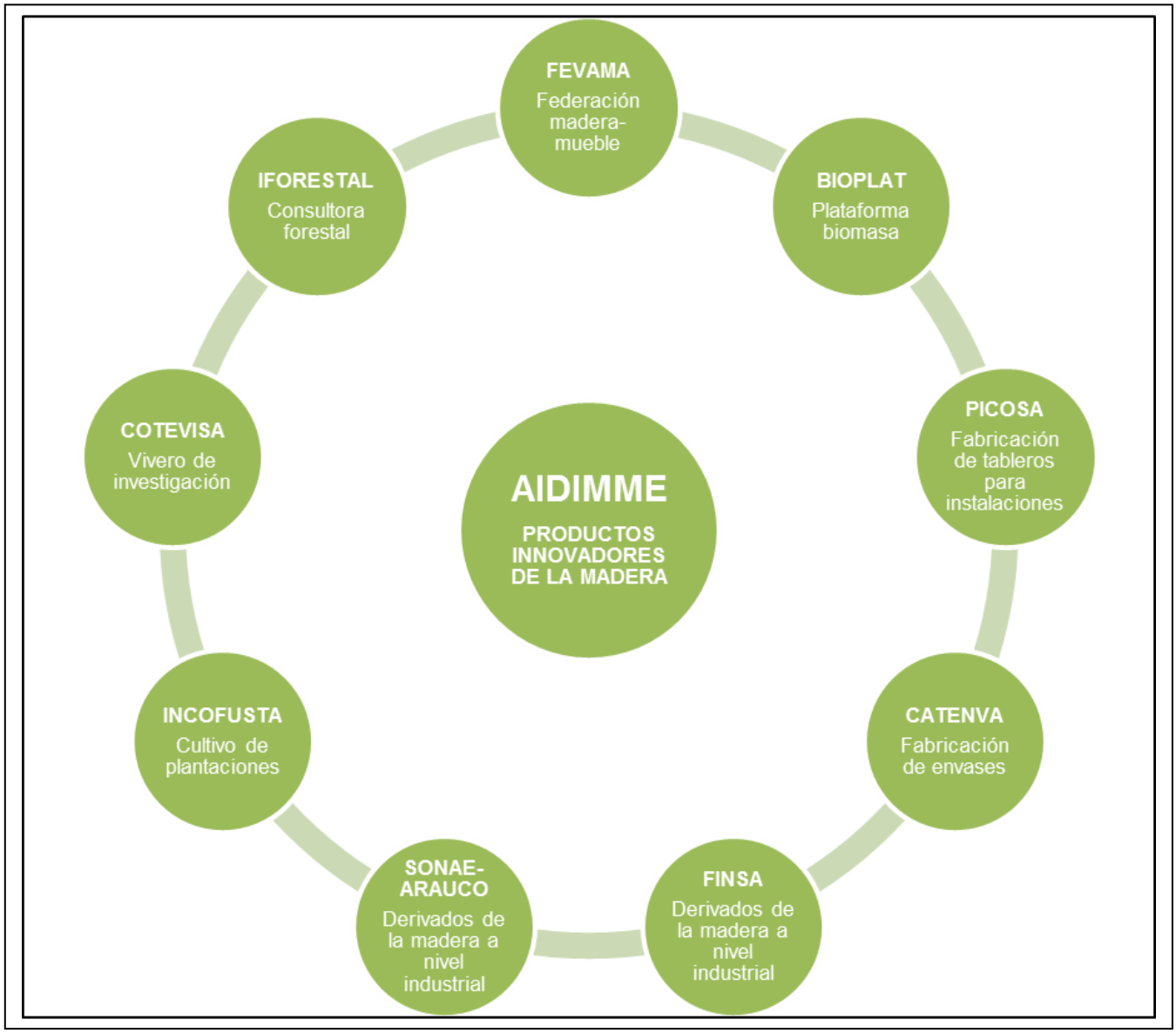


Imagen 30. Empresas de la red creada

De totas las empresas se recogió la información más relevante como:

- DATOS DE CONTACTO
- ACTIVIDAD PRINCIPAL
- INTERÉS PARA EL PROYECTO:
  - Actividades de I+D+i
  - Investigación con plantaciones experimentales
  - Desarrollo y prueba de prototipos
  - Soluciones sostenibles y certificación
  - Aplicaciones industriales
  - Búsqueda de empresas en la cadena de valor
  - Difusión sectorial
  - Efecto tractor sobre la industria
  - Explotación comercial a nivel industrial
  - Explotación comercial en productos a medida

Además, la prospección del mercado se completó con una serie de entrevistas personales a gerentes y directores de producción de varias empresas.

Estas entrevistas permitieron profundizar en las necesidades y **potencial explotación de las plantaciones de paulownia**.

En cuanto a su **uso masivo en la industria**, preocupa la capacidad de las plantaciones actuales de paulownia para cubrir la demanda de esta especie si se extiende su uso. Por otro lado, el uso industrial de paulownia puede requerir de un mayor consumo de material adhesivo que otras especies.

Por el momento, el uso de la especie está limitado a **productos especiales** a nivel industrial, aunque podrían darse aplicaciones concretas para construcción, donde podría competir en el mercado de los productos aligerados (tableros, ventanas, puertas, estanterías, etc.).

Otro aspecto de interés es que pueda controlarse la **cadena de custodia** de la madera de paulownia, especialmente si su destino final es el mercado anglosajón.

PAQUETE DE TRABAJO 5: DESARROLLO DE PRODUCTOS INNOVADORES DE MADERA

Tarea 5.1. Análisis de las propiedades de la madera y biomasa.

En esta tarea se analizaron las propiedades de la madera y biomasa de interés para el desarrollo de productos y se realizaron rensayos mecánicos y químicos para caracterizar las distintas especies.

1. Análisis de las propiedades de la madera.

Se describen y analizan las distintas propiedades específicas de la madera maciza que servirán para obtener sus posibles usos para realizar en posteriores paquetes de trabajo los productos innovadores.

Las especies de madera ensayadas fueron las siguientes:

- Paulownia. Clon COT2 (*P. elongata* x *P. fortunei*)
- Robinia (*Robinia pseudoacacia*)
- Almez (*Celtis australis*)

Los procedimientos de ensayos utilizados se detallan a continuación:

Densidad o peso específico	UNE 56 531
Contenido en humedad	UNE 56 529
Resistencia a la flexión estática y módulo de elasticidad	UNE 56 537
Determinación de la dureza	UNE 56 534
Contracción lineal y volumétrica	UNE 56 533
Higroscopicidad	UNE 56 532
Compresión axial	UNE 56 535
*Análisis de la estructura macroscópica de la madera	Métodos internos
*Ensayo de penetración de tinta.	Métodos internos
*Determinación de la de albura y duramen por bromofenol azul.	Métodos internos

*Estos ensayos permiten conocer la estructura celular de la paulownia y sus facultades relacionadas con la facilidad para realizar tratamientos en profundidad.

Imagen 31. Corte de la madera de paulownia

Imagen 32. Ensayo de flexión estática en almez

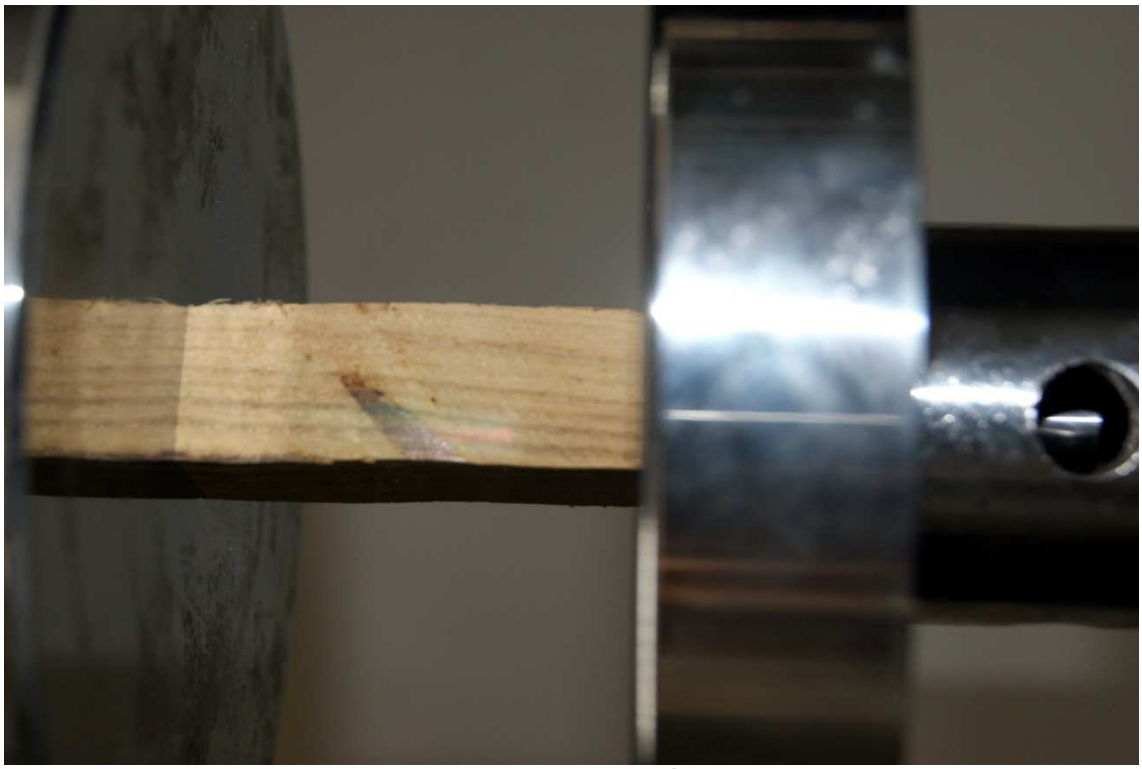


Imagen 33. Ensayo de compresión axial en robinia.

