



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
ETSIAMN

GRADO EN INGENIERÍA FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL

ANÁLISIS DEL FACTOR DE FORMA EN CULTIVOS INTENSIVOS  
JÓVENES DE *Paulownia spp*

TRABAJO DE FINAL DE GRADO  
CURSO ACADÉMICO 2017/2018

AUTOR:  
GUILLERMO CUENCA SÁEZ

TUTORES:  
D. Dr. JOSÉ VICENTE OLIVER VILLANUEVA

Valencia, Noviembre 2017

## RESUMEN

Este trabajo tiene como principal objetivo el análisis del volumen y factor de forma en plantaciones jóvenes de crecimiento rápido coetáneas de *Paulownia spp* en diferentes parcelas periurbanas situadas en diferentes zonas de la provincia de Valencia destinadas a la generación de biomasa con el fin de establecer valores medios que sean utilizados en el cálculo de crecimientos y estimaciones de volumen en pie de esta especie, tanto para uso maderero como para uso bioenergético, así como analizar las diferencias significativas existentes entre las plantaciones sometidas a tratamientos de recepado.

La metodología que se sigue es la toma de datos dendrométricos sencillos de obtener para su posterior aplicación a cálculos volumétricos y de factores de forma.

Acompañados de pruebas estadísticas tales como el análisis de la varianza o el T-test, los principales resultados demuestran que no se encuentran diferencias significativas entre los parámetros estimados (volumen y factor de forma), la estación y los tratamientos culturales aplicados, siendo el principal el recepado, y las diferentes localizaciones en las que se llevaron a cabo las plantaciones.

Como principales conclusiones se entiende que el tratamiento de recepado efectuado en las plantaciones jóvenes de crecimiento rápido de *Paulownia spp* no supone una mejora o incremento ni un empeoramiento en los volúmenes y factores de forma calculados para individuos con la misma edad, no observándose diferencias entre los crecimientos de los distintos pies y plantaciones estudiados.

Del mismo modo el recepado queda justificado para la especie, ya que los pies a los que se les aplicó el tratamiento igualaron en dimensiones a los pies a los que no se les había tratado con el mismo, alcanzando los individuos con 1 año de edad a los individuos de las plantaciones que llevaban en pie 2 años.

Palabras clave: volumen, factor de forma, recepado, *Paulownia spp*, biomasa, cultivos intensivos.

## ABSTRACT

This assignment has as main objective the analysis of volumes and form factor in young coeval short rotation coppice of *Paulownia spp* located in different places in Valencia province in order to get mean values that can be used for calculating the growing and volume averages of this specie, for wood or bioenergetic use.

The followed methodology tries to take simple and easy measurable dendrometric values in order to calculate volumes and form factors.

The use of statistics like the ANOVA or the T-test prove that there aren't significant differences between those patterns, the station, and cultural treatments and locations of growing.

Main conclusions show that the treatment doesn't influence on the biomass obtained from *Paulownia spp* in the study locations, but proves a faster growing.

Keywords: volume, form factor, cut treatment, *Paulownia spp*, biomass, short rotation coppice.

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	3
1.3. ESTADO DEL ARTE.....	4
1.3.1. BREVE DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE .....	4
1.3.2. ESTABLECIMIENTO DE CULTIVOS DE PAULOWNIA SPP. Y TRATAMIENTOS CULTURALES .....	5
1.3.3. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA MADERA EN PLANTACIONES DE CRECIMIENTO RÁPIDO.....	7
1.3.4. BIOMASA A PARTIR DE CULTIVOS LEÑOSOS DE CRECIMIENTO RÁPIDO	8
1.3.5. CUANTIFICACIÓN VOLUMÉTRICA DE LA BIOMASA LEÑOSA EN PLANTACIONES DE CRECIMIENTO RÁPIDO .....	8
2. OBJETIVOS .....	10
2.1. OBJETIVOS GENERALES .....	10
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
3. MATERIAL Y MÉTODOS .....	11
3.1. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS PARCELAS DE ESTUDIO .....	11
3.1.1. PARCELA ENGUERA.....	12
3.1.2. PARCELA LA LLOSA DE RANES .....	13
3.1.3. PARCELA VILLANUEVA DE CASTELLÓN .....	14
3.2. SELECCIÓN DE LOS INDIVIDUOS .....	15
3.3. TOMA DE DATOS .....	15
3.4. CARACTERIZACIÓN VOLUMÉTRICA DE LA BIOMASA AÉREA.....	16
3.4.1. RELACIÓN VOLUMEN-DIÁMETRO .....	16
3.4.1. FACTOR DE FORMA.....	16
3.5. MÉTODOS ESTADÍSTICOS.....	17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
4.1. VOLUMEN.....	18
4.1.1. VOLUMEN MEDIO.....	18
4.1.2. INFLUENCIA DE LA ESTACIÓN SOBRE EL VOLUMEN.....	19
4.1.3. INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO DE RECEPADO SOBRE EL VOLUMEN	20
4.2. FACTOR DE FORMA.....	21
4.2.1. FACTOR DE FORMA MEDIO .....	21
4.2.2. INFLUENCIA DE LA ESTACIÓN SOBRE EL FACTOR DE FORMA.....	22
4.2.3. INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO DE RECEPADO SOBRE EL FACTOR DE FORMA.....	23

5. CONCLUSIONES .....	25
6. BIBLIOGRAFÍA.....	26

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas y superficie de la plantación de Enguera. ....	12
Tabla 2. Coordenadas y superficie de la parcela de La Llosa de Ranes. ....	13
Tabla 3. Coordenadas y superficie de la parcela de Coordenadas y superficie de la parcela de Villanueva de Castellón. ....	14
Tabla 4. Volúmenes medios por parcela .....	18
Tabla 5. Resultados estadísticos ANOVA para volúmenes. ....	19
Tabla 6. Resultados estadísticos T-test entre recepado y no recepado para volúmenes. ....	20
Tabla 7. Factores de forma medios por parcela. ....	21
Tabla 8. Resultados estadísticos ANOVA para factores de forma. ....	22
Tabla 9. Resultados estadísticos T-test entre recepado y no recepado para factores de forma. ..	23

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Marco de plantación de Paulownia spp a monte alto.....	5
Figura 2. Localización de las parcelas de estudio. ....	11
Figura 3. Localización de la parcela en el término municipal de Enguera.....	12
Figura 4. Parcelas y cultivo de Paulownia spp de Enguera.....	12
Figura 5. Localización de la parcela en el término municipal de La Llosa de Ranes. ....	13
Figura 6. Parcela y plantación de Paulownia spp de La Llosa de Ranes.....	13
Figura 7. Localización de la parcela en el término municipal de Villanueva de Castellón.....	14
Figura 8. Parcela y plantación de Paulownia spp de Villanueva de Castellón.....	14
Figura 9. Representación gráfica ANOVA Volumen por parcela.....	19
Figura 10. Representación gráfica ANOVA Factor de forma por parcela. ....	22

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. ANTECEDENTES

El trabajo se centra en analizar la compatibilidad de la producción de biomasa de alta calidad en plantaciones agroforestales en entornos urbanos. Este tipo de plantaciones tienen diversas ventajas, no solo desde el punto de vista económico de producción de recursos maderables, sino también de impacto medioambiental y social. Así, más de la mitad de la población mundial vive en ciudades y se predice que en 2050 el número aumentará hasta el 66% (EUROPA PRESS, 2016). Esta migración del campo a la ciudad, principalmente en África y Asia, se debe a la pobreza y a factores socioeconómicos.

Según la FAO (2017) la rápida expansión de las ciudades en estos dos continentes se lleva a cabo sin ninguna estrategia de planificación del uso de la tierra y la consiguiente presión humana tiene efectos altamente perjudiciales sobre los bosques, paisajes y áreas verdes y sus alrededores. Los efectos ambientales de la urbanización a menudo son intensificados por el cambio climático e incluyen el aumento de la contaminación, la disminución de la disponibilidad de alimentos y recursos, así como el aumento de la pobreza y la frecuencia de eventos climáticos extremos.