Algunos de los resultados más interesantes se dan en paulownia. Los resultados de la tabla corresponden a valores medios de 50 muestras.

CARACTERISTICA	RESULTADO MEDIO	REQUISITO/ ADECUACIÓN [1)]
Densidad (kg/m^3)	270	**MUY LIGERA**
Contenido en humedad por desecación (%)	11	**--**
Resistencia a la flexión estática (N/mm^2)	25,3	**BAJA RESISTENCIA**
Módulo de Elasticidad (N/mm^2)	2870	**--**
Determinación de la dureza (mm^{-1})	0,24	**MUY BLANDA**
Contracción lineal y volumétrica: Contrac.volumétrica total (%) Coeficiente de contracción (%) Contracción lineal: (%) radial tangencial longitudinal	 12,8 0,54 4,93 6,74 0,73	 **CONTRACCION PEQUEÑA** **POCO NERVIOSA**
Higroscopicidad (g/cm^3)	0,0071	**DEBIL**
Compresión axial C_{12} (kg/cm^2) Cota estática C_e (cm)	357 5,10	**BAJA RESISTENCIA**

Tabla 10. Resultados de la madera de paulownia

A su vez con paulownia se realizó un análisis de la estructura celular para evaluar las particularidades de la madera como la dificultad de tratamiento.

Imagen 34. Ensayo de determinación de albura en corte transversal del tronco de paulownia.

2. Análisis de las propiedades de la biomasa.

Las principales propiedades de interés se midieron basándose en la norma ISO 17225:

- Cenizas - UNE-EN 14775
- Poder calorífico - UNE-EN 14918
- Cloro - UNE-EN 14582
- Azufre - UNE-EN 14582
- Humedad-UNE-CEN/TS 14774

Las especies consideradas han sido:

- Paulownia (*P. elongata* x *P. fortunei*, clon COT2)
- Chopo (*Populus nigra*)
- Robinia (*Robinia pseudoacacia*)
- Sauce (*Salix* sp.)

También se realizó un proceso de peletizado, realizando el ensayo de durabilidad para obtener la facilidad de peletización.

Los ensayos han permitido clasificar la biomasa en para distintos usos, siendo la madera de paulownia la que mejores características ofrece para un uso doméstico. Las demás especies poseen unos contenidos en cenizas y en cloro y azufre superiores que no permiten su uso en calderas domésticas, por la corrosión que comportan.

Por ello se recomienda su uso en mezclas en pequeña proporción para producir pellets de calidad, o para utilizarlas en calderas industriales tanto en forma de pellets como de astilla.

Actualmente la biomasa más utilizada y de la que hay más conocimiento es la biomasa de chopo. El elevado número de plantaciones existentes y el importante uso que realiza la industria del chopo hace que el empleo de los residuos de corta y de la obtención de chapa se reutilice para producir energía.

Las demás especies aún son desconocidas en el uso biomásico dadas la pocas plantaciones existentes, pero se prevé que en un futuro cercano lleguen a utilizarse.

Los resultados se expresan en fichas como se muestra más adelante.

Tarea 5.2. Análisis de los usos de la madera y sus procesos. Potencial de uso industrial.

En esta tarea se estudiaron las propiedades obtenidas en la tarea 5.1 para evaluar los usos que las distintas especies pueden tener en la industria. A su vez, se analizaron nuevos procesos tecnológicos de producción para dar un mayor valor añadido a los productos a desarrollar, procesos que son más eficaces y con menos impacto medioambiental que los actuales.

De acuerdo con los resultados se abre un campo de trabajo y desarrollo de productos interesante sobre todo para la paulownia y en menor medida para la robinia y el almez.

De este modo, los usos de los productos derivados del género *Paulownia* pueden ser amplios y pueden enumerarse según el tipo de producto:

- La madera maciza, por su ligereza y conductividad térmica, puede utilizarse en **cerramientos de viviendas**; pasando a formar parte de la estructura en ventanas: marcos, postigos o contraventanas; y también en puertas: marcos, premarcos, dinteles y galces, incluso en el tablero principal con madera maciza.
- Las utilidades de los tableros contrachapados por su baja densidad y propiedades mecánicas, pueden ser varias: en fabricación de muebles (fondos de armario, armarios y cajoneras); revestimientos de interiores por su aspecto claro y textura homogénea, incluso ser una pieza clave en productos de carpintería y ebanistería en techos, paredes y rodapiés. Por otro lado estos tableros también **pueden utilizarse en ámbitos técnicos como el ámbito naval y aeronáutico, y sustituir de esta manera a materiales metálicos y compuestos**, o incluso para elementos constructivos en carruajes, barcas y balsas.

Además, la Comunidad Valenciana goza de una potencialidad en la distribución de fruta y alimentos, donde productos derivados de la *Paulownia* sp. podrían tener un gran papel por sus características de ligereza y poca absorción de líquidos.

Igualmente se podría desarrollar en la industria del juguete, ya que esta industria tiene una elevada presencia productiva en la Comunidad Valenciana, siendo la población de Ibi (Alicante) centro industrial en la comunidad.

Asimismo, podría introducirse en la industria artesana elaborando herramientas varias como bidones, mangos de herramientas e instrumentos musicales.

Con los las propiedades y usos de cada madera se hicieron fichas de cada especie tanto para madera como para biomasa. A continuación, a modo de ejemplo, se muestra una de ellas.

Paulownia

Nombre científico	Clon Cot2 *P. elongata x P. fortunei*

MADERA QUE ESTÁ ENTRANDO EN EL MERCADO ACTUALMENTE TANTO DE ORIGEN LOCAL COMO DE IMPORTACIONES.

Características físico-mecánicas

Densidad (kg/m^3)	270 MUY LIGERA
Resistencia a la flexión estática (N/mm^2)	25,3 BAJA RESISTENCIA
Módulo de Elasticidad (N/mm^2)	2870
Contrac.volumétrica total (%)	0,24 MUY BLANDA
Contracción lineal: (%) radial tangencial longitudinal	4,93 6,74 0,73 POCO NERVIOSA
Higroscopicidad (g/cm3)	0,0071 DEBIL
Determinación de la dureza (mm^{-1})	0,24 MUY BLANDA
Compresión axial C12 (kg/cm^2) Cota estática Ce (cm)	148 6,25 BAJA RESISTENCIA

Durabilidad

Albura/duramen	SI
Resistencia a xilófagos	NO

Usos

- INTERIOR: MOLDURAS, VENTANAS
- TABLEROS: TABLEROS CONTRALAMINADOS Y CONTRACHAPADOS PARA INTERIOR Y EXTERIOR. TABLEROS ALISTONADOS, ETC.
- ATAUDES

Tabla 11. Ficha técnica de la madera de paulownia

Paulownia	
Nombre científico	Clon Cot2 *P. elongata x P. fortunei*
La biomasa de paulownia se puede obtener a partir de cultivos hechos a propósito con turnos cortos de 3-4 años o a partir de los restos de podas y cortas del aprovechamiento maderero de árboles con turnos de 6-10 años	
Características físico-químicas	
Origen y fuente	Árboles enteros sin raíces Fuste Restos de corta Corteza (de operaciones industriales) Bosque, plantaciones y otra madera virgen
Humedad % en masa según se recibe (b.h.)	15-30
Cenizas, A % en masa (b.s.)	0,9
Azufre, S % en masa (b.s.)	0,02
Cloro, Cl % en masa (b.s.)	0,015
Poder calorífico neto, Q MJ/kg (b.s.)	17,5
Usos	
Calidades según ISO-17225-2 (domestico)	A2, B
Posibilidad de peletización	Si
Uso como astilla	Si
Potencial de uso	
Uso actual	Fuste para madera.
Usos futuro	Restos de poda para biomasa
Existencia plantaciones	Creciente
Pellets	
Durabilidad	>97,5%
Observaciones	Obtener un tamaño de partícula adecuado y eliminar los posibles elementos finos.

Tabla 12. Ficha técnica de la biomasa de paulownia

Tarea 5.3. Desarrollo de prototipos de productos.

Con los resultados de las tareas anteriores, se proponen distintos productos realizados a partir de la paulownia. Esta especie ha demostrado ser la que potencialmente suscita mayor interés en las empresas del sector. Además, de las distintas especies estudiadas es la que mayor número de plantaciones presenta en la comunidad, por lo que puede garantizarse una producción de madera suficiente para suministrar a las empresas.

Se realizaron distintos productos innovadores de madera principalmente con paulownia, pero también con madera de pino y chopo, para realizar distintas combinaciones. Esta especie no ha sido utilizada por la industria hasta la fecha, por lo que las características de los distintos productos se desconocían hasta ahora.

Así, los resultados obtenidos de las distintas especies indican en qué casos la paulownia debe combinarse o utilizarse como madera sustitutiva de las utilizadas en la actualidad.

Los distintos productos se agrupan en 5 grupos:

- **Perfiles laminados no estructurales para ventanas**
  - Pino
  - Paulownia
  - Chopo
- **Madera tratada**
  - Tratamiento con sales de cobre
  - Tratamiento orgánico
- **Chapa de paulownia**
  - 1 mm
  - 1,5 mm
  - 3,3 mm
- **Tableros contrachapados**
  - Tableros de interior (urea-formaldehido)
    - Tablero de 3 chapas
    - Tablero de 7 chapas
    - Tablero de 9 chapas
  - Tableros de exterior (fenólico/marino)
    - Tablero de 7 chapas
- **Tableros contralaminados**
  - Tablero de 5 láminas de pino
  - Tablero de 5 láminas de paulownia
  - Tablero de 2 láminas exteriores de pino + 3 láminas interiores de paulownia
  - Tablero de 2 láminas exteriores y 1 central de pino, y 2 láminas interiores de paulownia

1. Perfiles laminados no estructurales para ventanas

Se realizaron 3 perfiles laminados de 3 especies de madera como perfiles que pueden usarse para ventanas de calidad. Los perfiles laminados mejoran sustancialmente la estabilidad dimensional de la madera y mejoran sus propiedades de aislamiento térmico y acústico.

La madera de paulownia tiene buenas propiedades en cuanto a estabilidad, y es fácil aplicarle acabados de calidad. A su vez, por su ligereza puede ser una buena madera para aislamiento.

Se realizaron tres perfiles para comparar conductividades térmicas. Las especies utilizadas son las siguientes:

- Pino (*Pinus sylvestris*). Es muy utilizada en carpintería de calidad, y presenta una densidad que oscila entre 450 y 550 kg/m^3
- Chopo (*Populus nigra*). Se utiliza poco actualmente en carpintería, y presenta una densidad entre 350 y 400 kg/m^3
- Paulownia (*P. fortunei* x *P.elongata*, clon COT2). No se utiliza en carpintería por su baja densidad) 275-300 kg/m^3), pero que podría utilizarse con acabados de calidad.

Procesado

En primer lugar se obtuvieron lamas cepilladas de 1,8 cm de espesor y 7 cm de ancho. Con 4 lamas se obtuvieron perfiles de 7x7 cm que pueden utilizarse en ventanas y otros productos similares.

A continuación se realizó el encolado con colas de poliuretano, óptimas para uso en exteriores o para madera encolada que pueda estar en contacto con el agua o con humedades elevadas.

Los distintos procesos que se aplicaron a la madera fueron éstos:

- Corte de la madera
- Cepillado
- Encolado
- Cepillado y lijado

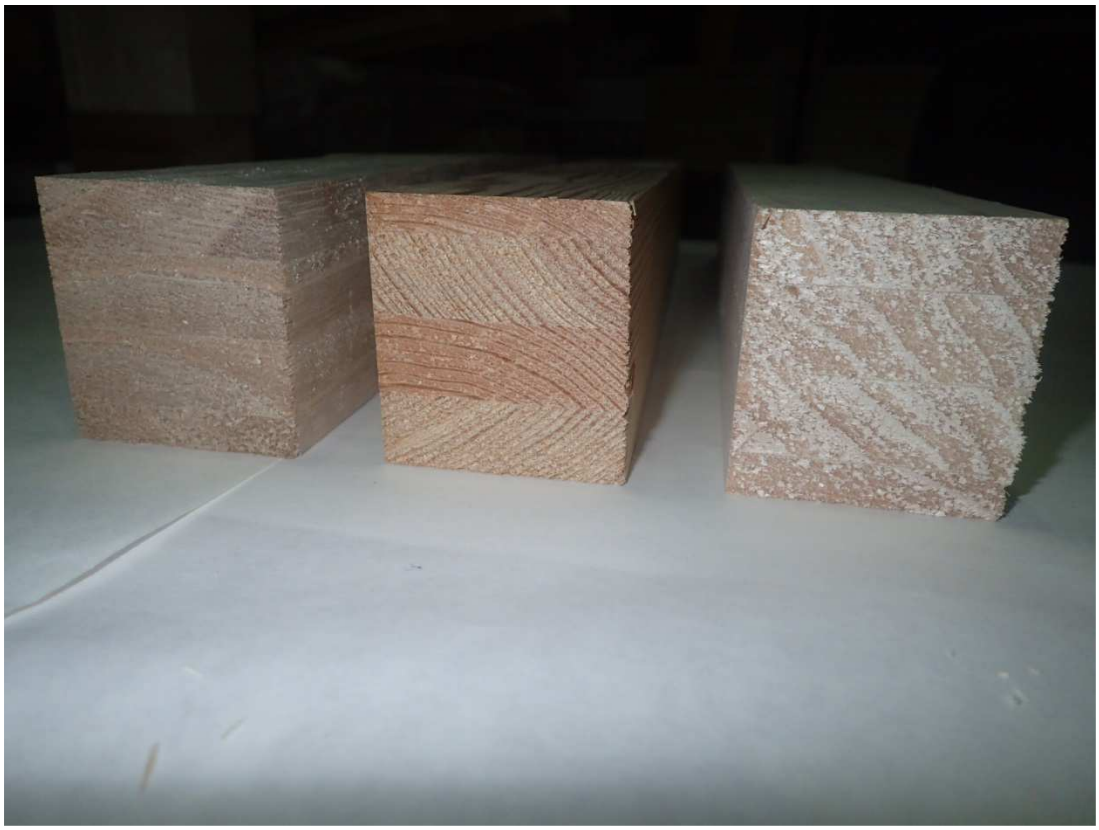


Imagen 35. Sección de los tres perfiles elaborados

2. Madera tratada

Por su densidad, la paulownia es una especie con una baja durabilidad a los agentes degradadores de la madera. Por tanto, es fácilmente atacable por hongos, termitas y carcomas. Dados estos antecedentes de durabilidad natural de la *Paulownia,* es de crucial importancia tratarla para aumentar su durabilidad y, por tanto, su ámbito de aplicación.

Con este fin se realizó por un lado un **tratamiento orgánico** insecticida, fungicida y antitermitas de Cipermetrina y Tebuconazol para llegar una clase de uso 3.2: exterior descubierto (UNE EN 335-1). El tratamiento se llevó a cabo en un autoclave sin presión, como indica la norma, ya que si se aplicara presión para penetrar en los vasos de la madera podrían explotar las bases disolventes. Por lo tanto, después de un previo vacío de aire se pulverizó el tratamiento y se realizó otro vacío para escurrirlo totalmente.

Por otra parte, también se aplicó un **tratamiento de sales de cobre**, a más profundidad para intentar alcanzar una clase de uso 4 (UNE EN 335-1). En este procedimiento sí que se aplica presión para que el tratamiento penetre a más profundidad, como la clase de servicio requiere.

Imagen 36. Preparación de las muestras a la entrada del autoclave orgánico (Cipermetrina y Tebuconazol)

3. Chapas

Para obtener chapa se procedió al desenrollo gracias a la industria adecuada para este fin. Se realizaron chapas de diferentes grosores según la inclinación de la cuchilla sobre las trozas. Se desenrolló a 10, 15 y 33 décimas de milímetro. Para ello se fueron ajustando y posicionando los parámetros del equipo (ángulo de cuchilla, velocidad de corte, distancia entre la cuchilla y la barra de presión), según procedía para cada grosor.

Procesado

El proceso realizado se compone de:

- Descortezado y corte en longitud de rollizo, para su adecuación al torno utilizado.
- Desenrollado mediante el torno en continuo, para los diferentes espesores de chapa utilizados (10, 15 y 33 décimas de mm).
- Corte mediante guillotina de las placas de chapa, a la medida final.
- Secado de las chapas al aire, bajo cubierto.

Imagen 37. Rollizos de paulownia descortezados y preparados para su desenrollo

Imagen 38. Proceso de desenrollo. Detalle del dibujo y veta de la chapa

4. Tableros contrachapados

Se define como tablero contrachapado a aquel tablero que se obtiene encolando chapas de madera de forma que las fibras de las chapas consecutivas forman un ángulo determinado, generalmente recto, con objeto de equilibrar el tablero. A veces en lugar de chapas se utilizan capas de chapas. El número de chapas o capas suele ser impar con el fin de equilibrar el tablero por la simetría de la sección.

Para el desarrollo de este producto se realizaron tableros de diferentes espesores y aglutinantes con el fin de crear distintos modelos y diferentes clases de uso contempladas en la norma UNE EN 335-1:2007.

En primer lugar, se realizaron contrachapados con resina o adhesivo de urea-formaldehido, usado para aplicaciones en interior. En concreto, el adhesivo usado tiene una emisión de menos del 0,01% de formaldehído liberable, y por tanto se clasifica como E-1 (tablero con baja emisión) según la norma UNE-EN 717-2:1995.

Para uso en exteriores se empleó una resina a base de fenol-resorcinol entre las chapas del tablero. Los tableros confeccionados fueron los siguientes; se fabricó un tablero de cada clase, siendo los contrachapados obtenidos lo siguientes:

- Tableros de interior y embalaje
  - **Tablero de urea-formaldehido 127 x 127 centímetros con 3 chapas de 15 décimas de milímetro.** Se le aplicó urea-formaldehido a una presión de 50 bares a 95°C durante 4 minutos; con una gramaje de cola de 150 gr/m². Espesor final una vez encolado y prensado: 4,3 milímetros. Apto para uso interior.
  - **Tablero de urea-formaldehido 127 x 127 centímetros con 7 chapas de 15 décimas de milímetro.** Encolado con urea-formaldehido a una presión de 50 bares a 95°C durante 10 minutos; gramaje de 150 gr/m². Espesor final una vez encolado y prensado: 10,2 milímetros. Apto para uso interior.
  - **Tablero de urea-formaldehido 127 x 127 centímetros con 9 chapas de distinto grosor.** La distribución de las chapas fue la siguiente: las caras exteriores con chapa de 10/10 cm de grosor, el interior y alternamente chapas de 15/10 cm y 33/10 cm. Se encolaron con urea-formaldehido bajo una presión de 90 bares a 95°C durante 18 minutos; gramaje de cola de 150 gr/m². Espesor final una vez encolado y prensado: 18,3 milímetros. Apto para uso interior.
- Tableros de exterior
  - **Tablero de 127 x 127 centímetros con 7 chapas de 15 décimas de milímetro.** Encolado con fenol-resorcinol a una presión de 80 bares a 120°C durante 10 minutos; gramaje de 150 gr/m². Espesor final una vez encolado y prensado: 10,2 milímetros. Apto para uso exterior.