Los árboles urbanos, que a veces solo valoramos por su sombra o porqué dan un toque de color al asfalto urbano, son un elemento esencial para la ciudad. Estos pueden ayudar a mitigar algunos de los impactos negativos de la urbanización, y así hacer que las ciudades sean más resistentes a estos cambios.

Según la FAO (2017), se distinguen diferentes formas en que los árboles y los parques urbanos contribuyen a hacer las ciudades socioeconómicamente y ambientalmente más sostenibles. Un árbol grande puede absorber hasta 150 kg de CO<sub>2</sub> al año (FAO, 2016), por lo tanto, son de gran importancia en una ciudad donde la contaminación suele ser una problemática importante. Los árboles pueden mejorar la calidad del aire, haciendo de las ciudades lugares más saludables para vivir.

Además, los árboles grandes son excelentes filtros para contaminantes urbanos y partículas finas. Absorben gases contaminantes como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, ozono y óxidos de sulfuro (TECPA, 2017). También filtran partículas finas como polvo, suciedad o humo del aire atrapándolos sobre las hojas y la corteza (TreePeople, 2017).

También hay que tener en cuenta que los árboles juegan un papel importante en el aumento de la biodiversidad urbana, proporcionando a las plantas y animales un hábitat, alimento y protección (FAO, 2016).

La ubicación estratégica de los árboles en las ciudades puede ayudar a enfriar el aire entre 2 y 8 °C, reduciendo así el efecto de “isla de calor” urbano, una acumulación de calor por la inmensa mole de hormigón, y demás materiales absorbentes de calor (FAO, 2016).

Diferentes investigaciones (FAO, 2016) demuestran que vivir cerca de los espacios verdes urbanos y tener acceso a ellos puede mejorar la salud física y mental, por ejemplo, disminuyendo la tensión arterial alta y el estrés. Esto, a su vez, contribuye al bienestar de las comunidades urbanas.

Los árboles maduros regulan el flujo del agua y desempeñan un papel clave en la prevención de inundaciones y en la reducción de riesgos de desastres naturales. Un perennifolio o árbol maduro de hoja verde permanente, por ejemplo, puede interceptar más de 15 000 litros de agua al año (FAO, 2016).

Además, la colocación correcta de los árboles alrededor de los edificios puede reducir la necesidad de aire acondicionado en un 30 por ciento y reducir las facturas de calefacción en invierno entre un 20 y 50 por ciento (FAO, 2016).

Los árboles pueden contribuir al aumento de la seguridad alimentaria y nutricional local, proporcionando alimentos como frutas, frutos secos y hojas tanto para el consumo humano como para el forraje. Su madera, a su vez, se puede utilizar para cocinar y calentar (FAO, 2016).

Incluso hay estudios (FAO, 2016) que demuestran que la planificación de paisajes urbanos con árboles puede aumentar el valor de una propiedad en un 20 por ciento y atraer turismo y negocios.

En la Comunitat Valenciana disponemos de cada vez más tierras agrícolas abandonadas (PATFOR, 2012). No solo se van abandonando tierras de secano en el interior de la Comunitat, sino que cada vez más observamos un creciente abandono de tierras de regadío (FAO, 2016). Incluso, tierras muy cercanas a los cascos urbanos son abandonadas (FAO, 2016). Plantaciones de con especies arbóreas crecimiento rápido pueden crear una infraestructura verde cerca de los núcleos urbanos que compatibilice la función económica (generación de recursos maderables) con las funciones medioambientales (fijación de carbono, mejora de suelo y agua, regulación climática etc.) y las sociales (impacto paisajístico, disfrute de la infraestructura verde para actividades de ocio y deportivas, etc.). FAO (2016) concluye que una ciudad con una infraestructura verde bien planificada y bien manejada se vuelve más resistente, y sostenible. A lo largo de su vida, los árboles pueden proporcionar un paquete de beneficios que vale dos o tres veces más que la inversión en plantación y cuidado.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo parte del proyecto europeo LIFE+ ECOGLAUCA (10/ENV/ES/000458), “*Project of demonstration about the use of lignocellulosic short rotation coppices (SRC) as energetic crops in fighting against the climate change and the soil erosion*”. El objetivo general es la evaluación de cultivos lignocelulósicos bajo diferentes condiciones. Hay que tener en cuenta que las plantaciones son muy jóvenes, por lo que el trabajo se debe orientar al análisis del crecimiento en los dos primeros años tras el establecimiento de la plantación.

Actualmente, en la vertiente mediterránea, se ha producido un abandono de tierras de origen agrícola tradicionalmente destinadas a la producción de alimentos originando un excedente de tierras de cultivo. Esto, sumado a que el modelo actual agrario en Europa está llegando a su fin, hace que las explotaciones tengan una baja rentabilidad y, con ello, se esté produciendo un abandono progresivo de tierras cultivadas en las últimas décadas. Esto conlleva pérdidas económicas elevadas, en aquellos municipios donde la agricultura ha sido una fuente de creación de empleo (Vicente, 2016).

Es aquí donde los cultivos de crecimiento rápido, destinados a la obtención de biomasa, se presentan como una solución a la situación agraria actual.

Así, el objetivo principal del proyecto, partiendo de la transformación de una serie de parcelas seleccionadas en terrenos abandonados y marginales, es el cálculo y análisis de factores de forma para la obtención de biomasa lignocelulósica a partir de cultivos energéticos de especies de crecimiento rápido y corta rotación tanto para fines bioenergéticos como para la producción de madera.

Tales parcelas, se establecen en seis municipios de la provincia de Valencia: Bolbaite, Enguera, Fontanar dels Alforins, Genovés, Llosa de Ranes y Villanueva de Castellón.

La principal especie cultivada es *Paulownia clon COTEVISA 2*, híbrido resultante de *Paulownia elongata x fortunei*.

La importancia del estudio radica en el diseño y ejecución de nuevos cultivos para la obtención de biomasa con distintos fines, ya sean energéticos, madereros o de conservación de espacios naturales como un posible factor interviniente en el desarrollo rural sostenible, hacer frente al cambio climático, mejorar la calidad de suelos degradados y contaminados en terrenos antes urbanizables y de mejorar las características socioeconómicas y ambientales en todos los aspectos.

### 1.3. ESTADO DEL ARTE

El estudio del estado del arte se ha *centrado en tres aspectos: la caracterización y las experiencias en proyectos con la especie Paulownia spp*, el análisis de la calidad de la madera en plantaciones de crecimiento rápido, el análisis de la biomasa leñosa a partir de cultivos de crecimiento rápido, y la cuantificación volumétricos de los cultivos.

#### 1.3.1. BREVE DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

En este contexto en el que se contempla la producción de biomasa como un negocio, el uso de especies de crecimiento rápido, concretamente la *Paulownia spp*, se ha extendido notablemente debido al potencial que representa por su rápido crecimiento y sus favorables características

energéticas para la producción de biocombustibles sólidos (Falasca y Bernabe, 2010). Este análisis aborda dicha especie.

La *Paulownia spp* es una especie de origen asiático, con una notable presencia en China y el Este de Asia. La característica principal y más conocida de *la Paulownia spp*, es el rápido crecimiento en altura que ésta presenta en períodos muy cortos de tiempo y su adaptación a terrenos pobres en nutrientes, pudiendo obtener madera a partir de un individuo de una edad relativamente joven en comparación con otras especies destinadas a la producción energética o de biomasa.