Procesado

El proceso realizado se compone de:

- Lijado de las chapas.
- Encolado/impregnado de las chapas.
- Prensado de las chapas en caliente.
- Seccionado en superficie y calibrado en espesor de los tableros

Imagen 39. Proceso de encolado de tableros. Comprobación del espesor del tablero antes del calibrado

Imagen 40. Tableros de interior ya seccionados y lijados/calibrados a su tamaño final

5. Tableros contralaminados

Se desarrollaron distintos tableros contralaminados con maderas de pino y paulownia, a fin de estudiar los diferentes comportamientos de los tableros de una sola especie y sus posibles combinaciones.

Las combinaciones realizadas fueron las siguientes:

- 5 láminas de paulownia (tablero 1)
- 3 láminas interiores de paulownia y 2 exteriores de pino (tablero 2)
- 3 láminas de pino en las dos interiores y la central, y 2 de paulownia intermedias (tablero 3)
- 5 láminas de pino (tablero 4)

Procesado

El proceso realizado consta de los siguientes pasos:

- Se cortan y cepillan tablas de madera de paulownia y de pino.
- Se impregnan y encolan en canto, con unión en *finger-joint* (unión dentada) entre ellas, para realizar los tableros que posteriormente formaran las láminas del contralaminado.
- Se impregnan y encolan las diferentes caras de las láminas de los tableros, para llevarlos a la prensa y encolarlos entre ellos en grosor.
- Se seccionan en longitud/anchura y se lijan/calibran en grosor.

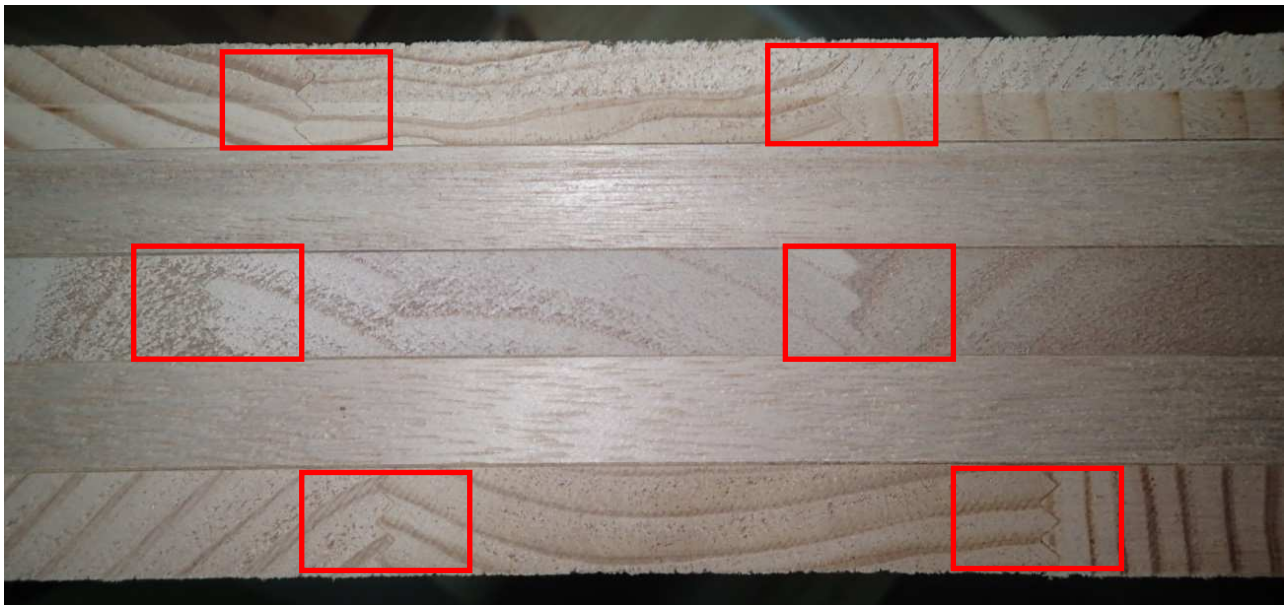


Imagen 41. Tablero contralaminado. Detalle de las uniones *finger-joint*

Imagen 42. Tableros contralaminados ya terminados y embalados, preparados para llevar a los laboratorios de AIDIMME

PAQUETE DE TRABAJO 6: CARACTERIZACIÓN TÉCNICA Y MEDIOAMBIENTAL DE LOS PRODUCTOS DESARROLLADOS

Tarea 6.1. Caracterización de los productos.

Los prototipos obtenidos en el PT5 se caracterizaron mediante los ensayos aplicables a cada producto. Dependiendo del tipo de producto, se realizaron los ensayos según la normativa o la legislación aplicables a fin de que el producto pueda salir a mercado y por tanto ser comercializado por las empresas a corto plazo.

1. METODOLOGÍA DE ENSAYOS

1.1. Madera tratada

Profundidad del tratamiento

Según el Código Técnico de la Edificación (CTE), a cada producto de madera debe exigírsele un acabado o tratamiento de la madera según el lugar donde se encuentre y la humedad que pueda adquirir. Algunos ejemplos son:

- Los perfiles de madera para ventanas pertenecen a la clase de uso 2.
- Los elementos estructúrales como pérgolas cubiertas se encuentran en una clase 3.1
- Las tarimas al exterior pertenecen a la clase de uso 3.2
- Postes y elementos en contacto con el suelo se consideran como clase de uso 4

Por tanto, ha de comprobarse hasta qué profundidad puede tratarse la paulownia y en qué productos puede usarse.

Para la asignación de clase de uso se siguió la norma europea EN 351-1:2007 (Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Madera maciza tratada con productos protectores. Parte 1: Clasificación de las penetraciones y retenciones de los productos protectores) y el Documento Básico SE-M del CTE, en el que se definen las siguientes clases de uso:

a) Clase de uso 1: El elemento estructural está a cubierto, protegido de la intemperie y no expuesto a la humedad. En estas condiciones la madera maciza tiene un contenido de humedad menor que el 20%. Ejemplos: vigas o pilares en el interior de edificios.

b) Clase de uso 2: El elemento estructural está a cubierto y protegido de la intemperie pero, debido a las condiciones ambientales, se puede dar ocasionalmente un contenido de humedad de la madera mayor que el 20% en parte o en la totalidad del elemento estructural. Ejemplos: estructura de una piscina cubierta en la que se mantiene una humedad ambiental elevada con condensaciones ocasionales y elementos estructurales próximos a conductos de agua.

c) Clase de uso 3: El elemento estructural se encuentra al descubierto, no en contacto con el suelo. El contenido de humedad de la madera puede superar el 20%. Se divide en dos clases:

- **Clase de uso 3.1.** El elemento estructural se encuentra al exterior, por encima del suelo y protegido, es decir sujeto a medidas de diseño y constructivas destinadas a impedir una exposición excesiva a los efectos directos de la intemperie, inclemencias atmosféricas o fuentes de humedad. En estas condiciones la humedad de la madera puede superar ocasionalmente el contenido de humedad del 20%. Ejemplos: viga que vuela al exterior pero que en su zona superior y testas están protegidas por una albardilla o piezas de sacrificio.
- **Clase de uso 3.2.** El elemento estructural se encuentra al exterior, por encima del suelo y no protegido. En estas condiciones la humedad de la madera supera frecuentemente el contenido de humedad del 20%. Ejemplos: cualquier elemento cuya cara superior o testa se encuentre sometida a la acción directa del agua de la lluvia, pilar que sin estar empotrado en el suelo guarda con éste una distancia reducida y está sometido a salpicaduras de lluvia o acumulaciones de nieve, etc.

d) Clase de uso 4: El elemento estructural está en contacto con el suelo o con agua dulce y expuesto por tanto a una humidificación en la que supera permanentemente el contenido de humedad del 20%. Ejemplos: construcciones en agua dulce y pilares en contacto directo con el suelo.

e) Clase de uso 5: Situación en la cual el elemento estructural está permanentemente en contacto con agua salada. En estas circunstancias el contenido de humedad de la madera es mayor que el 20%, permanentemente.

Tabla de clases de uso en función de la profundidad del tratamiento, según el Documento Básico SE-M del CTE:

Clase de uso	Nivel de penetración NP (UNE-EN 351-1)	
1	NP1 (1)	Sin exigencias específicas. Todas las caras tratadas
2	NP1(2) (3)	Sin exigencias específicas. Todas las caras tratadas
3.1	NP2 (3)	Al menos 3 mm en la albura de todas las caras de la pieza.
3.2	NP3 (4)	Al menos 6 mm en la albura de todas las caras de la pieza. Todas las caras tratadas.
4	NP4 (5)	Al menos 25 mm en todas las caras
	NP5	Penetración total en la albura. Todas las caras tratadas
5	NP6 (4)	Penetración total en la albura y al menos en 6 mm en la madera de duramen expuesta.

(1) Se recomienda un tratamiento superficial con un producto insecticida.
(2) El elemento de madera deberá recibir un tratamiento superficial con un producto insecticida y fungicida.
(3) Los elementos situados en cubiertas ventiladas se asignarán a la clase 2. En cubiertas no ventiladas, se asignarán a la clase3.1, salvo que se incorpore una lámina de impermeabilización, en cuyo caso se asignarán a la clase 2. Asimismo, se considerarán de clase 3.1 aquellos casos en los que en el interior de edificaciones exista riesgo de generación de puntos de condensación no evitables mediante medidas de diseño y evacuación de vapor de agua.
(4) Las maderas no durables naturalmente empleadas en estas clases de uso deberán ser maderas impregnables (clase 1 de la norma UNE-EN 350-2).
(5) Sólo para el caso de madera de sección circular (rollizo).