La *Paulownia spp* soporta una serie de condiciones climáticas que varían en un rango muy amplio de temperaturas, oscilando desde los -20°C hasta los 55°C. Puede poblar y desarrollarse adecuadamente en suelos erosionados y pobres ya que hace un uso eficiente de los recursos disponibles. Se estima que podría llegar a vivir en suelos salinos (El-Showk y El-Showk, 2003). No obstante, esta especie alcanza su óptimo de desarrollo cuando las condiciones hídricas son elevadas, dada su naturaleza tropical y las características foliares y radicales, ambas dos muy desarrolladas.

En la Comunidad Valenciana existen crecientes proyectos de cultivos de *Paulownia spp* en régimen de crecimiento rápido, sobre todo en tierras agrícolas como alternativa a otros cultivos tradicionales (naranja, almendro, olivo, vid, etc.) (Sixto *et al.*, 2007). Esto ha llevado en los últimos años a disponer de viveros especializados, parcelas conocidas de ensayo y de producción dentro de la Comunidad Valenciana (Fernández, 2012).

### 1.3.2. ESTABLECIMIENTO DE CULTIVOS DE PAULOWNIA SPP. Y TRATAMIENTOS CULTURALES

La plantación en todas las parcelas sobre las que se ha trabajado en este estudio se realizó a monte alto, es decir, se llevaron a cabo mediante plantas resultado de la reproducción sexual, a las que tradicionalmente se ha orientado hacia labores protectoras o productoras (IDAE 2007).

Las plantas de Paulownia fueron obtenidas del vivero de COTEVISA en la localidad de L'Alcudia (Valencia) y pertenecen al clon COTEVISA 2 del híbrido *Paulownia fortunei x elongata*, obtenidas por cultivo in vitro.

La plantación tipo de cultivo de *Paulownia spp* a monte alto se llevó a cabo en un marco de plantación de 5,0 metros entre filas y en separación de plantas en hilera de 4,0 metros con el objetivo de aplicar turnos de 10 años aproximadamente destinando los pies cortados para madera aserrada.

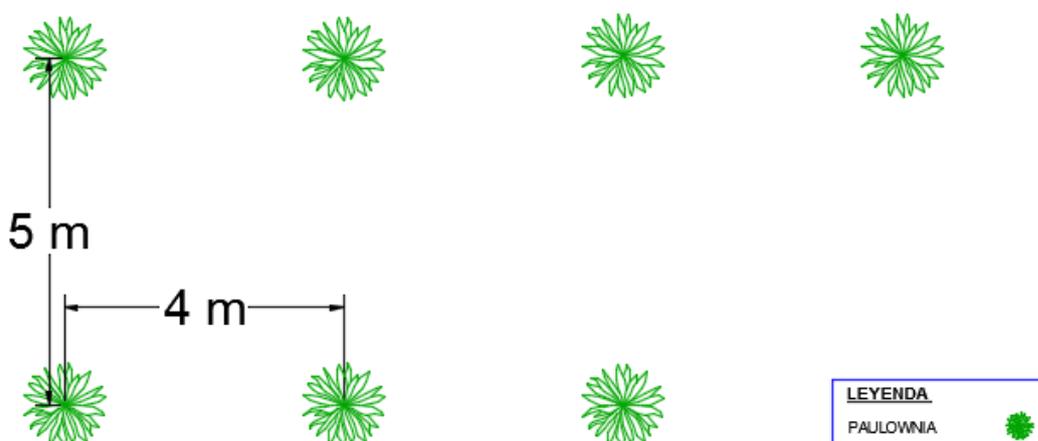


Figura 1. Marco de plantación de *Paulownia spp* a monte alto.

Con el objetivo de conseguir madera de calidad con unas características morfológicas y volumétricas óptimas, se aplicaron una serie de tratamientos culturales

Uno de estos tratamientos se basó en un corte de los pies por la base del fuste. Puesto que la especie cultivada tiene la capacidad de brotar de cepa (Homar, 2007), se procedió a recepar los árboles cortando las plantas a ras del suelo transcurrido el primer año de plantación y con el

objetivo de lograr un mayor crecimiento y vigor de las plantaciones, observándose la aparición de 2-3 rebrotes por cepa. En el caso de las plantas de *Paulownia spp*, cuya finalidad es la obtención de fustes rectos y madera de calidad se procedió a la selección del rebrote de mayor crecimiento, dejándose un único rebrote por cepa.

Otros autores señalan que el punto óptimo para el recepado se sitúa tras el segundo o tercer año de plantación, procediendo a aclarar los rebrotes a favor del más recto, bajo y vigoroso (El-Showk y El-Showk, 2003)

En la plantación inicial se produjeron una significativa cantidad de marras, factor influenciado por diferentes causas, entre las que destacan la depredación de plantas establecidas en campo inicialmente por especies de fauna local como conejos y liebres, siendo los daños provocados por estos animales de grave consideración como consecuencia de no instalar protectores contra herbívoros durante el establecimiento de la plantación, y en mayor medida, por la enorme densidad poblacional de los mismos, resultado de la existencia de una repoblación forestal en las proximidades de la zona de estudio.

La presencia de diversas zonas encharcadas en las proximidades de las plantas supuso también una necesidad en cuanto a la reposición de marras como consecuencia de las fuertes lluvias acontecidas durante la primavera del 2015, que provocaron una mortalidad elevada en los individuos jóvenes recién plantados junto con fuertes rachas de vientos durante estadios iniciales de crecimiento de las plantas, provocándose la rotura de los tallos de las mismas.

Se llevó a cabo un proceso de laboreo a lo largo del periodo estival con el objetivo de eliminar las malas hierbas del cultivo, así como una serie de escardas una vez seleccionados los rebrotes de las plantas obtenidas en el recepe.

En las parcelas experimentales en las cuales se debía efectuar una fertilización, se efectuó un aporte de nutrientes mediante abono tras la plantación.

Durante la época de crecimiento, se planteó llevar a cabo una serie de podas con el objetivo de eliminar los brotes laterales, es decir, las ramas, pero no así las hojas. Pretendiendo así que los individuos presenten fustes rectos y sin nudos, puesto que su finalidad es la obtención de madera de calidad.

En este trabajo se ha analizado la manera en que los tratamientos culturales, concretamente el de recepado, afecta a los parámetros volumétricos y del factor de forma con el fin de averiguar la relación y la presencia de diferencias significativas entre los pies a los que se les aplicó el tratamiento y los que no.

### 1.3.3. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA MADERA EN PLANTACIONES DE CRECIMIENTO RÁPIDO

La demanda de madera en el mercado está aumentando de forma continuada durante los últimos años. Las razones se centran en la creciente demanda de la industria, derivada del mayor consumo de productos finales. En nuestro entorno, la industria es altamente dependiente del aprovisionamiento regular de maderas de suficientes calidades y dimensiones (Oliver-Villanueva *et al.*, 2008).

Durante los últimos años se viene barajando cada vez más la idea de establecer plantaciones de maderas en régimen de crecimiento rápido con finalidad disminuir las necesidades de importación derivadas de la escasez de estos recursos en España y la constante subida de los precios.

Por otra parte, es una realidad que desde hace algunas décadas se está produciendo un abandono de las tierras rurales del interior debido por una parte a la baja rentabilidad de las tierras ya un éxodo de la población rural hacia las ciudades o zonas urbanas del litoral (Vicente, 2015).

Los objetivos que mueven a iniciar proyectos de plantaciones de madera de calidad de crecimiento rápido se fundamentan en la alta rentabilidad a medio y largo plazo, pretendiendo convertir los proyectos en un negocio de baja inversión y alta rentabilidad además de alcanzar una sostenibilidad en el tiempo. La preservación del medio ambiente forma parte de los mismos, ya que la madera es un material con numerosas ventajas medioambientales: es completamente renovable, contribuyente activamente a la fijación de CO<sub>2</sub> mitigando el cambio climático y siendo una de las despensas más importantes de carbono del planeta, es perfectamente reciclable y generador de energía no contaminante. Además, las plantaciones contribuyen a fijar el suelo, evitar la erosión y a contribuir a los mejores ciclos del agua (Álvarez-Moreno y Oliver-Villanueva, 1997).

Como impulsores del desarrollo rural, los proyectos de plantaciones intentan reactivar áreas desprotegidas y hasta ahora abandonadas, con lo que se pretende generar actividad social y laboral en estas zonas rurales contribuyendo a la fijación de la población y a la generación de riqueza.

#### 1.3.4. BIOMASA A PARTIR DE CULTIVOS LEÑOSOS DE CRECIMIENTO RÁPIDO

El uso de la biomasa herbácea y leñosa cada día adquiere más importancia en la generación de energía calorífica y eléctrica (Marcos Martin *et al.*, 2009). Debido a su naturaleza renovable, poder calorífico y a su disponibilidad tiene usos potenciales.

En términos generales la biomasa hace referencia a aquella fracción de materia orgánica de origen vegetal o animal, incluidos los residuos y desechos orgánicos, que pueden ser usados para obtener energía. La directiva 2009/28/UE define la biomasa como la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de la agricultura, tanto de origen animal como vegetal, silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales.

En este marco, donde la biomasa se suma a los beneficios generales compartidos por otras renovables con una serie de características específicas para apoyar el mantenimiento y desarrollo de los sectores agrícola y forestal en las zonas rurales (FAO, 2012), se potencia e incentiva tanto la generación como las actividades destinadas al uso de plantaciones y/o residuos forestales debido a las grandes oportunidades y ventajas que suponen la posibilidad de diseñar y organizar la obtención y extracción de las materias primas necesarias para la obtención de energía.

#### 1.3.5. CUANTIFICACIÓN VOLUMÉTRICA DE LA BIOMASA LEÑOSA EN PLANTACIONES DE CRECIMIENTO RÁPIDO

Un factor relevante en estos tipos de aprovechamiento en los que la producción se puede planificar y optimizar de acuerdo a las necesidades expresadas por la demanda del mercado energético (Spinelli y Nati, 2007) es la cuantificación del volumen que se puede extraer de las plantaciones.

Para la correcta estimación de los volúmenes de los individuos de las plantaciones es importante tener en cuenta la morfología del fuste, ya que éstos no siempre presentan la forma ideal que se tiene de ellos y por lo tanto tampoco presentan los volúmenes ideales con los que se los suele comparar Cailliez (1980).

El cálculo del volumen comercial de árboles en pie es un requisito básico de toda actividad forestal ya que el conocer las existencias volumétricas de los árboles es de suma importancia en la planificación de las actividades de gestión y aprovechamiento forestal (Acosta-Mireles y Carrillo-Anzures, 2008). La práctica requiere de un instrumento y unos parámetros fáciles, rápidos y de exactitud suficiente para tal propósito. El instrumento normalmente aplicado que cumple con estos requisitos es el factor de forma.

Por este motivo, la estimación se realiza a través del cálculo de factores de forma, método que relaciona forma y volumen a través de una relación entre el volumen real del fuste y el volumen de un sólido en revolución. En consecuencia, el factor de forma se entiende como un factor de reducción del volumen de un cilindro al volumen real de un árbol Corvalán y Hernández (2009).

El factor de forma o coeficiente mórfico se define como una relación numérica entre un diámetro menor del fuste y un diámetro mayor. Se determina a partir del volumen de un árbol en pie y el volumen de un sólido en revolución modelo teniendo en cuenta los parámetros anteriormente mencionados, a saber: diámetro y altura.

Así, el objeto principal de este trabajo es el cálculo y análisis de dicho patrón de estudio morfológico y volumétrico en plantaciones de especies de crecimiento rápido de rotación corta en parcelas distribuidas en diferentes localidades de la Comunidad Valenciana bajo diferentes tratamientos conocido como factor de forma.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVOS GENERALES

El objetivo general del estudio es analizar el volumen y el factor de forma de cultivos intensivos jóvenes de *Paulownia spp.* en plantaciones urbanas en régimen de crecimiento rápido destinadas al aprovechamiento maderable.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcanzar el objetivo general, el estudio tiene los siguientes objetivos específicos:

1. Identificar las parcelas de estudio.
2. Establecer la metodología de muestreo de diámetros y alturas.
3. Calcular el volumen y los factores de forma en diferentes tipos de cultivo.
4. Analizar las posibles diferencias de volumen y factor de forma entre parcelas y, con ello, la influencia de la estación sobre los regímenes de crecimiento de jóvenes plantaciones coetáneas.
5. Analizar la influencia del tratamiento de recepado sobre el crecimiento en volumen en los dos primeros años de las plantaciones.

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS PARCELAS DE ESTUDIO

La situación de las parcelas viene determinada a partir de una serie de plantaciones previas que se realizaron en terrenos de diferentes localidades de la Comunitat Valenciana. La plantación se ejecutó en el marco del proyecto europeo LIFE+ ECOGLAUCA (10/ENV/ES/000458), “*Project of demonstration about the use of lignocellulosic short rotation coppices (SRC) as energetic crops in fighting against the climate change and the soil erosion*”.

En la recogida de datos para el análisis se seleccionaron un total de cuatro parcelas distribuidas en los municipios de Enguera, Villanueva de Castellón y La Llosa de Ranes.

Éstas se identificaron mediante sus coordenadas UTM, obtenidas a partir de la visita a las mismas. Se empleó el programa de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para situar las parcelas dentro de sus respectivos municipios municipio.

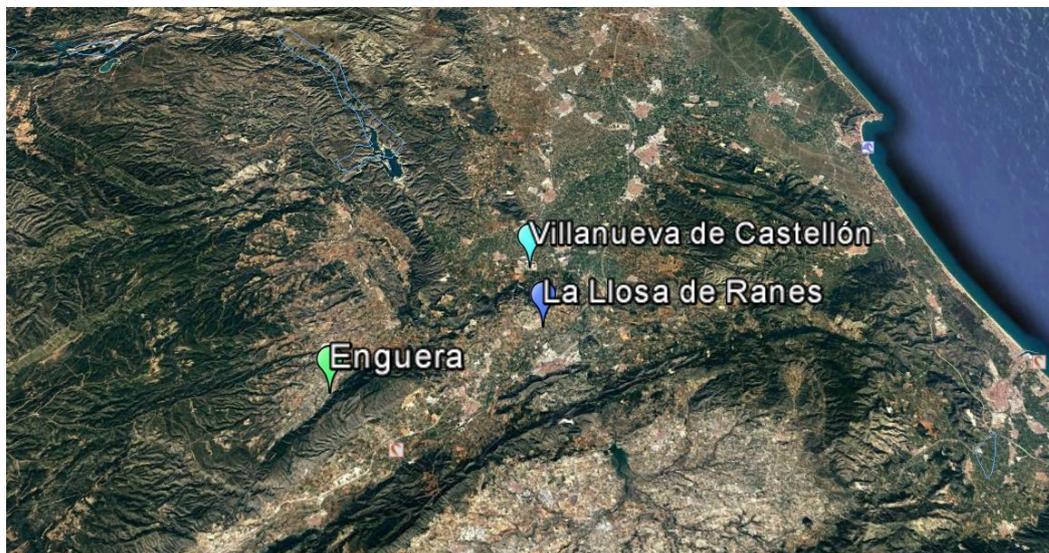


Figura 2. Localización de las parcelas de estudio.

### 3.1.1. PARCELA ENGUERA

En este municipio se encuentran dos parcelas de titularidad privada con cesión de uso al Ayuntamiento de Enguera situadas en la zona conocida como partida de La Umbría.

En la siguiente figura se observa la localización de ambas parcelas en el término municipal.