Ensayo tratamiento con sales de cobre
Para cada una de las muestras se realizó el ensayo especificado en la norma UNE 21152 (*Impregnación con sales a presión de los postes de madera de pino. Sistema por vacío y presión*). Este ensayo determina la profundidad de impregnación del producto protector.

Ensayo tratamiento orgánico
Para la realización de este ensayo se extrajeron probetas de una zona situada a los 3mm y partir de los 6 mm de las caras de la muestra, según se indica la norma EN 351-1:2008: *Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Madera maciza tratada con productos protectores. Parte 1: Clasificación de las penetraciones y retenciones de los productos protectores.*

Ensayos de eficacia frente a xilófagos

Ensayos de eficacia frente a insectos xilófagos (termitas)
El método de ensayo se adecua a la norma UNE-EN 118:2014 [*Protectores de la madera. Determinación de la eficacia preventiva contra las especies de Reticulitermes spp. (Termitas europeas)*] Siguiendo las especificaciones de la norma UNE-EN 350-1 (Durabilidad de la madera y de los materiales derivados. Parte 1: Guía de los principios de ensayo y clasificación de la durabilidad natural de la madera)

Ensayos de eficacia frente a hongos xilófagos
El método de ensayo se adapta a la norma EN113 (*Wood preservatives. Tst method for determning the protective effectiveness against Wood destroying basidiomicetes. Determination of the toxic values*). Se basa en la puesta en contacto de las muestras de ensayo con diferentes especies y cepas de hongos basidiomicetos xilófagos especificados en la norma que se adjuntan a continuación. El objetivo es la comprobación de la resistencia del material frente a estos tipos de hongos, tras un proceso de incubación de 16 semanas bajo condiciones controladas de laboratorio de 22 ºC ± 1 ºC de temperatura y 70 % ± 5 % de humedad.

1.2. Perfiles laminados para ventanas

Medida de la conductividad térmica
La medida de la conductividad térmica se realiza mediante un equipo NETZSCH HFM 463/3 que mide relación de flujos de calor sobre una pieza de 300 x 300 mm de área, por el método de la placa caliente guardada. La medida se realiza en la superficie central (100 x 100 mm) de la pieza. El equipo sigue el método de ensayo descrito en la norma UNE-EN 12667:2002.

1.3. Tableros contrachapados

Densidad UNE EN 323
Probetas de 50 mm x 50 mm se miden con precisión de 0,1mm y en espesor con precisión de 0,05 mm; a continuación se pesan en una balanza de 0,01g de precisión. Se calcula la masa por unidad de volumen.

Contenido en humedad UNE EN 322
Se halla el contenido en humedad del tablero por desecación en estufa a 103°C±2°C hasta peso constante.

Resistencia del encolado mediante ensayo del esfuerzo cortante clase 1. UNE EN 314
Diez probetas extraídas del tablero objeto de ensayo y de dimensiones se acondicionan durante 24 horas por inmersión en agua a (20±3)°C. Al cabo de este tiempo se determina para cada una de las líneas de cola el comportamiento del encolado por cizallamiento, de manera que la rotura se produzca a los (30±10) segundos de empezar el desplazamiento.
La resistencia a la cizalla se calcula en MPa.
La resistencia a la cizalla de cada una de las líneas de encolado, viene dada por el valor medio de los resultados obtenidos para las distintas probetas, redondeándose a la cifra más cercana a 0,01 MPa.

Resistencia del encolado mediante ensayo del esfuerzo cortante clase 3. UNE EN 314
La clase 3 es específica de un tablero de uso exterior. Dicha clase establece dos preacondicionamientos independientes, uno que se corresponde con el descrito en la clase 1 (inmersión en agua a (20 +/- 3) ºC durante 24 horas), y un segundo consistente en: inmersión durante 72 horas en agua hirviendo y posterior enfriado en agua a (20 +/- 3) ºC durante 1 hora.
Tras cada preacondicionamiento, se determina la resistencia a la tracción por cizalladura para cada una de las líneas de cola, calculando la resistencia en MPa, e indicando el porcentaje de desfibre obtenidos siempre y cuando la resistencia sea inferior o igual a 1MPa.

Resistencia a la flexión UNE EN 310
El ensayo consiste en la aplicación de una carga creciente en el centro de una probeta situada entre dos puntos de apoyo separados entre sí una distancia aproximadamente igual a 20 veces el grosor del tablero. La velocidad de aplicación de la carga es de 20 mm/min. La magnitud medida es la carga máxima a la cual se produce la rotura de la probeta, a partir de la cual se calcula la resistencia a la flexión que es la fuerza por unidad de área necesaria para producir la rotura del tablero por flexión.

Módulo de elasticidad UNE EN 310
Con el mismo procedimiento que el utilizado en el ensayo precedente se calcula el módulo de elasticidad, indicativo de la fuerza necesaria para que se produzca un determinado alabeo en el tablero.

1.4. Tableros contralaminados

Los tableros a ensayar son los siguientes:
- 5 láminas de paulownia (tablero 1)
- 3 láminas interiores de paulownia y 2 exteriores de pino (tablero 2)
- 3 láminas de pino en las dos interiores y la central, y 2 de paulownia intermedias (tablero 3)
- 5 láminas de pino (tablero 4)

Determinación de la conductividad térmica.
Se realiza de la misma forma que en los perfiles laminados para ventanas.

Determinación de la densidad o peso específico UNE EN 323
Se extraen probetas, se miden sus dimensiones con una aproximación de 0,01 mm y se pesan con precisión de ±0,001 g. Así pues, el peso específico se calcula mediante la relación de la masa con el volumen que ocupa.

Determinación de la resistencia a la compresión paralela UNE EN 789
Se someten las probetas a compresión mediante un dispositivo de carga (INSTRON) para determinar la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad y rigidez en la carga máxima.

Determinación de la calidad de encolado UNE EN 13354
Se someten las probetas a un pretratamiento acorde con la clase de servicio especificada, para posteriormente someterlas a un esfuerzo de cortante en compresión hasta rotura. Con este ensayo se calcula el esfuerzo de cortante y el porcentaje de rotura de la fibra de la madera.

2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

2.1. Madera tratada

Profundidad del tratamiento con sales de cobre
Para la realización del ensayo se utilizaron, a modo de control, perfiles de pino con el fin de conocer la profundidad total y eliminar incertidumbres.
Como puede verse en la imagen 43, las zonas oscuras son aquellas tratadas. Los 3 perfiles de la parte superior son de paulownia mientras que los dos inferiores de pino (uno de ellos con duramen, es decir, no tratable).
Como puede verse la paulownia prácticamente no ha podido ser tratada, llegando únicamente a 3 mm. Por ello se ha clasificado como clase de uso 3.1.

Profundidad del tratamiento con productos orgánicos
Los resultados del tratamiento con productos orgánicos han resultado muy similares al tratamiento con sales de cobre.
El producto ha sido localizado únicamente en los 3 mm primeros, no llegando a los 6 mm de profundidad.
Por ello, se clasifica como clase de uso 3.1, al igual que con el tratamiento de sales de cobre. Así, puede afirmarse que la paulownia únicamente llega a esta clasificación, siendo una especie de difícil tratamiento.

Resultados ensayos de eficacia frente a insectos xilófagos (termitas)
Los resultados tras 8 semanas de incubación muestran que las probetas de madera de paulownia tratadas con productos inorgánicos (sales de cobre) no quedan protegidas frente al ataque de termitas subterráneas mientras que sí quedan protegidas las tratadas con productos orgánicos, según la norma UNE-EN 599-1.