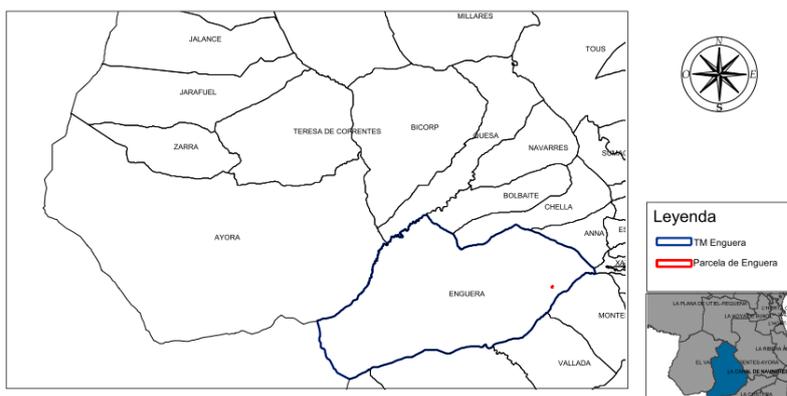


Figura 3. Localización de la parcela en el término municipal de Enguera

El terreno se encuentra dividido a su vez en dos subparcelas separadas por una vía de circulación, quedando una de ellas al norte y la otra al sur de la misma.



Figura 4. Parcelas y cultivo de Paulownia spp de Enguera.

Tabla 1. Coordenadas y superficie de la plantación de Enguera.

Municipio	Enguera
Ubicación (UTM Huso 30 Norte ETRS 89)	Coordenada X (central): 700.008 m Coordenada Y (central): 4.316.186 m Coordenada X (central): 699.994 m Coordenada Y (central): 4.316.683 m
Superficie (m <sup>2</sup> )	2441,444

### 3.1.2. PARCELA LA LLOSA DE RANES

En las siguientes figuras y tabla se puede observar la situación de la parcela de estudio situada en la localidad de La Llosa de Ranes de titularidad municipal.

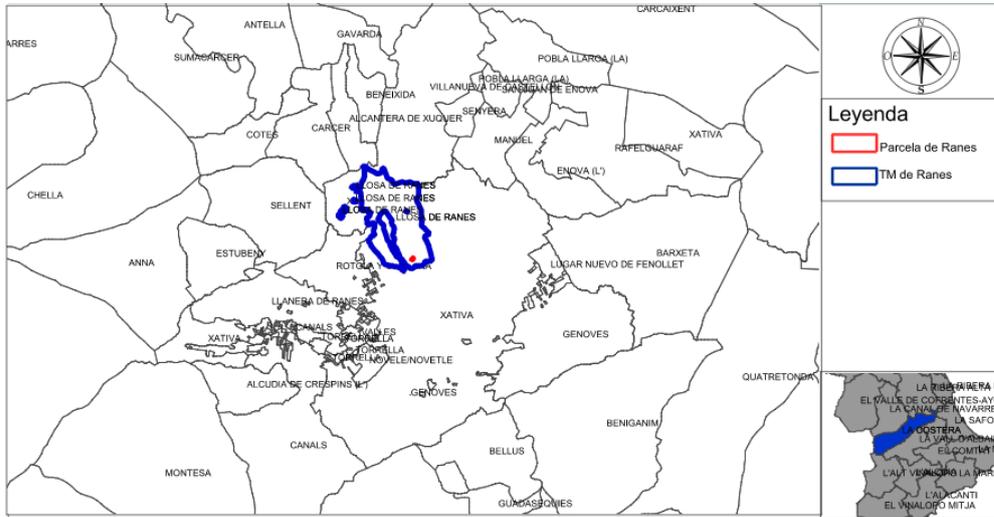


Figura 5. Localización de la parcela en el término municipal de La Llosa de Ranes.



Figura 6. Parcela y plantación de *Paulownia spp* de La Llosa de Ranes.

Tabla 2. Coordenadas y superficie de la parcela de La Llosa de Ranes.

Municipio	La Llosa de Ranes
UBICACIÓN (UTM Huso 30 Norte ETRS 89)	Coordenada X (central): 713.971 m Coordenada Y (central): 4.321.478 m
Superficie(m <sup>2</sup> )	2351

### 3.1.3. PARCELA VILLANUEVA DE CASTELLÓN

En las siguientes figuras y tabla se puede observar la localización de la parcela de estudio situada en el término municipal de Villanueva de Castellón de titularidad municipal.

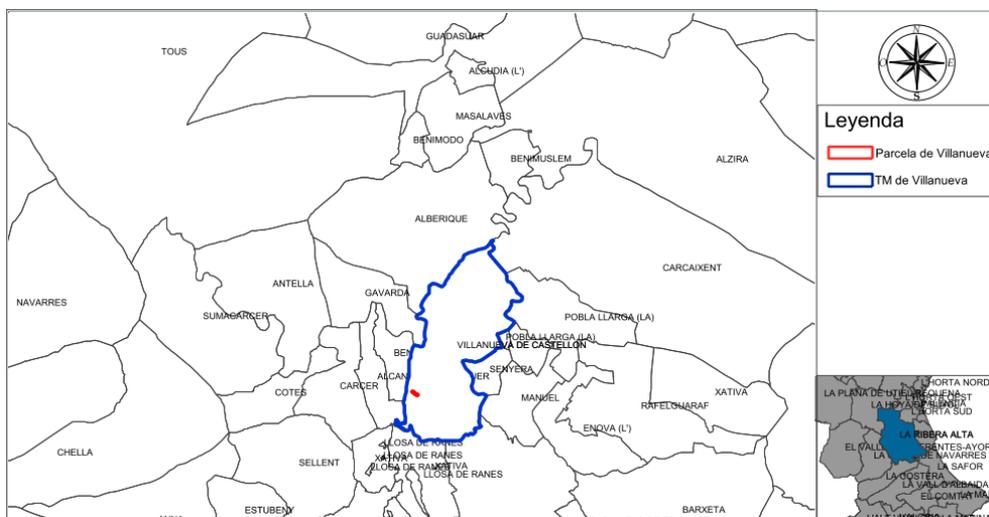


Figura 7. Localización de la parcela en el término municipal de Villanueva de Castellón.



Figura 8. Parcela y plantación de Paulownia spp de Villanueva de Castellón.

Tabla 3. Coordenadas y superficie de la parcela de Villanueva de Castellón.

Municipio	Villanueva de Castellón
UBICACIÓN (UTM Huso 30 Norte ETRS 89)	Coordenada X: 691.672 m Coordenada Y: 4.293.685 m
Superficie(m <sup>2</sup> )	6600

### 3.2. SELECCIÓN DE LOS INDIVIDUOS

Se seleccionaron un total de 15 individuos por parcela siguiendo estudios estadísticos sobre características y propiedades de la madera que indican que la selección de 15 árboles representativos por parcela es suficiente para alcanzar grados de confianza del 95% (Oliver-Villanueva 1993; Hapla *et al.*, 2000).

Los individuos se eligieron al azar entre todos los pies de la plantación evitando que fueran colindantes los unos con los otros y desestimando aquellos al borde de la parcela, con fustes excesivamente horquillados y que presentasen algún tipo de afección causada por hongos o insectos. La selección total de individuos por parcela de estudio se dividió entre pies recepados y pies sin recepar (escogiendo respectivamente 7 y 8 árboles).

### 3.3. TOMA DE DATOS

Se tomó el DAP (diámetro a la altura del pecho), la altura total de los individuos muestreados y una segunda medición del diámetro situado a la altura media del fuste, ya que todos los pies muestreados superaban el 1,3m de altura o altura normal y ninguno de ellos resultaba excesivamente alto como para dificultar las mediciones debido a sus dimensiones. Los datos se tomaron de la misma manera para pies recepados y sin recepar, midiendo los diámetros del fuste o guía principal y las alturas totales.

La medición de los diámetros se llevó a cabo mediante un calibre o pie de rey, midiendo el diámetro máximo para después girar 22, 5° en el sentido horario, obteniendo el diámetro más representativo según Siostrzonek (1958) y Oliver-Villanueva (1993). La altura total del fuste se midió con cinta métrica.

### 3.4. CARACTERIZACIÓN VOLUMÉTRICA DE LA BIOMASA AÉREA

#### 3.4.1. RELACIÓN VOLUMEN-DIÁMETRO

Para todas las plantaciones de *Paulownia spp* distribuidas en las parcelas anteriormente citadas se tomaron una serie de datos dendrométricos para poder llevar a cabo el cálculo del factor de forma y una estimación de los volúmenes.

La estimación de volúmenes en cultivos energéticos destinados a biomasa de *Paulownia spp* se llevan a cabo de una forma distinta al del resto de especies, ya que para ésta existe un volumen aparente y uno real, debido a que la especie presenta la particularidad de que su fuste es hueco en la parte central, variando el diámetro del mismo con la altura, con un menor diámetro en la base, aumentando hasta la altura normal para, posteriormente, ir disminuyendo hasta alcanzar la oclusión aproximadamente a los 2,5m de altura.

Para el cálculo de ambos volúmenes, aparente y real, se utilizó la fórmula de Huber (1828).

Fórmula de Huber:

$$V = g \times H$$

Donde g es el área basal del fuste (m<sup>2</sup>) y H es la altura total del fuste (m).

Una vez obtenidos estos resultados se determinó la relación entre el diámetro y el volumen a través de gráficas de dispersión, ecuaciones y el R<sup>2</sup>.

#### 3.4.1. FACTOR DE FORMA

Para el cálculo de este parámetro se utilizaron los volúmenes aparente y real que vienen determinados según la fórmula de Malleux y Montenegro (1971).

$$\text{Factor de Forma} = \frac{\text{Volumen real}}{\text{Volumen aparente}}$$

### 3.5. MÉTODOS ESTADÍSTICOS

Con el fin de analizar las diferencias significativas de los resultados obtenidos, se realizaron dos pruebas estadísticas para cada una de las parcelas y entre las mismas.

Para comprobar la influencia de la estación sobre el volumen y el factor de forma se llevó a cabo un análisis de la varianza, también conocido como ANOVA. Mientras que para analizar la influencia del tratamiento de recepado sobre los parámetros anteriormente mencionados se ejecutó un T-test con la finalidad de averiguar la existencia de diferencias significativas.

Ambas pruebas se llevaron a cabo mediante el uso del programa informático Excel.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. VOLUMEN

#### 4.1.1. VOLUMEN MEDIO

En las diferentes parcelas estudiadas en los municipios de la Comunitat Valenciana el volumen obtenido es muy próximo. No obstante, el valor calculado para la parcela norte situada en la localidad de Enguera es el más alto entre las plantaciones debido a la heterogeneidad de los datos recopilados, ya que sobre la misma no se dieron las condiciones que apunta Harald (2012) para encontrar diferencias significativas, como son el desarrollo en condiciones medioambientales (clima, suelo y factores fisiográficos) y culturales (riego, marco de plantación, etc.) diferentes.

Tabla 4. Volúmenes medios por parcela

Parcela	Enguera Norte	Enguera Sur	Villanueva de Castellón	La Llosa de Ranes
Volumen medio(m <sup>3</sup> /árbol)	0,0029	0,0015	0,0011	0,0011

Los resultados para todas y cada una de las parcelas se asemejan a los valores obtenidos por otros autores como Fernández Puratich (2012), quien apunta que el volumen para plantaciones de *Paulownia spp* de 6 meses de edad situadas en la zona interior de la Comunitat Valenciana es de 0,0030 m<sup>3</sup>/árbol.

Según apunta Zhao-Hua et al. (1986), en condiciones normales a 10 años de edad la *Paulownia spp* debería alcanzar un volumen de 0,3 a 0,5 m<sup>3</sup>/árbol y que bajo condiciones óptimas este volumen lo alcanzaría en cinco o seis años. Otros autores, como Hakan-Akyildiz y Sahin-Kol (2009) señalan que cada árbol de *Paulownia spp* podría llegar a producir un metro cúbico de madera cada cinco o siete años.

#### 4.1.2. INFLUENCIA DE LA ESTACIÓN SOBRE EL VOLUMEN

Para determinar el grado de relación entre las plantaciones y si presentan o no diferencias significativas en cuanto a los distintos volúmenes calculados se efectuó un análisis de la varianza o prueba ANOVA.

En la representación gráfica se puede observar que el volumen medio de la plantación situada en la parcela norte de la localidad de Enguera es ligeramente superior al del resto de las plantaciones. No obstante, al realizar el análisis estadístico, los resultados obtenidos demuestran que no se encuentran diferencias significativas entre los volúmenes calculados para cada una de las parcelas, ya que la probabilidad es superior a 0,05. Esto significa que la estación no influye sobre el crecimiento y por consiguiente sobre el volumen obtenido en este caso.

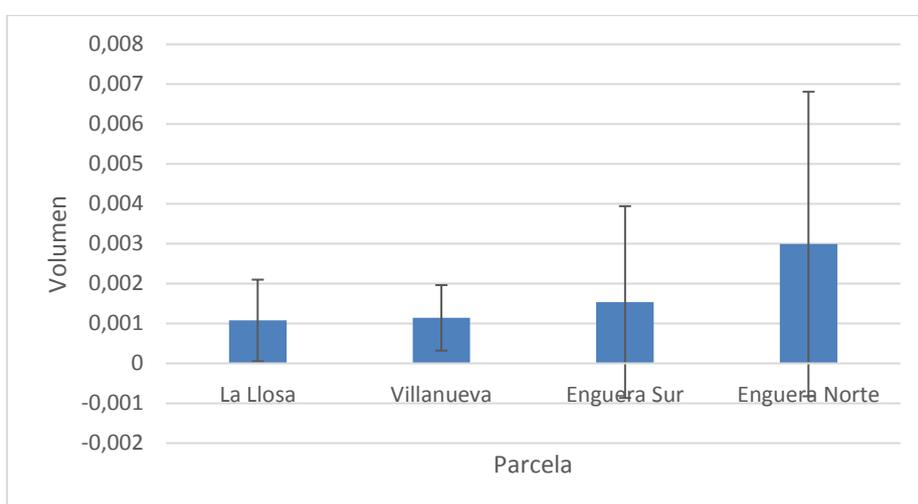


Figura 9. Representación gráfica ANOVA Volumen por parcela.

Como indica, debido a las propias características de la especie, Fernández Puratich (2012) se hace necesario un estudio futuro en profundidad de la influencia que la oclusión pueda causar sobre la especie o variedad genética, la estación y el régimen de crecimiento diametral como resultado de los tratamientos culturales.

Tabla 5. Resultados estadísticos ANOVA para volúmenes.

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
<b>Entre grupos</b>	1,1992E-05	2,1724	0,1014	2,7694

#### 4.1.3. INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO DE RECEPADO SOBRE EL VOLUMEN

Para comprobar la influencia del tratamiento sobre los volúmenes calculados en las parcelas se ejecutó un T-Test o prueba-T con el fin de comparar las medias y averiguar la existencia de diferencias significativas entre los volúmenes de los pies recepados y sin recepar.

Tras realizar el análisis para todas y cada una de las plantaciones de estudio, se observó que para la plantación situada al norte de la vía de circulación en la localidad de Enguera no se encontraron diferencias significativas entre el volumen de los pies a los que se les aplicó el tratamiento de recepado y a los que no al igual que para el resto de las plantaciones.

Esto indica que no hay una influencia directa y significativa del tratamiento de recepado sobre la variación del volumen para la especie estudiada bajo estas condiciones. Por el contrario, Fernández Puratich (2012) apunta que sí que existen diferencias significativas entre una misma especie cultivada en zonas próximas, pero que éstas se ven influenciadas por la densidad de plantación y otros factores como pueden ser los tratamientos culturales (riego).