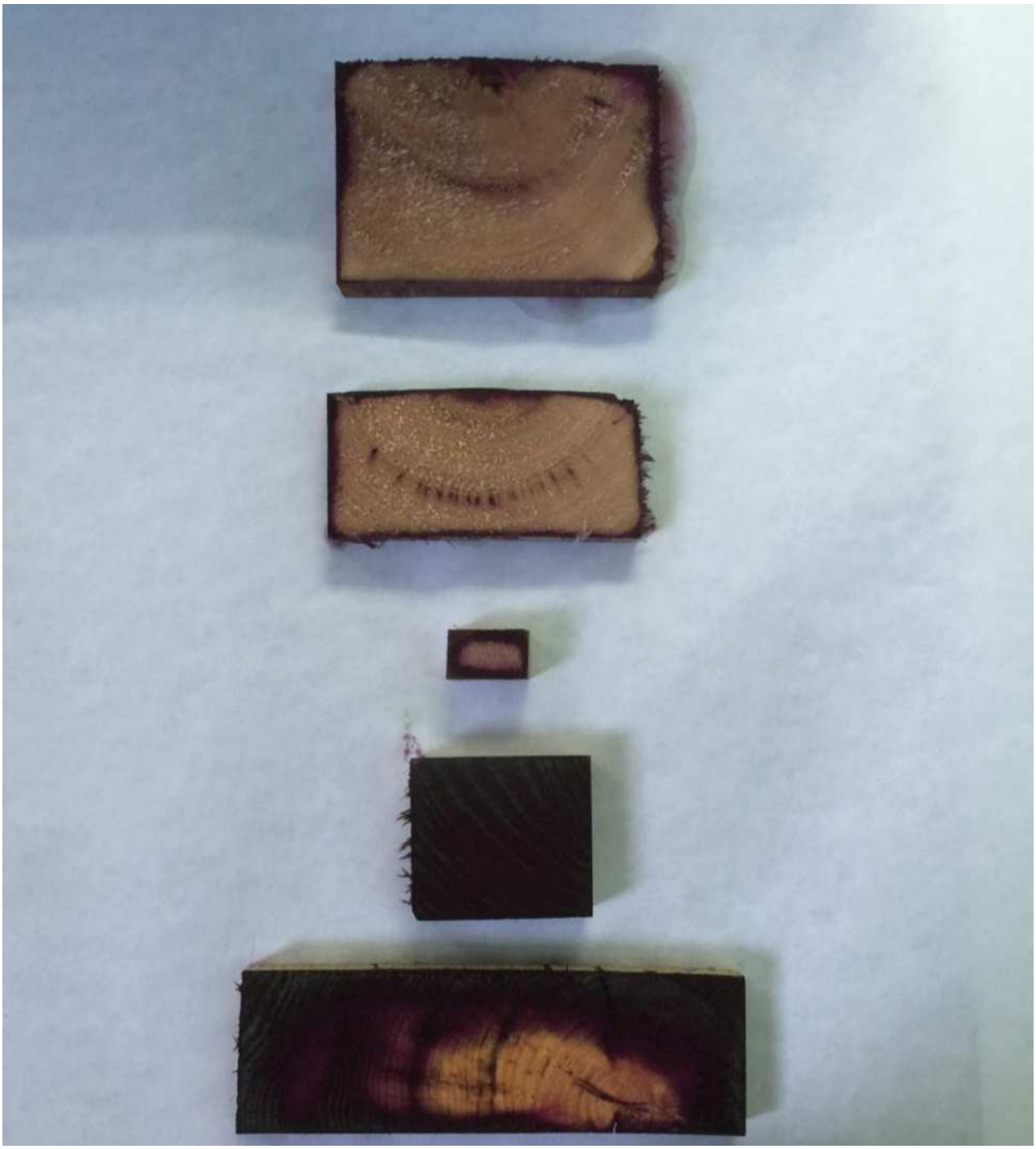


Imagen 43. Resultados del ensayo por colorimetría de profundidad de sales de cobre en paulownia (3 superiores) y pino (dos inferiores)

Imagen 44. Resultados obtenidos tras el examen de las probetas tratadas con sales de cobre. No se llevó a cabo ningún proceso de envejecimiento

Probeta		Envejecimiento	% Supervivencia		Grado de ataque
			Obreras	Soldados (S) Ninfas (N)	
I1		No	0	0	2
I2		No	0	0	2
I3		No	0	0	2

Ensayos de eficacia frente a hongos xilófagos

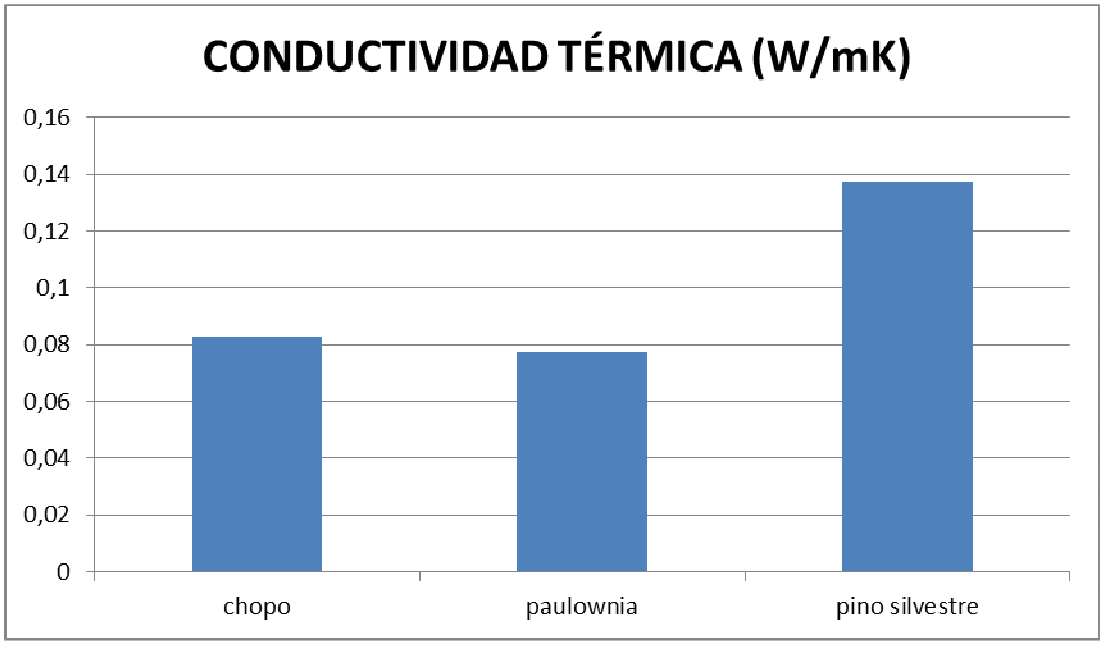
Tras los resultados obtenidos se observa que el producto protector orgánico protege la madera de paulownia frente a los hongos de pudrición cúbica *C. puteana* y *G. trabeum*.

En general, ambos tipos de productos protectores de la madera no protegen la madera de paulownia frente a la degradación por el conjunto de hongos de pudrición de la madera, únicamente frente a determinadas especies.

2.2. Perfiles laminados para ventanas

Resultados de conductividad térmica para su uso en ventanas

Los resultados se expresan gráficamente en las siguientes figuras. Claramente, la conductividad térmica de los perfiles laminados de paulownia es significativamente menor que la de los perfiles de pino silvestre, y ligeramente menor que la de los perfiles de chopo. Por tanto, la solución más aislante corresponde a los perfiles de paulownia.



Gráfica 3. Conductividad térmica a 20ºC de los distintos perfiles realizados

2.3. Tableros contrachapados

Los ensayos realizados fueron satisfactorios para los 4 tableros realizados. Tanto los diseñados con adhesivos para interior como los de adhesivos para exterior cumplen con la normativa respecto a las características mecánicas de la madera y de la cola.

Los distintos tableros evaluados abren una amplia gama de uso de la capa de paulownia tanto para usos de interior (construcción, mobiliario, etc.) como de exterior (transporte, embalaje, embarcaciones, etc.)

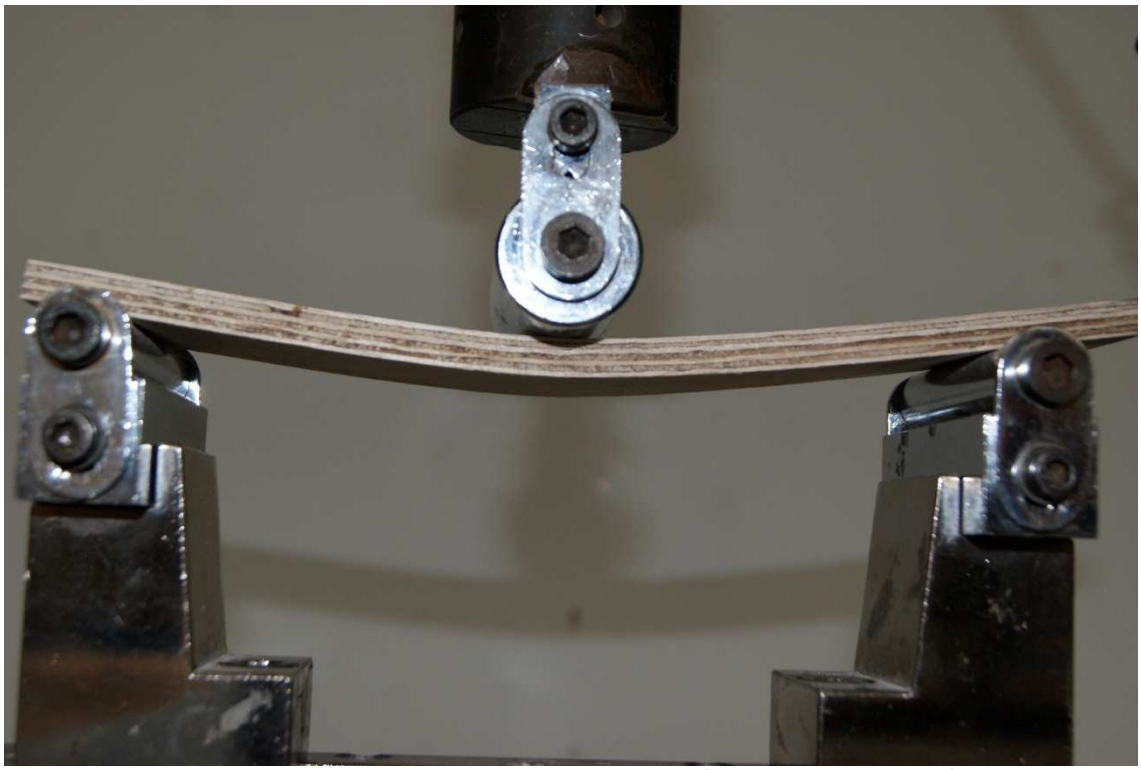


Imagen 45. Ensayo de resistencia a flexión del tablero fenólico

Imagen 46. Evaluación de la línea de encolado

2.4. Tableros contralaminados

1. TABLEROS CONTRALAMINADOS

La numeración de los tableros es la siguiente:

- Tablero 1: 5 láminas de paulownia
- Tablero 2: 3 láminas interiores de paulownia y 2 exteriores de pino
- Tablero 3: 3 láminas de pino en las dos interiores y la central, y 2 de paulownia intermedias
- Tablero 4: 5 láminas de pino