En la siguiente tabla se puede observar la diferencia ínfima entre los volúmenes obtenidos diferenciados por el tratamiento aplicado, así como el valor estadístico calculado para comprobar que no se aprecian diferencias significativas.

Tabla 6. Resultados estadísticos T-test entre recepado y no recepado para volúmenes.

<b>Parcela</b>	<b>Enguera Norte</b>	<b>Enguera Sur</b>	<b>Villanueva de Castellón</b>	<b>La Llosa de Ranes</b>
<b>Volumen medio recepado</b>	0,0029	0,0011	0,0012	0,0011
<b>Volumen medio no recepado</b>	0,003	0,0019	0,001	0,0011
<b>T-test</b>	0,9836	0,4732	0,5933	0,9365

Los resultados obtenidos a la hora de analizar la influencia del tratamiento de recepado sobre el volumen indican que el tratamiento no ha ocasionado ninguna mejora en cuanto a la obtención de dimensiones o volúmenes mayores. No obstante, se confirma y justifica el tratamiento ya que los pies que lo experimentaron sufrieron un revigorizamiento, alcanzando los valores dimensionales y volumétricos de los pies sin recepar en tan solo un año.

Este análisis se contrapone al realizado por Homar Sánchez (2013), quien tras realizar un recepado en el mismo año en el que se realizó la plantación, obtuvo diferencias significativas en

las características dimensionales, siendo mayores en los pies que no fueron recepados. El recepado efectuado fue contraproducente. El ciclo de corta óptimo se sitúa alrededor de los 3 años de edad (El-Showk y El-Showk, 2003).

## 4.2. FACTOR DE FORMA

### 4.2.1. FACTOR DE FORMA MEDIO

Para la plantación de *Paulownia spp* situada al norte de la vía de circulación en la localidad de Enguera, se ha obtenido un factor de forma promedio de 0,69, teniendo en cuenta todos los pies muestreados sin hacer distinciones frente al tratamiento que se aplicó.

En el cultivo localizado en el término de Enguera situado al sur de la vía de circulación se observa un patrón similar al calculado en la parcela anterior. El factor de forma promedio está en torno a un valor de 0,70.

Analizando los resultados para el factor de forma obtenidos de la parcela situada en la localidad de Villanueva de Castellón se observa que el promedio es el más elevado en comparación con el del resto de las plantaciones situadas en las otras localidades. El valor medio de 0,71 puede ser entendido como una reducción del diámetro menor a medida que aumenta la altura.

En la parcela situada en la localidad de la Llosa de Ranes, tanto el promedio para la parcela como los calculados para los pies recepados y sin recepar resultan estar alrededor de un valor de 0,69.

De acuerdo con los cálculos realizados, esta especie confirma la observación de que el coeficiente mórfico de las especies tropicales que tienen un crecimiento rápido, son diferentes y en su mayoría superan la cifra de 0.65 (Estremadoyro, 2014). El factor de forma obtenido en cada una de las parcelas de estudio se sitúa en torno a un valor de 0,69, lo que indica que esta especie tiende hacia una forma más bien cilíndrica, lo que se ajusta a lo observado por otros autores (Ojeda 1977, Lombardi y Huerta, 2006), que señalan que un valor promedio del factor de forma utilizado en latifoliadas de origen tropical y subtropical está en torno a 0,70.

Tabla 7. Factores de forma medios por parcela.

Parcela	Enguera Norte	Enguera Sur	Villanueva de Castellón	La Llosa de Ranes
<b>Factor de forma medio</b>	0,6980	0,7018	0,7131	0,6943

#### 4.2.2. INFLUENCIA DE LA ESTACIÓN SOBRE EL FACTOR DE FORMA

Para determinar el grado de relación entre las plantaciones y si presentan o no diferencias significativas en cuanto a los distintos factores de forma calculados se efectuó un análisis de la varianza o prueba ANOVA.

En la representación gráfica se puede observar que el factor de forma medio de la plantación situada en la parcela de la localidad de Villanueva de Castellón es ligeramente superior al del resto de las plantaciones. No obstante, al realizar el análisis estadístico, los resultados obtenidos demuestran que no se encuentran diferencias significativas ya que la probabilidad es superior a 0,05. Esto significa que la estación no influye sobre el crecimiento y por consiguiente sobre la morfología de la especie en este caso.

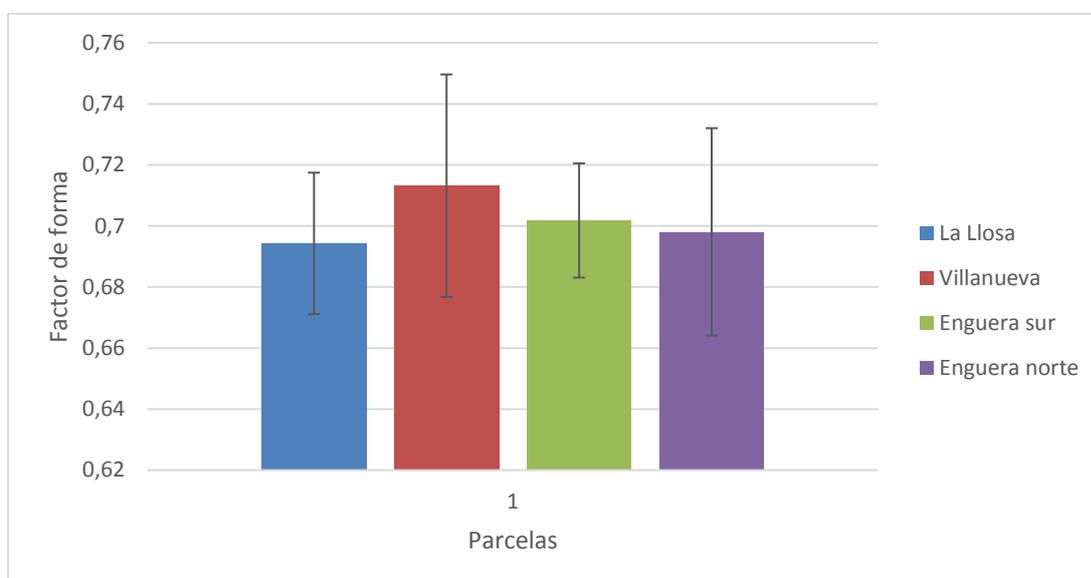


Figura 10. Representación gráfica ANOVA Factor de forma por parcela.

Como indica, debido a las propias características de la especie, Fernández Puratich (2012) se hace necesario un estudio futuro en profundidad de la influencia que la oclusión pueda causar sobre la especie o variedad genética, la estación y el régimen de crecimiento diametral como resultado de los tratamientos culturales.

Tabla 8. Resultados estadísticos ANOVA para factores de forma.

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
<b>Entre grupos</b>	0,000998544	1,184233964	0,324028302	2,769430932

#### 4.2.3. INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO DE RECEPADO SOBRE EL FACTOR DE FORMA

Para los pies que sufrieron el proceso de recepado en la parcela norte de Enguera, se observa que los valores de los factores de forma calculados son ligeramente más elevados que los de los pies que no fueron recepados debido a que éstos presentan unos diámetros menores en comparación, siendo el promedio para el recepado de 0,71 y de 0,68 para los pies sin recepar. Éstos resultados demuestran que los árboles muestreados en esta parcela tienden a presentar un fuste más bien cilíndrico a pesar de la evidente conicidad que presentan a simple vista (Fernández Puratich, 2012).

De igual manera se aprecia una diferenciación en el parámetro para el tratamiento de recepado en la parcela sur situada en Enguera, el cual presenta valores y un promedio ligeramente más elevado en los pies en los que sí que se llevó a cabo. No obstante, al contrario que sucedía en la parcela localizada al norte, los valores promedio se encuentran más próximos debido a la homogeneidad de las medidas tomadas en cuanto a los diámetros.

En la parcela localizada en el municipio de Villanueva de Castellón se aprecia una mayor diferencia entre los valores factores de forma calculados, siendo de 0,73 y 0,69 para los pies recepados y sin recepar respectivamente. Esto se debe a que los pies muestreados sobre los que se aplicó el tratamiento presentan una disminución del diámetro menor en comparación con el resto de los individuos de las demás plantaciones.

Para la plantación situada en La Llosa de Ranes los valores de los factores de forma para los pies recepados y no recepados no distan tanto como en el resto de parcelas, estando ambos alrededor de 0,69.

Los valores obtenidos al observar la influencia del tratamiento de recepado sobre el factor de forma con el T-test resultaron no ser estadísticamente significativos en ninguna de las parcelas de estudio exceptuando la parcela norte de la localidad de Enguera, lo que puede traducirse en un error a la hora de la toma de datos.

*Tabla 9. Resultados estadísticos T-test entre recepado y no recepado para factores de forma.*

<b>Parcela</b>	<b>Enguera Norte</b>	<b>Enguera Sur</b>	<b>Villanueva de Castellón</b>	<b>La Llosa de Ranes</b>
<b>Factor de forma medio recepado</b>	0,7174	0,7069	0,7306	0,6897
<b>Factor de forma medio no recepado</b>	0,6811	0,6973	0,6979	0,6983
<b>T-test</b>	0,0363	0,3404	0,1038	0,5146



## 5. CONCLUSIONES

Siguiendo la estructura general del trabajo y los objetivos planteados al igual que los resultados obtenidos, su discusión y la bibliografía referenciada se pueden extraer las siguientes conclusiones.

No se observó ninguna diferencia significativa entre volúmenes y factores de forma de las distintas parcelas, por lo que la estación no supuso un factor de relevancia para el desarrollo de la especie en este caso.

El tratamiento de recepado efectuado en las plantaciones jóvenes de crecimiento rápido de *Paulownia spp* no supone una mejora o incremento ni un empeoramiento en los volúmenes y factores de forma calculados para individuos con la misma edad. Tanto los pies tratados como los que no lo fueron no muestran diferencias significativas en cuanto a sus regímenes de crecimiento y no presentan grandes diferencias en cuanto a sus dimensiones, siendo éstas muy próximas entre las distintas parcelas, individual y colectivamente.

El recepado queda justificado para la especie ya que los pies a los que se les aplicó el tratamiento igualaron en dimensiones a los pies a los que no se les había tratado con el mismo, alcanzando los individuos con 1 año de edad (post recepado) a los individuos de las plantaciones que llevaban en pie 2 años.

La especie se caracteriza por una buena morfología en cuanto al fuste. No obstante, éste presenta una oclusión en su interior, lo que dificulta una estimación exacta de los volúmenes y factores de forma.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Acosta-Mireles, M. y Carrillo-Anzures, F., 2008. *Tabla de volumen total con y sin corteza para Pinus montezumae Lamb. en el estado de Hidalgo*. Folleto Técnico No. 7. INIFAP-CIR Centro. 20 pp.

Álvarez Moreno, C., Oliver-Villanueva, J.V., 1997. *Estudio de la calidad de la madera en rollo del monte: La Dehesa de Quintanar de la Sierra (Burgos)*. Congreso Nacional Forestal Español. Irati, Navarra (España).

DIRECTIVA 2009/28/UE del Parlamento Europeo y del Consejo. Fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE. Publicado en *Diario Oficial de la Unión Europea*, núm. L 140/16 de 5/06/2009.

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

Estremadoyro, J.A. (2014). *DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FORMA O COEFICIENTE MORFICO DE manilkara bidentata (QUINILLA COLORADA) EN EL CONSOLIDADO OTORONGO- PROVINCIA DE TAHUAMANU*. Tesis para optar al título profesional de Ingeniero Forestal. Universidad Amazónica de Madre de Dios.

EUROPA PRESS (2016)- *Así evolucionará la población en las grandes ciudades españolas*. <http://www.publico.es/sociedad/han-crecido-y-creceran-grandes.html>.

Falasca, S. y Bernabe, M., 2010. *Aptitud agroclimática argentina para la implantación de bosques energéticos de Paulownia spp*. *Revista Geográfica* (148): 151-164 pp.

FAO (2017). FABIO SALBITANO, SIMONE BORELLI, MICHELA CONIGLIARO, YUJUAN CHEN. *Directrices para la silvicultura urbana y periurbana ESTUDIO FAO: MONTES*

FAO (2016). *Beneficios de los árboles urbanos 2016*. Job Number: [C0024](#); Corporate author: Forest Assessment, Management and Conservation Division.

Fernández Puratich, H. (2012). *Valorización integral de la biomasa leñosa agroforestal a lo largo del gradiente altitudinal en condiciones mediterráneas*. Tesis Doctoral en Ingeniería y Producción Industrial. Universitat Politècnica de València.

Food and Agriculture Organization (FAO), 2012. *Resultado de Río+20 en medidas 578 prácticas dendroenergía para un futuro sostenible*. Trabajo presentado en el Comité forestal, 579 21º período de sesiones. Roma, Italia.

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

Hapla, F., Oliver-Villanueva, J.V., Gonzalez-Molina, J.M., 2000. *Effect of silvicultural management on wood quality and timber utilisation of Cedrus atlantica in the European mediterranean area*. *Holz als Roh- und Werkstoff – European Journal of Wood and Wood Products* 58: 1-8pp.

Homar Sánchez, C. *Ensayo de plantación de clones de Paulownia para la producción de Biomasa en las fincas de Bosques Naturales S.A., durante el periodo 2009-2013*. UGF's de Cáceres y Toledo. Departamento de Explotación de Fincas, BNSA. Departamento Técnico Bosques Naturales S.A Alcobendas a 27 de septiembre del 2013.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA) 2007. *Biomasa: Cultivos energéticos*. BESEL, S.A. (Departamento de Energía).

Lombardi, I., Huerta, P., 2006. *Controlando la Caoba*. *Actualidad Forestal Tropical* 14 (3): 5-9pp.

Malleux, J. y Montenegro, E. (1971). *Manual de Dasometría*. Universidad Nacional la Molina, Proyecto FAO-UNDP. 76-107 pp.

Marcos Martín, F., Latorre Monteagudo, B., Izquierdo Osado, I., Pascual Castaño, C., 2009. *Uso energético de la Paulownia en España*. *Agricultura, Revista Agropecuaria*. Núm 917.

Ojeda, W. 1977. *Inventario Forestal de los Bosques de la Comunidad de Iruquis*. Ministerio de Agricultura de Perú. 12pp.

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

Spinelli, R. y Nati, C. (2007). *Woody Biomass Production from agricultural land in 659 Italy*. Simposio llevado a cabo en IEA Bioenergy Task 30 Workshop. Short rotation crops for 660 bioenergy systems 12-17 August 2007. Ed. University of Guelph. Ontario, Canada.

TECPA (2017). *Las plantas y la contaminación atmosférica*. Consultoría ambiental, 28 Agosto 2017.

TreePeople (2017). *Los 22 beneficios principales de los árboles*.

Vicente Ferrer, J. 2016. *Proyecto de establecimiento de parcelas experimentales de Paulownia spp en la provincia de Valencia*. Trabajo Fin de Máster. Máster en Ingeniería de Montes. ETSIAMN, Universitat Politècnica de València.

Zhao-Hua, Z., Yao Guo, X., Xin-Yu, L. (1986). *Paulownia in China: cultivation and utilization*. The Chinese Academy of Forestry Beijing. China. Published by Asian network for biological sciences and International development research centre. 74 pp.