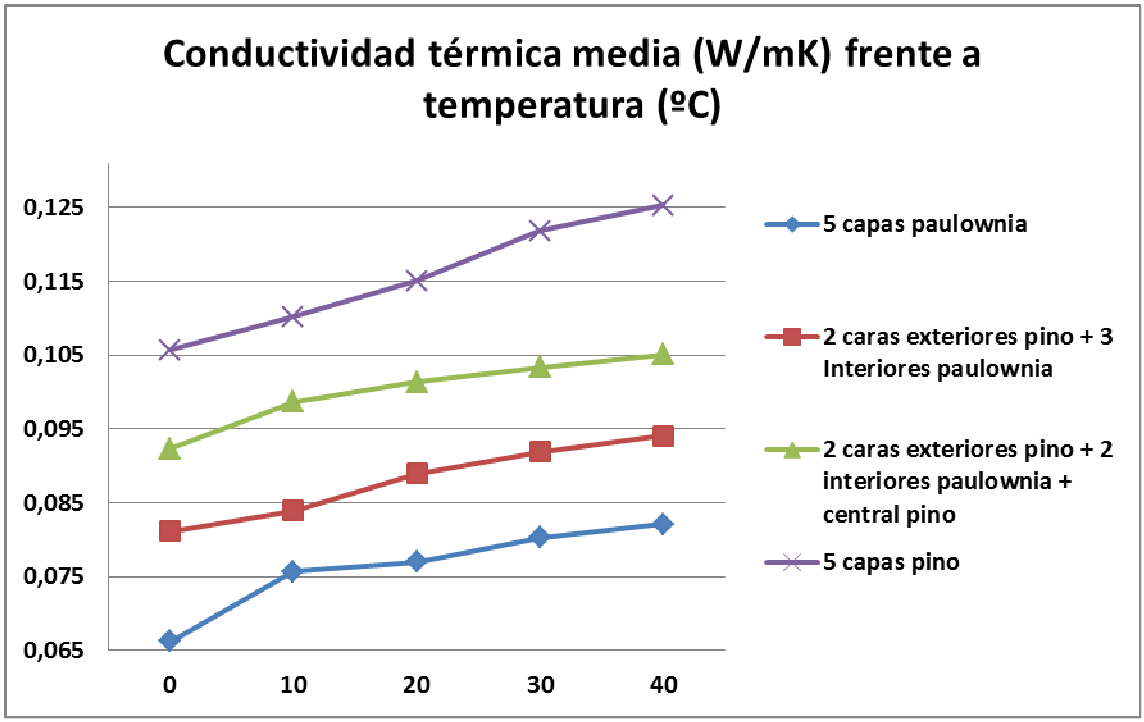
Resultados de conductividad térmica

Los resultados de los ensayos de conductividad térmica de tableros contralaminados combinando distintas capas de madera de paulownia y pino fueron bastante satisfactorios. La conductividad va muy relacionada con la densidad: a mayor densidad mayor conductividad, por lo que los tableros con mayor cantidad de paulownia son menos conductores que los que contienen pino.

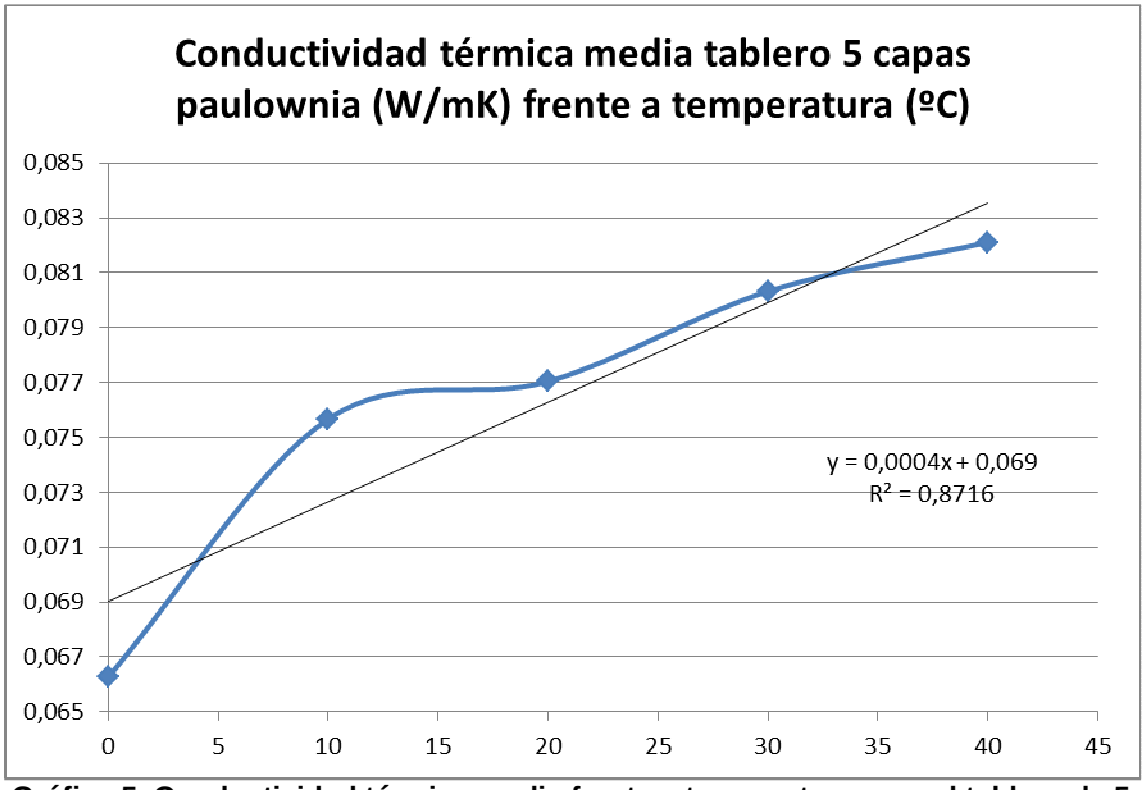
De este modo, los resultados muestran que el uso de paulownia puede reducir la conductividad de tablero de pino en un 20-30%, dependiendo de las capas añadidas, llegando a valores de conductividad cercanos a los materiales aislantes.

Imagen 47. Ensayo de conductividad térmica de tableros contralaminados

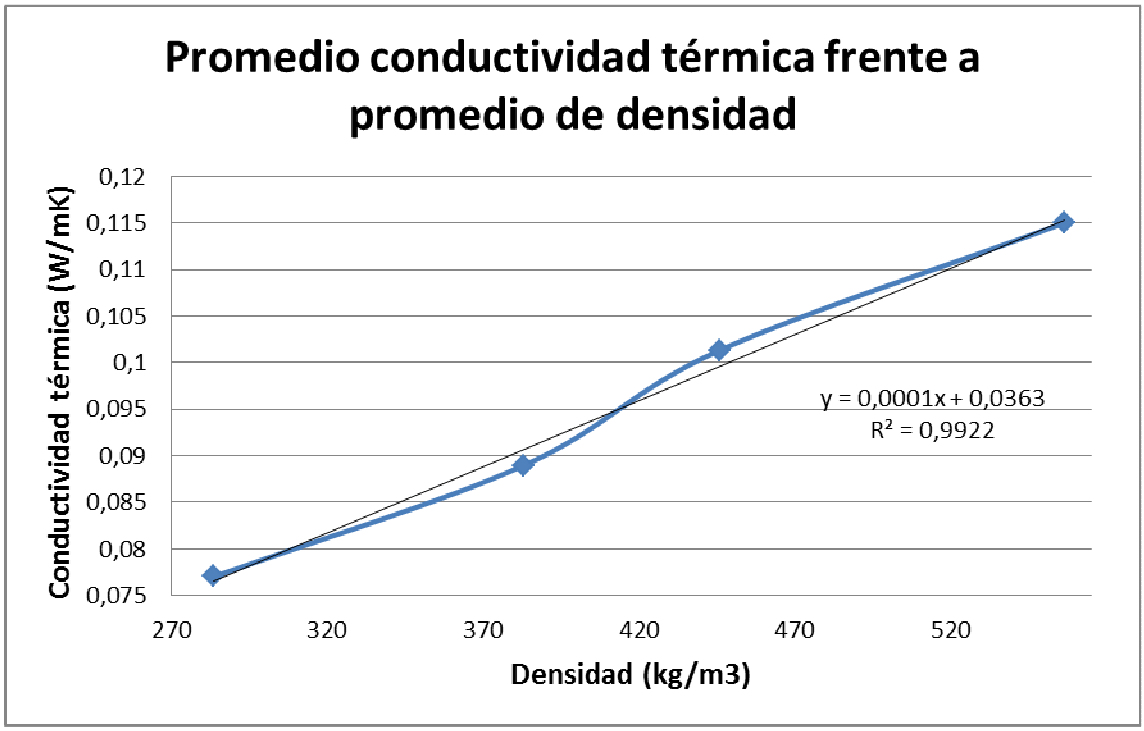
Los resultados se expresan gráficamente en las siguientes gráficas. La gráfica siguiente muestra que el tablero de 5 capas de paulownia es el que tiene menor conductividad (y por tanto mayor aislamiento térmico) para todas las temperaturas ensayadas.



Gráfica 4. Conductividad térmica media frente a temperatura para los 4 tipos de tableros contralaminados



Gráfica 5. Conductividad térmica media frente a temperatura para el tablero de 5 capas de paulownia



Gráfica 6. Conductividad térmica frente a temperatura para el tablero de 5 capas de paulownia

La anterior gráfica muestra la dependencia fuertemente lineal (R2= 0,9922) entre la conductividad térmica promedio para las 5 temperaturas medidas y la densidad media, para los 5 tipos de tableros.

Ensayos físico-mecánicos
Los resultados de los ensayos realizados fueron satisfactorios para todos los tableros, tanto en lo referente a las propiedades mecánicas como al encolado.

Ha quedado demostrado que la disminución de densidad afecta a la resistencia a la compresión del tablero. Es decir, al usar más cantidad de paulownia la resistencia disminuye, pero siempre con valores dentro de la normativa.

En la tabla siguiente se muestra una comparativa de los resultados.

Características físico-mecánicas				
Nº tablero	**1**	**2**	**3**	**4**
Densidad (kg/m3)	**275**	**368**	**430**	**556**
Resistencia compresión (N/mm2)	**11,4**	**13,1**	**11,9**	**21,4**

Tabla 13. Conductividad térmica media frente a temperatura para los 4 tipos de tableros contralaminados

Tarea 6.2. Viabilidad técnica y ambiental de los productos.

La viabilidad técnica y ambiental de los distintos productos innovadores se valoró a partir de distintos aspectos relacionados con la posibilidad real de incorporación en la producción de la las empresas y con los efectos ambientales del uso de la madera.

La viabilidad técnica incorpora los siguientes términos:

- Posibilidad de incorporación a las infraestructuras productivas actuales
- Necesidad de realización de inversiones por parte de las empresas
- Presencia de empresas en la Comunitat Valenciana que puedan realizar los productos.
- Costes respecto al uso de otras especies.

Y la viabilidad ambiental se evalúa según los siguientes aspectos:

- Especies utilizadas
- Procedencia de la madera
- Sustitución de especies tropicales
- Importaciones del exterior que suponen una elevada emisión de CO_2
- Contenido en formaldehido

La mayoría de los productos realizados con paulownia tienen diversos aspectos que facilitan tanto la viabilidad técnica como ambiental. La existencia de empresas interesadas en la Comunitat Valenciana y el nivel tecnológico de estas puede facilitar la incorporación de esta madera en la cadena productiva.

A su vez esta madera procedente de plantaciones y de origen local tiene un impacto ambiental muy positivo, tanto por sus bajas emisiones en transporte como por la sustitución de otros productos importados, que en algunos casos suponen un grave problema ambiental.

Los resultados detallados de la evaluación de estos aspectos se exponen en las fichas de cada producto.

1. Fichas de los productos desarrollados

En las fichas se realiza una recopilación de todos los datos que se han obtenido durante la caracterización y evaluación, tanto de los aspectos técnicos como ambientales.

Las fichas son las siguientes:

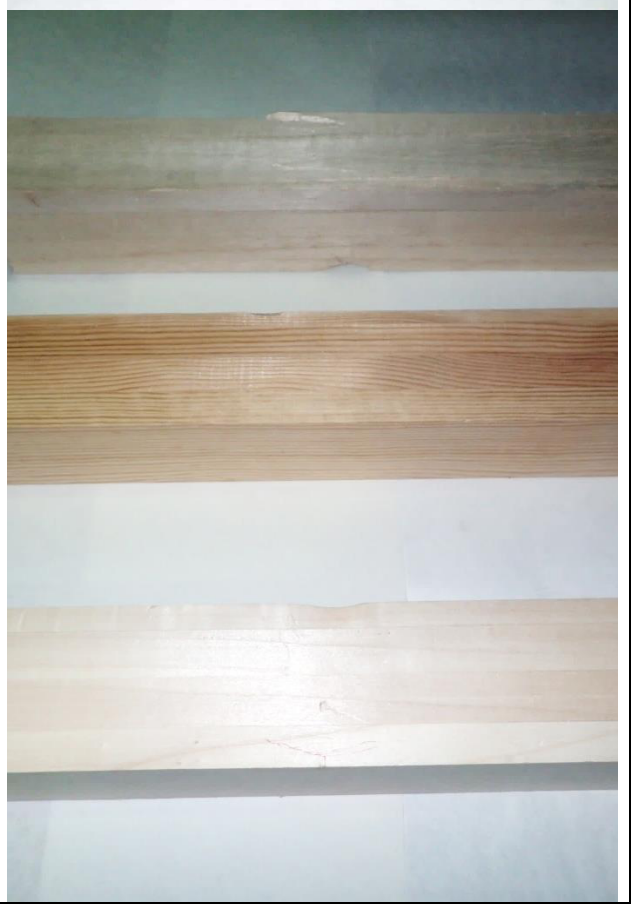
- **Perfiles laminados para ventanas.** Se han realizado los perfiles laminados encolados con paulownia, pino, y chopo para comparar las características en cuanto a conductividad térmica se refiere dado que la conductividad es la característica diferencial para perfiles destinados a ventanas.
- **Madera tratada con productos orgánicos y con sales de cobre.** Se exponen los resultados de los distintos perfiles evaluados. Los resultados se refieren a la profundidad alcanzada con el tratamiento (clase de uso), como a la eficacia contra insectos y hongos xilófagos.
- **Chapa de madera.** Como producto principal para la elaboración de derivados de madera. Este material desarrollado sirve como base para el desarrollo de otros productos como tableros rechapados y principalmente para tableros contrachapados.

- **Tableros contrachapados.** Se exponen los resultados tanto para su uso en **interior** como en **exterior** dado que las exigencias por normativa son distintas en cada caso.
- **Tableros contralaminado.** Se realizan distintas combinaciones para comparar los resultados del uso de distintas especies usadas en plantaciones.

A continuación se muestran algunas de las fichas.

Perfiles laminados para ventanas

Especies	Clon COT2 *P. elongata x P. fortunei/ Pinus sylvestris/ populus nigra*
Características físico-mecánicas	
Encolado	**Con cola de poliuretano en frio**
Conductividad paulownia a 20 ºC (W/mK)	**0,077**
Conductividad chopo a 20 ºC (W/mK)	**0,082**
Conductividad Pino a 20 ºC (W/mK)	**0,137**
Procesos / viabilidad técnica	
Incorporación a la infraestructura empresarial actual	**SI**
Necesidad de inversiones	**NO**
Presencia de empresas En la C.V.	**SI**
Viabilidad ambiental	
Procedencia madera	**Local**
Requiere de importaciones	**NO**
Sustitución especies tropicales	**NO**
Contenido en formaldehido	**NO**
Usos	
Ventanas	**Perfiles no estructurales**



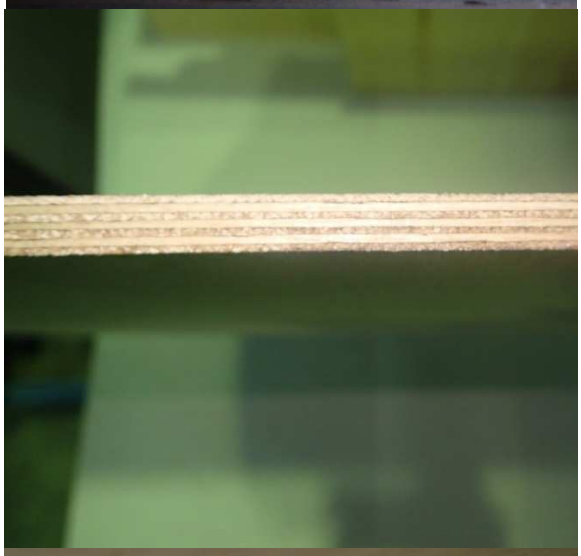
Tableros contrachapados de interior

Especie	Clon Cot2 *P. elongata x P. fortunei*

Características físico-mecánicas			
Espesor tablero (mm)	**4**	**10**	**18**
Densidad (kg/m3)	291	309	304
Resistencia flexión (N/mm2)	44,7	27,5	27,1
Resistencia al encolado	**Cumplen requisitos**		
Cola empleada	**Urea-formaldehido**		
Durabilidad	**INTERIOR**		
Procesos / viabilidad técnica			
Incorporación a la infraestructura empresarial actual	**SI**		
Necesidad de inversiones	**NO**		
Presencia de empresas En la C.V.	**SI**		
Viabilidad ambiental			
Procedencia madera	**Local**		
Requiere de importaciones	**NO**		
Sustitución especies tropicales	**SI**		
Contenido en formaldehido	**SI, bajo emisivo E1**		
Usos			
Construcción y mobiliario en interior y en embalajes			

Tableros contrachapados exterior

Especie	Clon Cot2 *P. elongata x P. fortunei*
Características físico-mecánicas	
Espesor tablero (mm)	**9**
Densidad (kg/m3)	381
Resistencia flexión (N/mm2)	39,1
Resistencia al encolado	**Cumple requisitos**
Cola empleada	**fenol-resorcinol**
Durabilidad	**EXTERIOR**
Procesos / viabilidad técnica	
Incorporación a la infraestructura empresarial actual	**SI**
Necesidad de inversiones	**NO**
Presencia de empresas En la C.V.	**SI**
Viabilidad ambiental	
Procedencia madera	**Local**
Requiere de importaciones	**NO**
Sustitución especies tropicales	**SI**
Contenido en formaldehido	**SI**
Usos	
Construcción, transporte, embarcaciones de exterior. Mobiliario cocina, etc.	



Tableros contralaminados

Especie	Clon Cot2 *P. elongata x P. fortunei; Pinus radiata*

Características físico-mecánicas				
Nº tablero	**1**	**2**	**3**	**4**
Densidad (kg/m3)	**275**	**368**	**430**	**556**
Resistencia compresión (N/mm2)	**11,4**	**13,1**	**11,9**	**21,4**
Conductividad térmica	**0,077**	**0,088**	**0,101**	**0,115**
Resistencia al encolado	**Cumple requisitos**			
Cola empleada	**Poliuretano**			
Durabilidad	**EXTERIOR**			
Procesos / viabilidad técnica				
Incorporación a la infraestructura empresarial actual	**SI**			
Necesidad de inversiones	**SI**			
Presencia de empresas En la C.V.	**SI**			
Viabilidad ambiental				
Procedencia madera	**Plantaciones**			
Requiere de importaciones	**NO**			
Sustitución especies tropicales	**NO**			
Contenido en formaldehido	**NO**			
Usos				
Construcción, revestimientos, etc.				

Organismos financiadores:
Fondos Estructurales, a través del Programa Operativo FEDER de la Comunitat Valenciana 2014-2020
Generalitat Valenciana. IVACE. Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial