



INFORME DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

“Forestación de zonas semiráridas de Castilla-La Mancha con Paulownia spp.”

INVESTIGADOR PRINCIPAL:

Dr. ANTONIO DEL CERRO BARJA

CENTRO: ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRONOMOS DE
ALBACETE

DEPARTAMENTO: CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROFORESTAL Y GENÉTICA

ENERO DE 2009

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.-

- 1.1. Antecedentes
- 1.2. Características del género *Paulownia* spp.
- 1.3. Zona de estudio.
 - 1.3.1. Clima.
 - 1.3.2. Suelo.

2. OBJETIVOS.-

3. METODOLOGÍA Y TOMA DE DATOS.-

- 3.1. Consideraciones generales.
- 3.2. Diseño experimental inicial.
- 3.3. Diseño experimental definitivo.
- 3.4. Cuidados culturales.
- 3.5. Toma de datos
 - 3.5.1. Inventario de las parcelas catastrales (octubre 2007, julio y octubre 2008).
 - 3.5.2. Biomasa y fijación de CO₂ (octubre 2008).
 - 3.5.3. SLA (Specific Leaf Area).
 - 3.5.4. Poder calorífico (octubre 2008).
 - 3.5.5. Muestreo de posibles plagas y enfermedades (año 2007 y 2008).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.-

- 4.1. Labores culturales realizadas.-
 - 4.1.1. Año 2007.
 - 4.1.2. Año 2008.
- 4.2. Inventario de las parcelas catastrales.-
 - 4.2.1. Inventarios anuales.
 - 4.2.2. Variabilidad espacial y temporal de las parcelas experimentales.
- 4.3. Biomasa y fijación de CO₂.-
 - 4.3.1. Ensayos destructivos.
 - 4.3.2. Cubicación y producción.
 - 4.3.3. Fijación de CO₂.

4.4. SLA (Specific Leaf Area).

4.5. Poder calorífico.

4.6. Muestreo de posibles plagas y enfermedades.

4.7. Reportaje fotográfico.

4.7.1. Establecimiento de la plantación experimental (mayo 2007).-

4.7.2. Desarrollo de la plantación experimental (agosto 2007).-

4.7.3. Desarrollo de la plantación experimental (septiembre 2007).-

4.7.4. Recepe (marzo 2008).-

4.7.5. Daños por helada en la plantación experimental (junio 2008).-

4.7.6. Desarrollo de la plantación experimental (junio 2008).-

4.7.7. Reposición de marras (julio 2008).-

4.7.8. Desarrollo de la plantación experimental (septiembre 2008).-

4.7.9. Recogida de hoja para la realización de ensayos sobre sla (specific leaf area) (octubre 2008).-

4.7.10. Ensayos destructivos para determinación de la biomasa (octubre 2008).-

5. CONCLUSIONES.-

6. REFERENCIAS.-

1. INTRODUCCIÓN.-

1.1. ANTECEDENTES.-

Paulownia spp., es el único género con especies arbóreas de la familia *Scrophulariaceae*, las cuales son principalmente herbáceas. Las nueve especies de este género son originarias de China excepto *Paulownia fortunei*, la cual se extiende hasta Vietnam y Laos, y *Paulownia tomentosa*, que también vive en Corea y Japón (Zhu Zhao-Hua et al., 1986). Específicamente, para proyectos forestales las variedades más utilizadas son la *elongata*, *fortunei* y *kawakamii*.

El botánico Suizo Thunberg otorgo el nombre de *Paulownia* a este género en 1781 y lo localizó dentro de la familia *Bignoniaceae*. Posteriormente en 1835, Zuccarini y Siebold (dos botánicos alemanes) estudiaron este género y lo ubicaron dentro de la familia *Scrophulariaceae*.

Este árbol presenta una amplia distribución alrededor del mundo, desde el este de Asia –principalmente en Japón y Corea, pasando por Indonesia, Estados Unidos (Carolina del Norte y del Sur, California, Indiana y Kentucky), India, hasta México y Brasil en América.

El género, que se cultiva hace más de 2600 años, pero que empezó a ser estudiado a partir de 1972 por el investigador forestal de origen chino Zhu Zhao-Hua, inicialmente fue plantado por los agricultores chinos con el fin de proteger sus cultivos de tormentas de arena o inundaciones, asegurando así buenas cosechas. En la actualidad, después de diversas investigaciones se conocen en detalle todas sus virtudes, las mismas por las que este árbol empezó a ser desarrollado genéticamente, a comienzos de la década de 1990, para que se adaptara a distintos climas a fin de promover su cultivo en el mundo, tanto para reforestación como para uso maderable y energético.

Principalmente, el valor industrial y comercial que tiene el género radica en su rápido crecimiento, mucho mayor que el alcanzado por otras especies, hecho que lo hace muy productivo y rentable para quienes lo cultivan. Entre otros beneficios, se destacan la excelente calidad y belleza de su madera, que ofrece árboles ideales para recuperar, controlar y estabilizar la erosión de suelos gracias a su profundo sistema radicular,

considerable producción de biomasa y capacidad de fijación de CO₂, posibilidad de aprovechamiento del follaje para el ganado, potencial uso para reforestaciones de terrenos agrarios abandonados y/o degradados, valor ornamental, etc. (Wayne y Donald, 2004).

1.2. CARACTERÍSTICAS DEL GÉNERO PAULOWNIA SPP.-

Los árboles pertenecientes al género *Paulownia* spp. poseen un crecimiento rápido, siendo especialmente llamativo los primeros años de desarrollo. En condiciones normales, un árbol de 10 años de edad puede alcanzar los 30 – 40 cm de diámetro normal y un volumen de madera próximo a 0,3 – 0,5 m³. Sin embargo, si las condiciones de cultivo son óptimas, se pueden alcanzar volúmenes de madera cercanos a los 4 – 4,5 m³, con unos crecimientos anuales en diámetro de 3 – 4 cm. (Zhu Zhao-Hua et al., 1986). Dichos árboles presentan gran porte, de fuste recto, cilíndrico, de color grisáceo, con suaves estrías longitudinales y casi nunca presentan nudos.

De igual forma, se adaptan a gran variedad de climas pues el rango de temperaturas al que pueden adecuarse las especies del género varía ampliamente, llegando a soportar mínimas absolutas de -20 °C y máximas absolutas de 45 °C. Diferentes experiencias demuestran que el rango óptimo de temperaturas para el crecimiento en altura y diámetro se localiza usualmente entre 24 °C y 29 °C de temperatura media diaria (Zhu Zhao-Hua et al., 1986). En relación a la altitud, el rango que normalmente ocupa esta especie varía entre los 600 y 1500 metros sobre el nivel del mar.

Las especies de este género pueden lograr desarrollarse en zonas con una precipitación anual próxima a los 50mm, siendo necesarios algunos riegos estivales. Debido a las dimensiones del sistema radical se necesita que el suelo sea profundo además de que este bien aireado y en buenas condiciones de humedad. El pH puede variar entre 5 y 8.9 y aunque crece mucho mejor en suelos fértiles, estas especies son tolerantes a suelos pobres en los que puede lograr incrementos de diámetro apreciables (Zhu Zhao-Hua et al., 1986). Crecen en casi todo tipo de suelo, exceptuando aquellos con más del 30% de componente arcilloso y demasiado rocosos, e incluyendo los pobres y degradados pero profundos y con buen drenaje.

A su vez, sus raíces verticales, de 2 a 3 metros, lo convierten en un gran amortiguador de crecidas, por lo que se planta en riberas de ríos y canales, un recuperador

de tierras y estabilizador de suelos agroforestales, a la vez que controla totalmente la erosión, no forma desiertos ecológicos como las maderas de baja calidad y es resistente a las sequías porque tiene buena captación de agua atmosférica por condensación y porque sus largas raíces le permiten aprovechar aguas profundas.

Se trata de una especie caducifolia que presenta una copa ancha y ramas de crecimiento horizontal con hojas de gran tamaño, color verde oscuro en forma ovalada y acorazonada de 20 a 40 centímetros de ancho y de números pares opuestos en las ramas.

La floración de la especie se produce una vez por año, exhibiendo flores hermafroditas en panículas terminales de 30 a 40 centímetros de longitud con forma piramidal. Éstas se forman en otoño y permanecen cerradas hasta la primavera. Los frutos son una capsula leñosa dehiscente de forma ovoide, puntiaguda, de 3 a 5 centímetros con numerosas y pequeñas semillas, de color verde claro.

Las semillas de *Paulownia* son ligeras, pequeñas y aladas. Su germinación y crecimiento requiere luz intensa debido a lo cual, esta especie no puede regenerar de forma natural bajo un dosel arbóreo. Áreas recientemente incendiadas y cultivos abandonados se consideran muy propicios para su establecimiento de forma natural, dado su carácter como especie pionera (Zhu Zhao-Hua et al., 1986). Además, estudios realizados en la Universidad de Tennessee (Estados Unidos) atribuyen a *Paulownia* spp. el carácter de especie invasora aunque, sin embargo, afirman la gran dificultad que presenta *Paulownia* spp. para colonizar áreas abiertas con suelos estériles (Wayne K. & Donald G., 2004).

La madera de *Paulownia* la madera de *Paulownia* se distingue por tener algunas características organolépticas diferenciales que la han posicionado como una madera semipreciosa: color muy claro, muy resistente, ultraligera, fácil de trabajar y de grano fino. Se trata de una especie que produce madera de alta calidad, dura pero ligera y de baja densidad, entre 300 y 400 Kg/m³, preferida para la construcción por sus excelentes características de trabajo y alta resistencia al fuego pues su temperatura de ignición está entre los 420 y 430 °C, comparada con el promedio de las maderas duras que va de 220 a 225 °C. Además, es resistente a la deformación, torsión y agrietamiento; posee una gran capacidad aislante y un tiempo de secado muy corto (24 – 48 horas en hornos para madera

y 30 – 60 días al aire libre). Posee infinidad de utilidades: carpintería en general, construcción, pasta de celulosa, planchas y contrachapados, etc..

Otra ventaja importante, respecto a otros vegetales, radica en su gran capacidad para generar biomasa. La cantidad de biomasa que presenta una especie arbórea se entiende como la composición, en peso seco, de cada uno de los órganos del árbol: tronco, ramas, hojas, flores, frutos y raíces. Un árbol de 8 años de edad presenta una proporción de biomasa de cada órgano de 31.9%, 25.31%, 21.32%, 17.19%, 4.27% y 1.4% para los troncos, hojas, ramas, raíces, flores, y frutos respectivamente y, aproximadamente, unos 275,4 Kg. de materia seca total (Zhu Zhao-Hua et al., 1986).

Por otro lado, las especies del género *Paulownia* spp. pueden considerarse como una fuente de materias primas alternativas a las maderas clásicas, para la producción de pasta de papel, con unas características más próximas a los residuos agrícolas (paja de trigo, tallos de girasol, sarmientos de vid, tallos de sorgo, podas de olivo, etc..) que a las maderas de pino y eucalipto. La pasta de celulosa podría utilizarse para la fabricación de papel u otros usos (Jiménez, et al., 2003).

Su comportamiento en sistemas agroforestales, en los que especies del genero *Paulownia* spp aparecen intercaladas con otros cultivos agrícolas como el maíz o el trigo, también ha sido estudiado (Muthuri, et al., 2005). Las principales conclusiones revelan que es necesario investigar más sobre este y otros temas (posible uso forrajero de las hojas, uso apícola, uso ornamental, etc.) a pesar de que los primeros datos muestren que *Paulownia* spp. es una alternativa viable a cultivos agrícolas en terrenos semi-áridos (Muthuri et al., 2005).

1.3. ZONA DE ESTUDIO.-

El proyecto de investigación se ha desarrollado en una plantación experimental que se estableció en el campo de prácticas que la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Albacete (Universidad de Castilla-La Mancha) posee en la carretera de Aguas Nuevas (Km. 6,7) y ubicados en la antigua Escuela de Capacitación Agraria y en la actualidad, I.E.S. Centro de Formación Agroambiental de Aguas Nuevas (Albacete).

La parcela catastral utilizada fue la 163 del polígono 76 perteneciente al Municipio de Albacete, la cual cuenta con 7,30 ha.

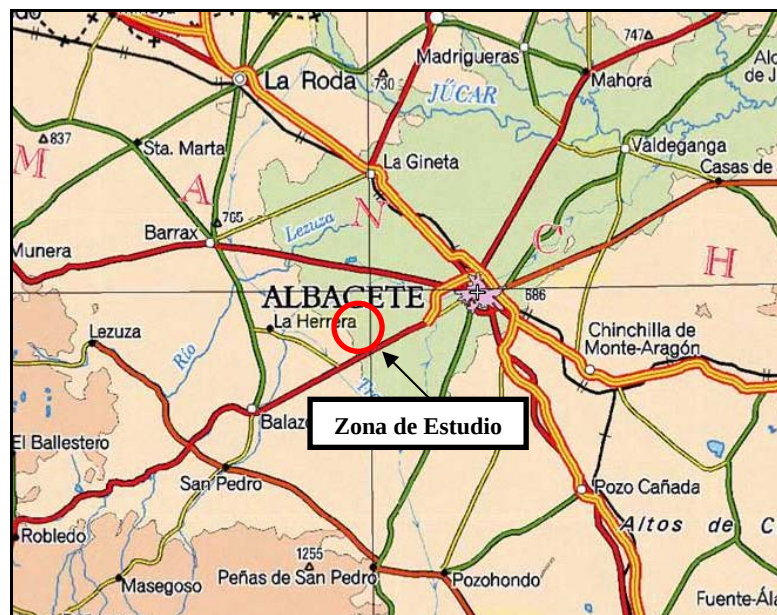


Figura 1. Albacete. Fuente: SIGPAC.



Figura 2. Parcela catastral 163, polígono 76, Albacete. Fuente: SIGPAC.

Las parcelas que conforman el escenario experimental se localizaron dentro de la citada parcela 163, en el recinto que el SIGPAC denomina “tierras arables” con 5,76 ha, de las cuales, aproximadamente 1,2 ha se emplearon en el presente proyecto.

La facilidad de acceso, la escasa pendiente ($< 1\%$), la presencia de toma de agua y las adecuadas condiciones superficiales que faciliten la posterior preparación del terreno, fueron los factores que determinaron la ubicación de las parcelas de experimentación.

1.3.1. CLIMA.-

Así, la zona de estudio se localiza en la provincia de Albacete, concretamente en la comarca de Los Llanos. Los datos climáticos han sido tomados de la Estación Meteorológica Base Aérea de Los Llanos ($1^{\circ} 85' W$, $38^{\circ} 95' N$, a 704 m sobre el nivel del mar) en Albacete, localizada a 2 km de la zona de ensayo.

La zona de estudio se caracteriza por ser una zona semiárida. Teniendo en cuenta las serie de datos de 1975-2000, la precipitación total media ha sido de unos 250 mm, con una oscilación de la temperatura media anual situada entre los 14,5 y 15,5 °C, una temperatura mínima absoluta de -7,2 °C en el mes de enero y una temperatura máxima absoluta de 38,8 °C en el mes de agosto.

1.3.2. SUELO.-

Los análisis de suelo realizados en la parcela catastral, previamente a la realización de la plantación experimental reflejan las siguientes características:

A.) Horizonte superficial (0-15 cm).

- Textura (U.S.D.A.): Franco arcillosa (arena: 33%, limo: 27%, arcilla: 40%).
- pH: 8,67 (muy básico).
- Conductividad eléctrica: 2,03 mmhos/cm (no salino).
- Materia orgánica total: 5,1% (muy alto).
- Nitrógeno total: 0,22% (alto).
- Relación C/N: 13 (escasa liberación de nitrógeno).
- Fósforo asimilable: 37 ppm (muy alto).
- Caliza activa: 22,1 % (muy alto).
- Potasio asimilable: 1,03 meq/100 g (alto).
- Sodio asimilable: 0,49 meq/100 g (muy bajo).
- Calcio asimilable: 40,83 meq/100 g (muy alto).
- Magnesio asimilable: 7,45 meq/100 g (muy alto).
- Capacidad de intercambio catiónico: 20 meq/100 g (elevada).

Estas características indican que se trata de un suelo apto para la realización de la plantación experimental, si bien los valores de pH y caliza activa son ligeramente elevados para la especie *Paulownia* spp.

2. OBJETIVOS.-

El presente proyecto de investigación persigue conocer la adaptabilidad de diferentes especies del genero *Paulownia* spp., concretamente *Paulownia elongata* $\times$ *fortunei* CV, a las condiciones ambientales mediterráneas, caracterizar sus propiedades, y determinar su posible utilización como plantación forestal.

En concreto, los objetivos generales planteados son:

- Objetivo 1. Profundizar sobre los principales aprovechamientos a los que *Paulownia* spp. se podría adecuar por sus condiciones ecológicas y características.

Para la consecución de este objetivo se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Objetivo 1.1. Cuantificación del crecimiento y volumen de madera generada.
 - Objetivo 1.2. Estimación de CO₂ fijado y biomasa producida por diferentes condiciones de cultivo.
- Objetivo 2. Elaborar un modelo de gestión selvícola de las plantaciones en nuestra zona de estudio.

Para la consecución de este objetivo se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Objetivo 2.1. Determinación del marco de plantación, especie utilizada y cuidados y tratamientos culturales a realizar en las plantaciones de *Paulownia* spp.
- Objetivo 2.2. Estudio de posibles plagas y enfermedades que puedan afectar a las plantaciones de *Paulownia* spp.

3. METODOLOGÍA Y TOMA DE DATOS.-

3.1. CONSIDERACIONES GENERALES.-

En el presente proyecto se estudiarán los efectos de varios factores: marco de plantación y tratamientos de riego y fertilización, en la adaptación y desarrollo de la plantación experimental conforme a los objetivos planteados.

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL INICIAL.-

Para el diseño experimental se han tenido en cuenta 2 factores, cada uno con sus respectivos niveles:

1. Factor “Marco de Plantación”.-

Se pretenden estudiar marcos de plantación distintos, orientados a producciones finales diferentes. De este modo, se estima oportuno establecer un marco “estrecho”, orientado a la producción de biomasa, y un marco “amplio”, orientado a la producción de madera comercial. Así, se establecen 2 niveles:

- Marco 3x3m (1.111 pies/ha). (M1)
- Marco 3x2m (1.666 pies/ha). (M2)

2. Factor “Tratamientos de Riego y Fertilización”.-

Se pretende analizar la influencia de la dosis de riego (aplicada mediante riego localizado por goteo) y la aplicación de compuestos fertilizantes en el desarrollo y producciones finales de la plantación forestal.

De este modo, se establecen 5 niveles:

- Testigo. (R0)

Parcela en la cual no se realizarán tratamientos de riego por goteo ni fertilización. No obstante, se realizará la aplicación de riegos de apoyo al inicio de la plantación y durante el primer verano (aprox. 5 litros/planta/semana, 8 aplicaciones en total).

- Riego a dosis baja sin fertilización. (R1F0)

Parcela en la cual solo se realizará el tratamiento de riego por goteo a una dosis de 1.000 litros/planta, así para el marco de plantación 3x2m será de 1.666 m³/ha y para el marco de plantación 3x3m de 1.111 m³/ha

- Riego a dosis baja con fertilización. (R1F1)

Parcela en la cual se realizará el tratamiento de riego por goteo a una dosis de 1.000 litros/planta, así para el marco de plantación 3x2m será de 1.666 m³/ha y para el marco de plantación 3x3m de 1.111 m³/ha

Además, se procederá a la aplicación de 400 gramos/planta de complejo NPK (15-15-15). La cantidad total de compuesto por hectárea será de 666 kg/ha (marco 3x2m) y 444 kg/ha (marco 3x3m).

- Riego a dosis alta sin fertilización. (R2F0)

Parcela en la cual se realizará el tratamiento de riego por goteo a una dosis de 2.000 litros/planta, así para el marco de plantación 3x2m será de 3.332 m³/ha y para el marco de plantación 3x3m de 2.222 m³/ha

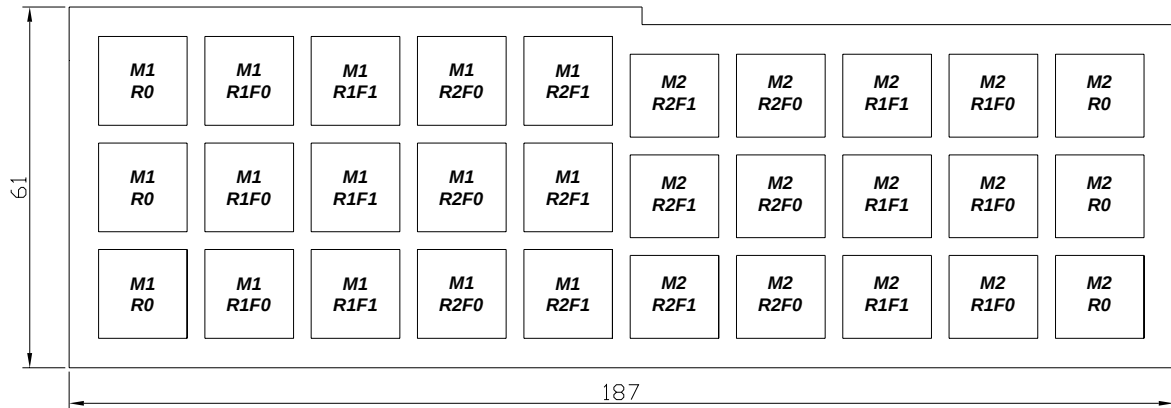
- Riego a dosis alta con fertilización. (R2F1)

Parcela en la cual se realizará el tratamiento de riego por goteo a una dosis de 2.000 litros/planta, así para el marco de plantación 3x2m será de 3.332 m³/ha y para el marco de plantación 3x3m de 2.222 m³/ha

Además, se procederá a la aplicación de 400 gramos/planta de complejo NPK (15-15-15). La cantidad total de compuesto por hectárea será de 666 kg/ha (marco 3x2m) y 444 kg/ha (marco 3x3m).

Cada combinación posible de los 3 factores será replicada 3 veces, con lo que tendremos un total de $2 \times 5 \times 3$ (réplicas) = 30 parcelas. Cada parcela tendrá una superficie de 15 x 15 m (225 m²), en el caso del marco de plantación de 3x3 metros y una superficie de 15 x 14 m (210 m²), en el caso del marco de plantación de 3x2 metros. Dichas parcelas estarán separadas por calles de 3 metros de anchura para minimizar el efecto borde de falta de competencia por luz, nutrientes y agua.

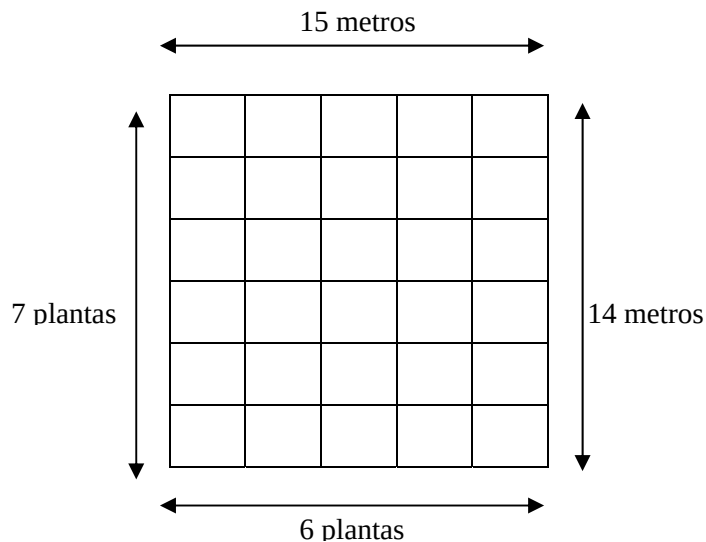
El esquema del diseño experimental es el que se muestra en la siguiente figura.



LEYENDA:	
Marco de Plantación:	Marco 3x3 m (1.111 pies/ha) (M1)
	Marco 3x2 m (1.666 pies/ha) (M2)
Tratamientos de Riego y Fertilización:	Testigo (R0)
	Riego a dosis baja sin fertilización (R1F0)
	Riego a dosis baja con fertilización (R1F1)
	Riego a dosis alta sin fertilización (R2F0)
	Riego a dosis alta con fertilización (R2F1)

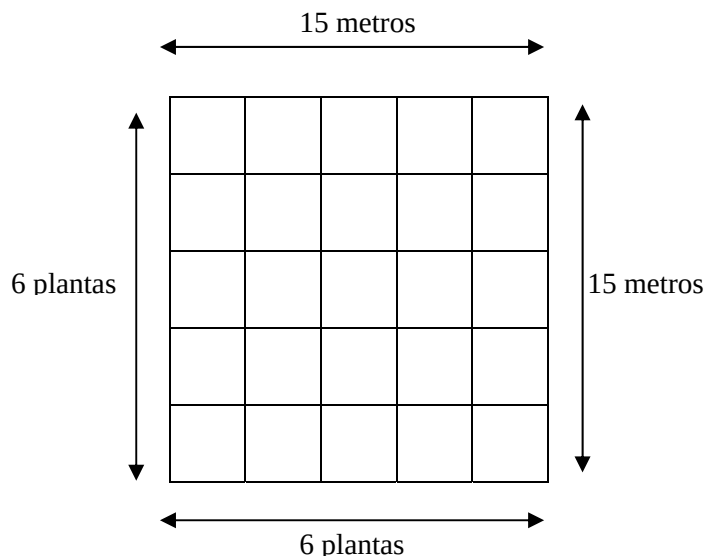
El esquema del diseño experimental de las diferentes parcelas es el que se muestra en las siguientes figuras:

Parcelas Marco de Plantación 3x2 metros:



Así, el número de pies por parcela y pies totales que se establecerán en la plantación, para desarrollar estas parcelas son:

- N° de pies por parcela: 7 filas x 6 columnas = 42 plantas
- N° pies totales: 42 pies/parcela x 15 parcelas = 630 plantas

Parcelas Marco de Plantación 3x3 metros:

Así, el número de pies por parcela y pies totales que se establecerán en la plantación, para desarrollar estas parcelas son:

- N° de pies por parcela: 6 filas x 6 columnas = 36 plantas
- N° pies totales: 36 pies/parcela x 15 parcelas = 540 plantas

El número total de plantas necesarias para desarrollar el experimento será de 630 plantas (marco 3x2m) más 540 plantas (marco 3x3m), o lo que es lo mismo, 1.170 plantas en total.

3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL DEFINITIVO.-

Transcurrido el primer periodo estival después de efectuar la plantación, se observó que el diseño experimental factorial planteado inicialmente debería ser modificado, ya que todas las plántulas de *Paulownia elongata x fortunei CV* que se plantaron en las parcelas experimentales “Testigo” (M1R0 y M2R0), lograron arraigar pero a consecuencia de diversos factores, entre los que destacan la falta de riegos y los daños por conejos y liebres, se produjo la muerte de las mismas. Además, en el resto de parcelas experimentales se produjo una gran cantidad de marras (80% aproximadamente), por motivos similares a los acontecidos en las parcelas “Testigo”.

De este modo, el nuevo diseño factorial se compone de los mismos factores iniciales, se han dejado de considerar las 3 replicas, estableciéndose una única parcela

experimental por conjunto de factores experimentales, de los cuales el factor “Tratamientos de riego y fertilización” se compone ahora de 4 niveles:

- Riego a dosis baja sin fertilización. (R1F0)
- Riego a dosis baja con fertilización. (R1F1)
- Riego a dosis alta sin fertilización. (R2F0)
- Riego a dosis alta con fertilización. (R2F1)

Así, el número total de parcelas experimentales será de 8 ($2 \times 4 = 8$ parcelas), cuya codificación es la siguiente:

- Parcela M1R1F1: marco de plantación 3x3 m., riego a dosis baja, con fertilización.
- Parcela M1R1F0: marco de plantación 3x3 m., riego a dosis baja, sin fertilización.
- Parcela M1R2F1: marco de plantación 3x3 m., riego a dosis alta, con fertilización.
- Parcela M1R2F0: marco de plantación 3x3 m., riego a dosis alta, sin fertilización.
- Parcela M2R1F1: marco de plantación 3x2 m., riego a dosis baja, con fertilización.
- Parcela M2R1F0: marco de plantación 3x2 m., riego a dosis baja, sin fertilización.
- Parcela M2R2F1: marco de plantación 3x2 m., riego a dosis alta, con fertilización.
- Parcela M2R2F0: marco de plantación 3x2 m., riego a dosis alta, sin fertilización.

3.4. CUIDADOS CULTURALES.-

Al tratarse de un cultivo forestal se realizarán, en cada una de las parcelas que componen el experimento, los siguientes cuidados culturales:

Laboreo:

Con el objetivo de eliminar las malas hierbas que compitan con el cultivo, se realizarán anualmente tres pasadas de cultivador; en el mes de octubre, en el mes de marzo, y en el mes de junio de cada año.

Podas:

Durante la época de crecimiento (meses de abril – septiembre) es conveniente eliminar los brotes laterales, es decir, las ramas, pero no así las hojas. Esta labor se realizará cada 1 – 2 semanas.

La longitud de fuste limpio será de una distancia de 3 metros.

 Escardas:

Al no plantearse un laboreo cruzado de la superficie de las parcelas, y con el fin de evitar la presencia de malas hierbas en las líneas de cultivo que no han sido roturadas, se hace necesaria la aplicación de estos tratamientos puntuales de forma manual.

3.5. TOMA DE DATOS.-

3.5.1. INVENTARIO DE LAS PARCELAS CATASTRALES (Octubre 2007, Julio y Octubre 2008).-

En cada una de las 8 parcelas experimentales se procederá a la medición de diferentes variables dasométricas y dendrométricas en la totalidad de los pies existentes en las mismas, efectuándose un inventario pie a pie.

Una vez iniciada la plantación, se realizarán mediciones anuales de las variables definidas anteriormente durante todos los años de duración del proyecto, mediante un equipo completo de medición forestal, compuesto por forcípulas, hipsómetros, cintas métricas, y jalones.

1. Distribución diamétrica.-

En cada uno de los pies que componen las parcelas experimentales se medirá, con forcípula (cuya precisión es de 0,1 cm), realizando 2 mediciones en cruz, siendo el diámetro final la media de ambas mediciones.

- Diámetro en la base en cruz (Db).
- Diámetro normal en cruz a 1,30m (Dn).

2. Altura.-

En cada uno de los pies que componen las parcelas experimentales se medirá, con Hipsómetro Vertex (cuya precisión es de 1 cm):

- Altura total (Ht).

3. Diámetro de copa.-

En cada uno de los pies que componen las parcelas experimentales se medirá, con cinta métrica (cuya precisión es de 0,5 cm.), realizando 2 mediciones en cruz, siendo el diámetro final la media de ambas mediciones.

- Diámetro de copa (Dc).

3.5.2. BIOMASA Y FIJACIÓN DE CO₂ (Octubre 2008).-

1. Ensayos destructivos.-

Para poder llegar a evaluar la biomasa en cada una de las parcelas experimentales, es necesario llevar a cabo el apeo de un número de pies suficientemente grande para que dicho ensayo sea significativo y puedan considerarse los valores obtenidos representativos de la zona la cual esta siendo estudiada.

En el conjunto de las 8 parcelas experimentales, y una vez efectuado el inventario de las mismas, se procederá a la selección de los pies a apear con el objetivo de examinar su producción de materia seca total.

De este modo, se cortarán un total de 24 pies, 3 pies por parcela experimental, seleccionándose del inventario aquellos pies que tengan el mayor (árbol A) y menor (árbol C) diámetro normal (diámetro a 1,30 metros), y el pie que posea el diámetro medio cuadrático (árbol B) del conjunto de réplicas. Además, para satisfacer el objetivo de examinar la biomasa subterránea generada, se extraerán las raíces de pie de diámetro medio cuadrático.

1.1. Biomasa aérea.-

- Apeo del árbol y medición de parámetros dendrométricos.-

Para poder llevar a cabo el apeo de los árboles, hay que preparar los pies elegidos para el ensayo. Para ello se marcaron los diámetros en la base y diámetros normales, que se midieron con la forcípula (cuya precisión es de 0,5 cm.) realizando 2 mediciones en cruz, el diámetro final será la media de las dos medidas realizadas. El diámetro de copa también será preciso medirlo, y se hará mediante la medición con cinta métrica (cuya precisión es de 0,5 cm.) realizando 2 mediciones en cruz, siendo el diámetro final la media de ambas mediciones. Una vez conocidos los anteriores parámetros dendrométricos, se apear el pie, utilizando para ello una motosierra y procurando que en su caída el árbol dañe lo menos posible a los árboles circundantes. El corte con motosierra se realiza dejando un tocón de aproximadamente 5 cms de altura.

Una vez el pie está en el suelo, se llevará a cabo la medición de la altura total, llevándose a cabo en primer lugar la operación de desrame y retirada de hojas. Dicha medición se lleva a cabo con una cinta métrica de 30 metros (precisión de 0,5 cm).

El fuste se divide en trozas de un metro de longitud de tal forma que la motosierra realiza un corte a las alturas de 1m, 2m, 3m,... y así sucesivamente hasta el extremo apical del árbol.

Cada una de las trozas obtenidas identificada con el número de árbol y la parcela a la que pertenece, esto es, si estamos con el árbol A, es la muestra de la troza inferior (1), y estamos en la parcela con marco de plantación 3x3 metros (M1), riegos a dosis alta (R2) y con fertilización (F1), dicha muestra vendrá marcada como “A-1 1-2-1”.

- Obtención de los diferentes compartimentos de biomasa aérea.-

Una vez apeados los árboles y efectuadas las mediciones dendrométricas, se separará la biomasa aérea de cada árbol apeado en los siguientes compartimentos: tronco, ramas, pecíolos y hojas.

1.2. Biomasa subterránea.-

Para evaluar la biomasa subterránea, fue preciso extraer el tocón de los pies de diámetro medio cuadrático apeados (árbol B), en cada una de las parcelas experimentales. La extracción fue realizada manualmente, mediante azada, ya que el sistema radical de los pies apeados no poseía unas dimensiones excesivas. Para evitar el análisis de raíces que no correspondiesen al árbol seleccionado, se explorará un área de 2 x 2 m alrededor del árbol, y con centro en él. Este cuadrado de 4 m² será dividido en 4 áreas de 1 m de lado, con el objeto de analizar la distribución espacial de las raíces finas alrededor del árbol.

1.3. Biomosas totales.-

Con todos los datos obtenidos hasta el momento (biomasa aérea y subterránea), se procederá a calcular la biomasa total de los pies apeados. Todas las muestras obtenidas de cada árbol apeado serán etiquetadas y trasladadas a una estufa para su secado. Esta estufa funcionará a una temperatura de 85°C y un periodo de 24 horas, para el secado de las hojas, pecíolos y ramas, y una temperatura de 95°C y un periodo de 48 horas, para el secado de los troncos y raíces de cada árbol.

Transcurrido ese tiempo, se pesarán, anotando los resultados obtenidos. Para asegurarnos que los valores obtenidos son los valores secos definitivos, se colocarán de nuevo en la estufa y se dejarán 24 horas más.

Concluido ese tiempo, se pesarán de nuevo, comprobando si los valores diferirán o no con respecto a los obtenidos anteriormente. Con estas dos comprobaciones, nos aseguramos que los datos obtenidos son valores adecuados y no se producen pérdidas de humedad inferiores a las reales por no encontrarse las piezas suficientemente secadas. Si se encontrasen diferencias entre las 2 medidas, se volverían a dejar un día más hasta que el peso sea constante. De este modo, se obtendrá el peso seco de cada una de las muestras en las que se dividieron los pies. Posteriormente, mediante relaciones alométricas obtenidas a partir de los árboles muestra, y con los datos de los inventarios pie a pie realizados, se obtendrá la cantidad de materia seca a nivel parcela experimental y a nivel hectárea.

2. Fijación de CO₂-

Una vez que se ha estimado la cantidad de materia seca de la masa separada por compartimentos, tronco, raíces, ramas, pecíolos y hojas, ya podemos conocer la cantidad de carbono almacenado en la masa. Según el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), la cantidad de carbono que almacena la especie *Paulownia* spp. es aproximadamente del 49,5%.

Con estos porcentajes, y con los resultados obtenidos de nuestro análisis, podemos estimar la cantidad de carbono que tiene almacenada en la actualidad la masa que estamos analizando, separado por compartimentos (raíces, tronco, ramas, pecíolos y hojas) o el conjunto total de todos ellos. El contenido de CO₂ esta directamente relacionado con el contenido de Carbono que existe en la materia seca. Según lo expuesto, para poder saber cuanto CO₂ equivalente hay en la materia seca de la masa analizada, se debe de aplicar un coeficiente. El valor de dicho coeficiente es el que se expone a continuación:

$$CO_2 = \frac{CO_2}{C} = \frac{12 + (2 \times 16)}{12} = 3,66666 \approx 3,67$$

3.5.3. AREA ESPECIFICA FOLIAR (*Specific Leaf Area. SLA*).-

Este parámetro se define como área foliar por gramo de peso seco de las hojas. Para su estimación se tomarán 1 muestra de cada parcela experimental compuesta por 15 hojas. Estas hojas serán recogidas de diferentes árboles de las parcela, incluyéndose hojas de todos los tamaños.

A continuación, las hojas se colocarán en una superficie plana e iluminada (caja de luz) para que su imagen sea capturada mediante una cámara fotográfica. Posteriormente, mediante un programa de tratamiento digital de imágenes ("image tool 3.0"), obtendremos el área foliar de las hojas capturadas en la imagen. Posteriormente, estas muestras de hojas se secarán en estufa (85°C, 24 horas) y se pesarán para conocer su peso seco. De este modo, obtendremos el SLA seco de cada una de las parcelas experimentales:

$$SLA\ seco = \text{área foliar (superficie hoja)} / \text{Peso seco}$$

3.5.4. PODER CALORÍFICO (Octubre 2008).-

Entendido como la cantidad de energía que desprende la unidad de masa de un combustible cuando éste se quema y medido en Kcal./Kg. o KJ/Kg. Concretamente se estimará el poder calorífico inferior (PCI). El poder calorífico de la madera de biomasa se obtendrá mediante el "método práctico" que consiste en la utilización de "Calorímetros" mediante los cuales se puede determinar en forma directa en el laboratorio el poder calorífico de los combustibles. Los métodos calorimétricos consisten en quemar una cierta cantidad de combustible y medir la cantidad de calor producida a través de la energía térmica ganada por un líquido conocido, agua, el que, de acuerdo al método a utilizar, puede estar contenida en un recipiente, o permanecer en continua circulación durante el proceso. De este modo, se utilizará el calorímetro C-200 para la estimación del poder calorífico inferior (PCI).

3.5.5. MUESTREO DE POSIBLES PLAGAS Y ENFERMEDADES (Año 2007 y 2008).-

En esta investigación se plantea el estudio de síntomas y daños aparecidos en la plantación experimental de *Paulownia* spp., generados a partir de insectos defoliadores y perforadores, y enfermedades vasculares que puedan aparecer en las parcelas experimentales.

El método empleado para detectar la existencia de plagas o enfermedades será la observación directa de todos los ejemplares al menos dos veces al mes durante los años de realización del presente proyecto.

4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.-

4.1. LABORES CULTURALES REALIZADAS.-

4.1.1. AÑO 2007.-

Establecimiento de la plantación.-

Las plantas de Paulownia utilizadas en el establecimiento de la plantación fueron suministradas gratuitamente por viveros forestales. La plantación fue realizada durante los días 7 y 8 de mayo de 2007. Antes de efectuar la plantación se anotaron las dimensiones de las plántulas utilizadas:

- Altura total (Ht): $53 \text{ cm} \pm 5 \text{ cm}$.
- Diámetro de copa (Dc): $14 \times 17 \text{ cm} \pm 7 \text{ cm}$.
- Diámetro en la base (Db): $0,4 \text{ cm} \pm 0,2 \text{ cm}$.
- Dimensiones del cepellón: $8 \times 8 \times 8 \text{ cm}$.

En el momento de la plantación, se aplicaron 10 litros a cada una de las plantas establecidas en campo.

Abonado.-

En las parcelas experimentales en las cuales se debía realizar la fertilización, se aplicaron 400 g/planta del complejo NPK 15-15-15, efectuándose 2 aportes distanciados en el tiempo: 11 de junio y 15 de agosto de 2007.

Riego.-

Desde el momento de la plantación (7 y 8 de mayo de 2007) se inició el riego de la plantación experimental mediante el sistema de riego localizado por goteo instalado previamente a la realización de la plantación.

Durante este año, se efectuó se aplicaron aproximadamente las dosis de riego consideradas en el diseño experimental ($1.000 \text{ m}^3/\text{ha}$ y $2.000 \text{ m}^3/\text{ha}$, según parcelas), realizándose la citada aplicación en días alternos (un día si y otro día no). El sistema de

riego fue desconectado el día 25 de octubre de 2007. La dosis de riego total aplicada en cada una de las parcelas, diferenciando entre parcelas con marco de plantación 3x3 metros (M1) y dosis de riego (dosis alta, dosis baja) fue la siguiente:

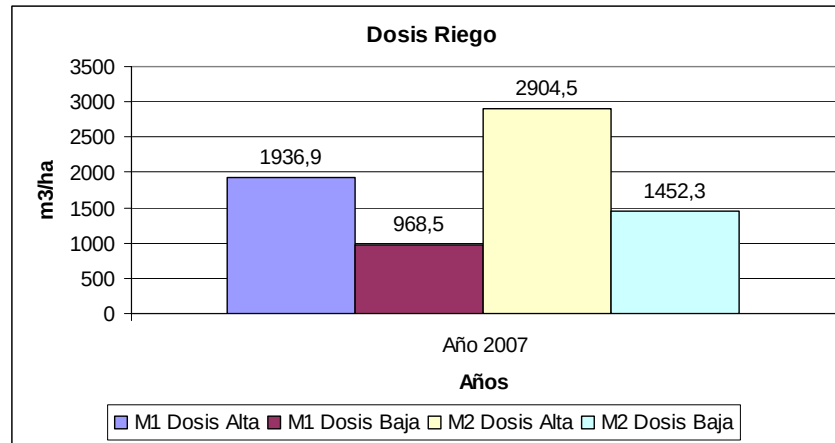


Figura 3. Dosis de riego, en m³/ha, aplicada por factores “marco de plantación” y “Dosis”, durante el año 2007.

Además, si consideramos la pluviometría acontecida durante los meses del año 2007 en el periodo de riego de la plantación experimental (99,4 l/m² o 994 m³/ha), se obtienen unos aportes hídricos totales reflejados en la figura siguiente:

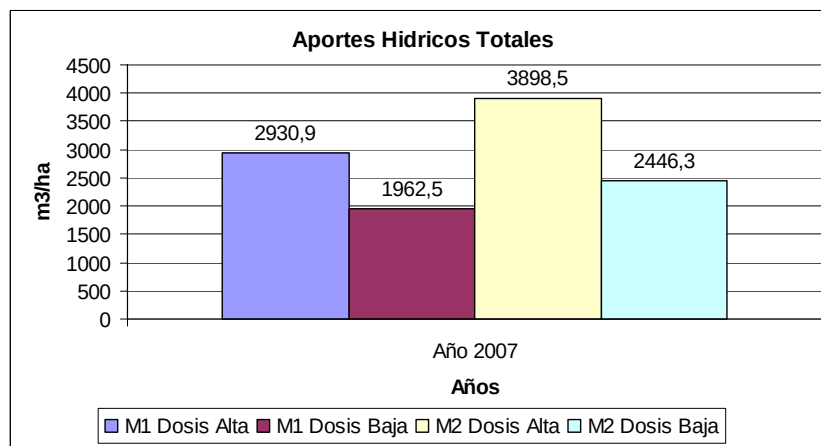


Figura 4. Aportes hídricos totales, en m³/ha, por factores “marco de plantación” y “Dosis”, durante el año 2007.

Laboreo.-

Una vez establecida la plantación, y a lo largo del periodo estival se efectuaron diversos pases de cultivador con el objetivo de eliminar las malas hierbas del cultivo. Concretamente, las fechas de labor fueron los días 11 de junio y 15 de julio de 2007.

4.1.2. AÑO 2008.-

Corte de los pies por la base del fuste.-

Transcurrido el año 2007, casi la totalidad de las plantas no alcanzan un crecimiento idóneo, estancándose los diámetros en la base en $2,6 \text{ cm} \pm 1 \text{ cm}$, y las alturas totales en $1,1 \pm 0,3$ metros. Por este motivo, se recurre al recepe y corta de las plantas a ras de suelo, con el objetivo de manejar el rebrote seleccionado. Se observó, la aparición de 2-3 rebrotes por cepa. No obstante, el día 15 de abril de 2008 se produjo la helada de dichos rebrotes, los cuales se recuperaron de la misma posteriormente. Cuando los rebrotes tenían suficiente desarrollo, se seleccionaron los de mayor crecimiento, dejándose un único rebrote por cepa.

Abonado.-

En las parcelas experimentales en las cuales se debía efectuar la fertilización, se utilizaron en una sola aplicación 400 g/planta del complejo NPK 15-15-15. Dicho aporte fue realizado el día 31 de julio de 2008.

Riego.-

El sistema de riego localizado por goteo se conectó el día 15 de abril de 2008, efectuándose el riego a la dosis indicada en días alternos (un día si y otro día no).

Dicho sistema fue desconectado el día 22 de septiembre de 2008. La dosis de riego total aplicada en cada una de las parcelas, diferenciando entre parcelas con marco de plantación 3x3 metros (M1) y dosis de riego (dosis alta, dosis baja) es la siguiente:

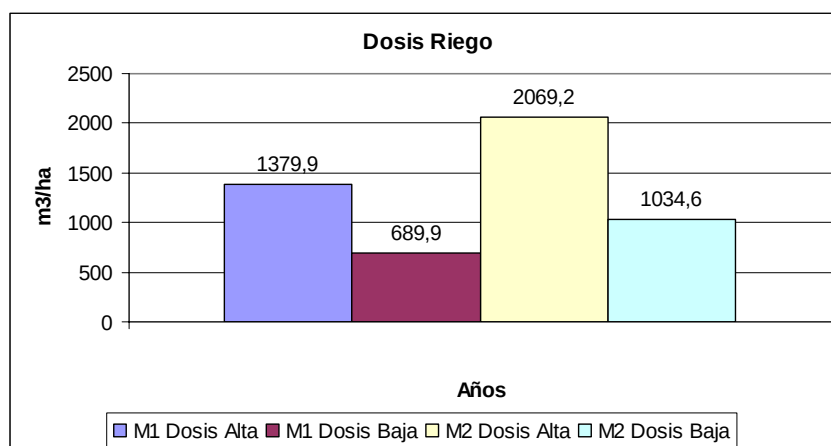


Figura 5. Dosis de riego, en m³/ha, aplicada por factores “marco de plantación” y “Dosis”, durante el año 2008.

Además, si consideramos la pluviometría acontecida durante los meses del año 2007 en el periodo de riego de la plantación experimental ($281,6 \text{ l/m}^2$ o $2.816 \text{ m}^3/\text{ha}$), se obtienen unos aportes hídricos totales reflejados en la figura siguiente:

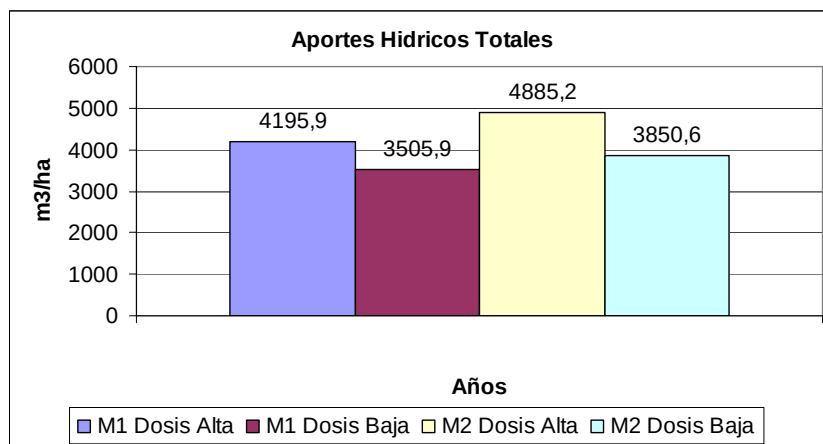


Figura 6. Aportes hídricos totales, en m^3/ha , por factores “marco de plantación” y “Dosis”, durante el año 2008.

Laboreo.-

A lo largo del periodo estival se efectuaron diversos pases de cultivador con el objetivo de eliminar las malas hierbas del cultivo. Concretamente, las fechas de labor fueron los días 4 de mayo y 21 de septiembre de 2008.

Escardas.-

Una vez que se seleccionaron los rebrotes de las plantas obtenidos en el recepe, se ejecutó una escarda manual con azada alrededor de los pies de paulownia, dejándose la hierba retirada en las calles de plantación.

Posteriormente, al no plantearse un laboreo cruzado de la superficie de las parcelas, y con el fin de evitar la presencia de malas hierbas en las líneas de cultivo que no han sido roturadas, se hace necesaria la aplicación de estos tratamientos. Concretamente, se efectuó otra escarda manual el día 30 de julio de 2008, antes de efectuar el abonado.

Podas.-

Durante la época de crecimiento, se procedió a la eliminación de los brotes laterales que aprecian en la axila de las hojas presentes en el tallo. Estas “podas” se efectuaron en las siguientes fechas:

- 4 de julio de 2008.
- 8 de julio de 2008.
- 28 de julio de 2008.
- 13 de agosto de 2008.
- 27 de agosto de 2008.
- 11 de septiembre de 2008.

Reposición de marras.-

En la plantación inicial se produjeron gran cantidad de marras (80% aproximadamente), factor influenciado por diferentes causas, entre las que destacan:

- Predación de plantas establecidas en campo inicialmente por conejos y liebres. Los daños de estos animales fueron muy importantes 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.

- Presencia de diversas zonas encharcadas en las proximidades de las plantas recién establecidas a consecuencia de la rotura de diversos goteros.

- Fuertes rachas de vientos durante estadios iniciales de crecimiento de las plantas, provocándose la rotura de los tallos de las plantas.

- Ausencia de riego en las parcelas experimentales “Testigo”, provocándose la muerte de todas las plantas que componen estas parcelas.

Por este motivo, se efectuó una reposición de marras durante los días 28, 29 y 30 de julio de 2008, estableciéndose aproximadamente unas 280 plantas, repartidas por todas las parcelas experimentales. Además de las citadas plantas, se colocaron tutores de bambú y protectores contra herbívoros en todas ellas.

4.2. INVENTARIO DE LAS PARCELAS.-

En cada una de las 8 parcelas experimentales se realizó un inventario pie a pie, en el cual se efectuó la medición de diferentes variables dasométricas y dendrométricas (diámetro en la base (Db), diámetro normal a 1,30 metros (Dn), altura total (Ht) y diámetro de copa (Dc)).

A lo largo de la duración del proyecto de investigación se realizaron 3 inventarios de la plantación experimental. Concretamente, las fechas de realización fueron:

- 6 de octubre de 2007.
- 4 de julio de 2008.
- 25 de septiembre de 2008.

4.2.1. INVENTARIOS ANUALES.-

La evaluación del diámetro en la base, diámetro normal (1,30 m) y la altura total de la plantación experimental se ha llevado a cabo con el inventario de los árboles de todas las parcelas experimentales.

El número de pies presentes en cada parcela experimental, en el momento de la realización del inventario, fueron los siguientes:

Tabla 1. N° de pies totales de cada parcela experimental, fecha 6/10/2007.

Parcela	N° Pies Parcela
M1 R2 F1	30
M1 R2 F0	27
M1 R1 F1	12
M1 R1 F0	11
M2 R2 F1	15
M2 R2 F0	56
M2 R1 F1	34
M2 R1 F0	23

Tabla 2. N° de pies totales de cada parcela experimental, fecha 4/07/2008.

Parcela	N° Pies Parcela
M1 R2 F1	28
M1 R2 F0	25
M1 R1 F1	11
M1 R1 F0	9
M2 R2 F1	48
M2 R2 F0	54
M2 R1 F1	33
M2 R1 F0	19

Tabla 3. N° de pies totales de cada parcela experimental

Parcela	N° Pies Parcela
M1 R2 F1	28
M1 R2 F0	25
M1 R1 F1	12
M1 R1 F0	9
M2 R2 F1	48
M2 R2 F0	55
M2 R1 F1	37
M2 R1 F0	14

A continuación se van a exponer las variables medidas en el inventario. Se indica para cada parcela experimental que posee los mismos factores (marco de plantación, riego y fertilización), los valores medios, máximos y mínimos, coeficientes de variación de los diámetros en la base y alturas totales de los árboles de las parcelas de experimentación y sus correspondientes. n= n° árboles.

Inventario 6/10/2007.

Tabla 4. Variables Db y Ht de las parcelas experimentales a fecha 6/10/2008.

PARCELA	n	Db (cm)					Ht (cm)				
		Media	Desv. Tipica	Max	Min	cv	Media	Desv. Tipica	Max	Min	cv
M1R2F1	30	2,7	0,9	4,6	1,2	32,3	89,8	28,6	153,0	36,0	31,9
M1R2F0	27	2,6	0,7	4,3	1,4	29,2	88,7	22,5	133,0	54,0	25,4
M1R1F1	12	2,6	1,0	3,9	1,4	37,7	88,3	24,3	125,0	47,0	27,5
M1R1F0	11	2,5	1,1	3,5	1,0	43,2	81,2	17,3	95,0	40,0	21,3
M2R2F1	15	3,2	0,9	4,3	2,0	29,3	107,0	25,0	139,0	67,0	23,3
M2R2F0	56	2,9	0,8	4,1	1,5	27,9	93,8	29,1	137,0	34,0	31,0
M2R1F1	34	2,8	0,9	4,7	1,5	31,9	100,1	28,6	138,0	45,0	28,5
M2R1F0	23	1,7	0,7	3,1	0,8	44,5	54,0	20,2	102,0	32,0	37,4

Inventario 4/07/2008.

Tabla 5. Variables Db y Ht de las parcelas experimentales a fecha 4/07/2008.

PARCELA	n	Db (cm)					Ht (cm)				
		Media	Desv. Tipica	Max	Min	cv	Media	Desv. Tipica	Max	Min	cv
M1R2F1	28	3,9	1,0	6,2	1,5	25,6	150,3	39,5	239,0	60,0	26,2
M1R2F0	25	3,3	1,0	5,0	2,0	29,4	132,5	35,9	193,0	71,0	27,0
M1R1F1	11	3,0	1,0	4,9	1,5	34,8	118,4	42,6	187,0	50,0	36,0
M1R1F0	9	2,8	0,5	3,5	1,5	19,7	113,6	23,7	151,0	88,0	20,9
M2R2F1	48	3,6	0,8	5,3	1,8	22,9	138,4	30,6	193,0	80,0	22,1
M2R2F0	54	3,5	1,0	5,5	0,9	28,3	136,1	37,3	212,0	33,0	27,4
M2R1F1	33	3,3	0,9	5,3	1,4	27,9	128,1	39,8	207,0	45,0	31,1
M2R1F0	19	2,2	0,8	3,6	1,0	35,2	83,8	27,9	134,0	40,0	33,3

Inventario 25/09/2008.

Tabla 6. Variables Db y Ht de las parcelas experimentales a fecha 25/09/2008.

PARCELA	n	Db (cm)					Ht (cm)				
		Media	Desv. Tipica	Max	Min	cv	Media	Desv. Tipica	Max	Min	cv
M1R2F1	28	7,3	1,4	9,4	3,5	19,7	321,3	59,9	407,0	159,0	19,6
M1R2F0	25	7,0	1,1	8,7	5,0	15,6	302,2	50,6	390,0	217,0	16,7
M1R1F1	12	6,4	1,3	8,9	4,2	21,3	278,0	63,5	379,0	172,0	22,8
M1R1F0	9	6,0	1,1	7,5	4,3	17,5	260,9	50,5	312,0	180,0	19,3
M2R2F1	48	6,9	1,2	9,7	3,7	17,0	314,5	45,8	400,0	195,0	14,6
M2R2F0	55	6,7	1,2	8,7	4,0	18,6	299,5	53,7	389,0	171,0	17,9
M2R1F1	37	6,2	1,4	8,2	3,4	22,9	272,2	70,4	361,0	146,0	25,8
M2R1F0	14	5,0	1,3	6,9	3,2	23,0	213,8	46,1	298,0	160,0	21,6

Tabla 7. Variable Dn de las parcelas experimentales a fecha 25/09/2008.

PARCELA	n	Dn (cm)				
		Media	Desv. Tipica	Max	Min	cv
M1R2F1	28	4,4	1,1	6,0	1,5	25,9
M1R2F0	25	4,2	0,7	5,3	2,2	18,2
M1R1F1	12	3,7	0,9	5,4	1,9	24,4
M1R1F0	9	3,4	0,7	4,3	2,2	21,1
M2R2F1	48	4,2	0,8	6,0	2,2	20,5
M2R2F0	55	4,0	0,9	5,5	1,7	21,3
M2R1F1	37	3,5	1,2	5,4	1,5	32,6
M2R1F0	14	2,6	0,8	4,1	1,5	31,6

La evolución de los diámetros en la base y normales como de las alturas totales, durante los años de seguimiento en la plantación, ha seguido comportamientos propios de plantaciones de crecimientos ultrarrápidos.

A la edad de 5 meses, la plantación ha presentado un diámetro en la base medio de 2,5 a 2,7 cm. en las parcelas con un marco de 3x3 metros, y mucho mas variable y sensiblemente mayor en las parcelas con un marco de 3x2 metros, en las cuales este diámetro varió desde 1,7 a 3,2 cm. No obstante, este diámetro aumentó hasta intervalos de 2,8 a 3,9 cm., en las parcelas de 3x3 metros y desde 2,2 a 3,6 cm. en las parcelas de 3x2 metros, a los 14 meses de edad. Si bien, el mayor incremento se observó durante los meses centrales del periodo estival, lográndose diámetros en la base desde 6,0 a 7,3 en las parcelas de 3x3 metros y de 5,0 a 6,9 cm en las parcelas de 3x2 metros, a la edad de 17 meses.

En el caso del diámetro normal, medido a 1,30 metros, solo se han obtenido datos del inventario realizado a finales del mes de septiembre de 2008, ya que en los inventarios anteriores existían pies con alturas inferiores a ésta. No obstante, la plantación ha presentado un diámetro normal medio de 3,4 y 4,4 cm. en las parcelas con un marco de 3x3 metros, y mucho mas variable y sensiblemente inferior en las parcelas con un marco de 3x2 metros, en las cuales este diámetro varió desde 2,6 a 4,2 cm.

Similar evolución a la del diámetro en la base a ha seguido la altura total, con altura total media de 81,2 a 89,8 cm. en las parcelas con un marco de 3x3 metros, y mucho mas variable y superior en las parcelas con un marco de 3x2 metros, en las cuales esta variable varió desde 54 a 107 cm. No obstante, la altura total aumentó hasta intervalos de 113,6 a 150,3 cm. en las parcelas de 3x3 metros y desde 83,8 a 138,4 cm. en las parcelas de 3x2 metros, a los 14 meses de edad. Finalmente, se han alcanzado alturas totales de 260,9 a 321,3 en las parcelas de 3x3 metros y de 213,8 a 314,5 cm en las parcelas de 3x2 metros, a la edad de 17 meses.

En todos los inventarios, y en ambos marcos de plantación, se observa que los pies poseen valores mayores de las diferentes variables consideradas (diámetros en la base, diámetro normal y altura total) cuando se realiza fertilización. Del mismo modo, al aplicar una dosis de riego superior se obtienen valores superiores. De igual forma, se observa que la combinación riego a dosis alta sin fertilización proporciona valores superiores en las variable considerada que la combinación riego a dosis baja con fertilización, lo que hace pensar que el factor riego posea mayor importancia que el factor fertilización.

A su vez, se llega a la conclusión de que las trozas comerciales que se obtendrían de las parcelas experimentales cuyo marco de plantación es mayor (3x3 metros) poseerían mejores dimensiones comerciales (Db, Dn y Ht) que las obtenidas en las parcelas con un marco menor.

Parcelas con marco de plantación 3x3 metros:

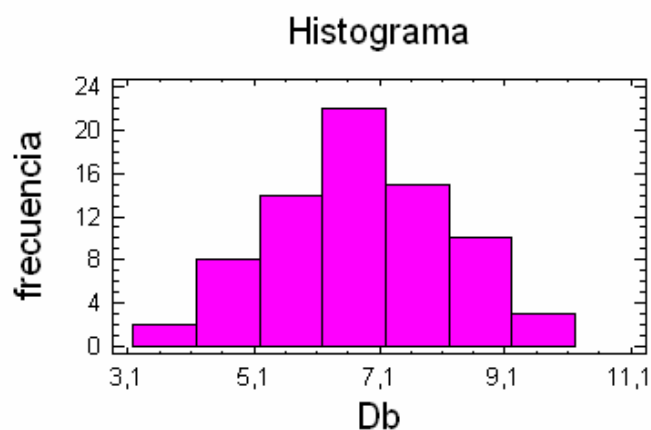


Figura 7. Variable Db de las parcelas experimentales de marco 3x3 m, a fecha 25/09/2008.

n=74, media=6,9, Desv. Tip.=1,3, Max.=9,4, Min.=3,5.

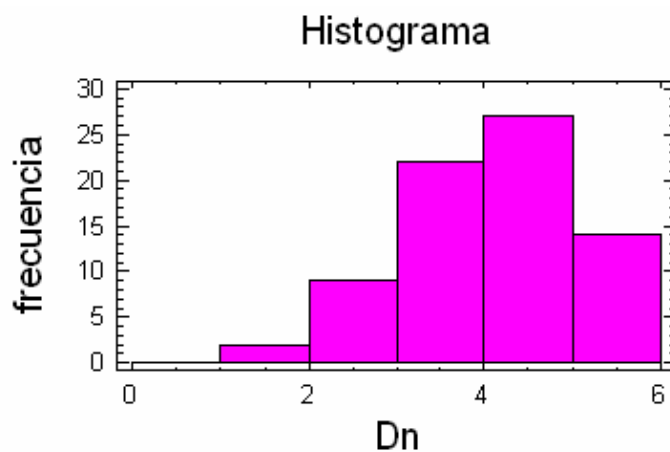


Figura 8. Variable Dn de las parcelas experimentales de marco 3x3 m, a fecha 25/09/2008.

n=74, media=4,1, Desv. Tip.=1,0, Max.=6,0, Min.=1,5.

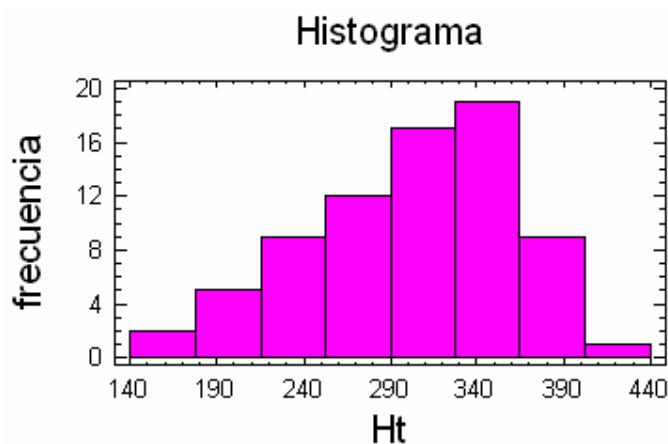
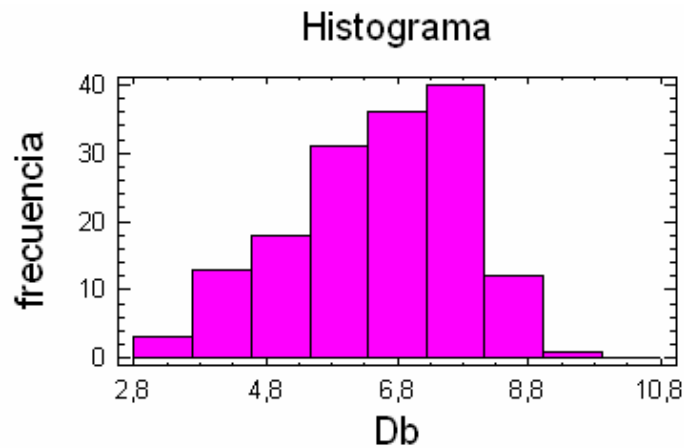


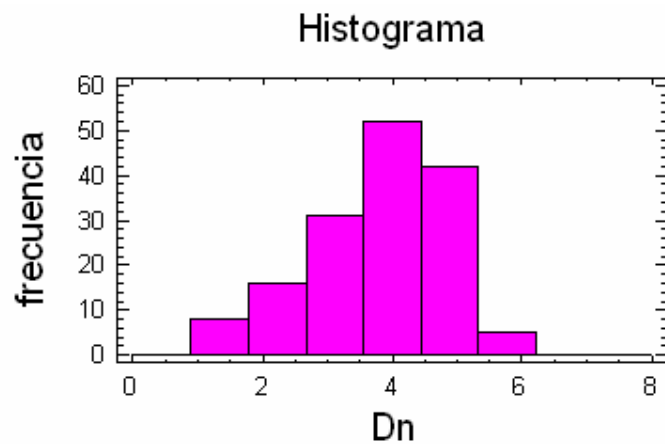
Figura 9. Variable Ht de las parcelas experimentales de marco 3x3 m, a fecha 25/09/2008.

n=74, media=300,5, Desv. Tip.=59,1, Max.=407, Min.=159.

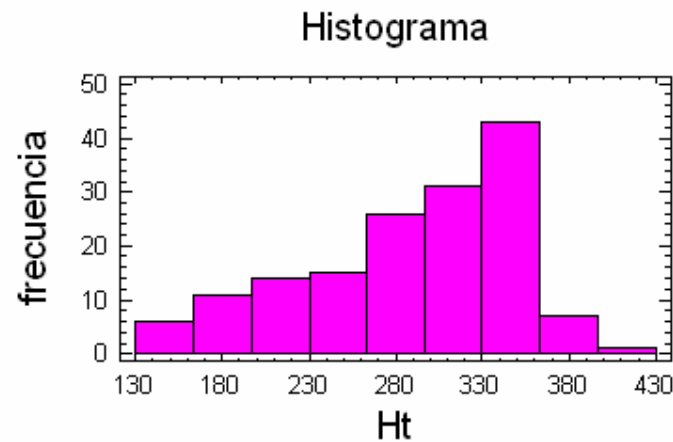
Parcelas con marco de plantación 3x2 metros:



*Figura 10. Variable Db de las parcelas experimentales de marco 3x3 m, a fecha 25/09/2008.
n=154, media=6,4, Desv. Tip.=1,3, Max.=9,7, Min.=3,2.*



*Figura 11. Variable Dn de las parcelas experimentales de marco 3x3 m, a fecha 25/09/2008.
n=154, media=3,8, Desv. Tip.=1,0, Max.=6,0, Min.=1,5.*



*Figura 12. Variable Ht de las parcelas experimentales de marco 3x3 m, a fecha 25/09/2008.
n=154, media=289,8, Desv. Tip.=69,1, Max.=400, Min.=146.*

Concretamente, en las parcelas con un marco de 3x3 metros se obtiene un diámetro en la base medio de 6,9 cm, un diámetro normal medio de 4,1 cm y una altura total media de 300,5 cm, valores superiores a 6,4 cm, 3,8 cm y 289,8 cm, respectivamente, obtenidos en las parcelas de marcos 3x2 metros.

Esto puede indicar, que los árboles obtenidos en este marco de plantación podrían destinarse preferentemente a la obtención de madera, si bien esperando a su corta hasta alcanzar dimensiones comerciales adecuadas. Teniendo en cuenta las dimensiones actuales, podría deducirse un turno de corta, para la producción de madera, próximo a los 9 ó 10 años de edad.

4.2.2. VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES.-

Se ha estudiado la variabilidad espacial del diámetro normal y de la altura total en su conjunto, considerando todas las parcelas experimentales como una sola, en los siguientes estudios. Se han observado diferencias significativas en diámetros y alturas con la edad.

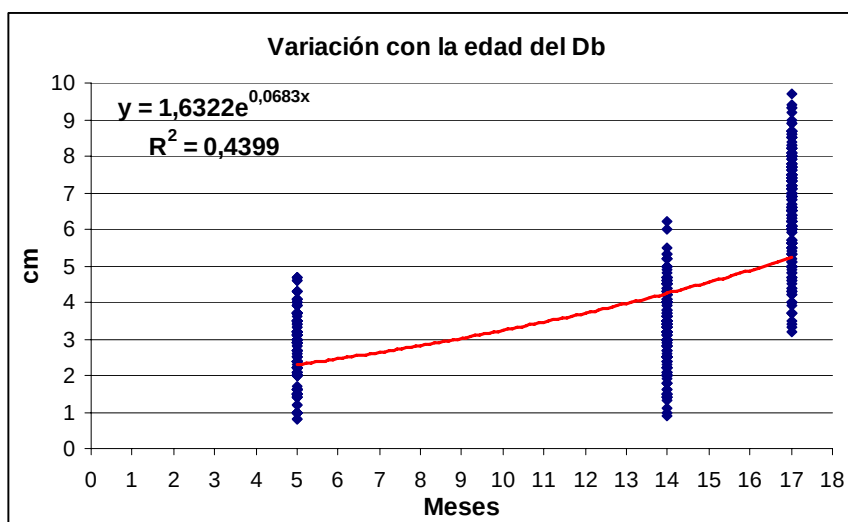


Figura 13. Variación con la edad del diámetro en la base (Db) de los árboles de la plantación experimental.

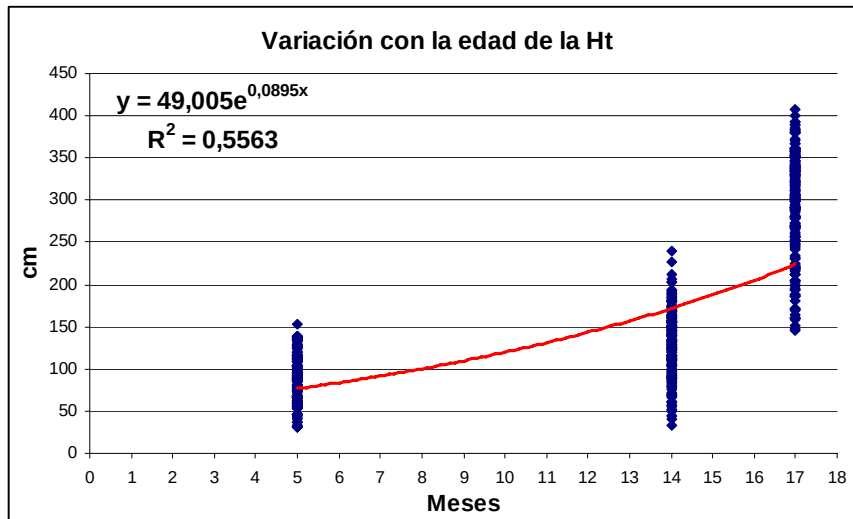


Figura 14. Variación con la edad de la altura total (Ht) de los árboles de la plantación experimental.

Considerando todas las parcelas experimentales como una sola, se puede observar en las Figuras 13 y 14 la distribución, a lo largo de los meses, de la altura total y del diámetro normal, con coeficientes de determinación ajustados de 0,44 y 0,55 para el diámetro normal y altura total, respectivamente. En la Figura 15 se representan las correlaciones, positivas, entre diámetros normales y la altura total para las mediciones realizadas en este trabajo, con coeficiente de determinación ajustado de 0,95.

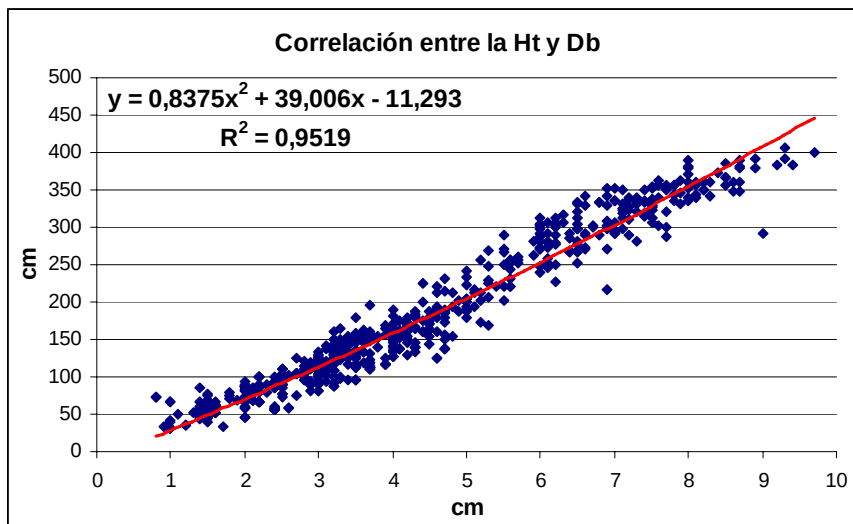


Figura 15. Correlación existente entre la altura total (cm) y el diámetro en la base (cm), para edades comprendidas entre los 5 y 17 meses de edad.

4.3. BIOMASA Y FIJACIÓN DE CO₂.-

4.3.1. ENSAYOS DESTRUCTIVOS.-

CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DE LOS ÁRBOLES MUESTRA.-

En la siguiente tabla se muestran los parámetros dendrométricos de los 24 pies que fueron apeados en la totalidad de la plantación experimental, para llevar a cabo los ensayos destructivos con el objetivo de obtener la biomasa total presente en la parcela.

Tabla 8. Parámetros dendrométricos de los 24 árboles muestra.

Condición experimental			Árbol	Parámetros Dendrométricos			
Marco	Riego	Fertilización		Db (cm)	Dn (cm)	Ht (cm)	Dc (cm)
1	2	1	A	9,80	6,10	383,00	157,00
1	2	1	B	7,05	4,00	302,00	138,00
1	2	1	C	3,60	1,50	150,00	131,50
1	2	0	A	9,15	5,95	372,00	149,00
1	2	0	B	7,00	4,05	265,00	141,00
1	2	0	C	5,25	2,75	201,00	125,00
1	1	1	A	8,70	5,15	355,00	139,00
1	1	1	B	6,30	3,50	259,00	135,50
1	1	1	C	4,45	1,95	156,00	123,50
1	1	0	A	7,65	4,60	301,00	133,00
1	1	0	B	7,30	3,70	257,00	133,00
1	1	0	C	4,50	2,10	181,00	86,00
2	2	1	A	9,50	5,85	381,00	152,00
2	2	1	B	6,85	4,05	298,00	123,00
2	2	1	C	4,10	2,05	178,00	106,00
2	2	0	A	8,30	5,15	372,00	147,50
2	2	0	B	6,00	3,10	261,00	125,50
2	2	0	C	3,05	1,50	154,00	117,00
2	1	1	A	8,05	4,40	349,00	123,50
2	1	1	B	6,25	3,25	256,00	120,00
2	1	1	C	3,35	1,50	159,00	109,50
2	1	0	A	6,35	3,20	284,00	135,00
2	1	0	B	4,35	2,30	193,00	119,50
2	1	0	C	3,55	1,50	150,00	111,00

BIOMASA DE LOS ÁRBOLES MUESTRA.-

A continuación se muestran los pesos secos (Kg.) de los 24 pies, divididos en diferentes compartimentos. Concretamente, el peso seco aéreo se compone de la materia seca de los compartimientos aéreos: hojas, pecíolos, ramas y fuste o tronco; y peso seco subterráneo se compone de la materia seca de las raíces y cepellón.

Tabla 9. Datos de biomasa, expresada como Kg. en peso seco, de los 24 árboles muestra.

Condición experimental			Árbol	Biomasa Aérea (Kg)					Biomasa Subterránea (Kg)	Biomasa Total (Kg)
Marco	Riego	Fert.		Hojas	Peciolos	Ramas	Tronco	Total		
1	2	1	A	0,63	0,15	0,23	4,99	6,00	4,08	10,08
1	2	1	B	0,37	0,10	0,00	2,33	2,80	1,07	3,87
1	2	1	C	0,13	0,04	0,00	0,17	0,34	0,33	0,67
1	2	0	A	0,65	0,15	0,17	4,50	5,47	2,77	8,24
1	2	0	B	0,39	0,10	0,00	1,87	2,36	1,03	3,39
1	2	0	C	0,21	0,05	0,00	0,84	1,10	0,60	1,70
1	1	1	A	0,52	0,12	0,08	3,54	4,26	2,21	6,47
1	1	1	B	0,30	0,08	0,00	1,47	1,86	1,05	2,91
1	1	1	C	0,17	0,04	0,00	0,42	0,64	0,45	1,09
1	1	0	A	0,40	0,10	0,01	2,60	3,11	1,42	4,53
1	1	0	B	0,36	0,09	0,00	1,61	2,07	1,14	3,20
1	1	0	C	0,18	0,03	0,00	0,45	0,66	0,46	1,12
2	2	1	A	0,80	0,17	0,22	4,57	5,76	3,37	9,13
2	2	1	B	0,35	0,09	0,00	1,58	2,02	1,00	3,02
2	2	1	C	0,16	0,04	0,00	0,32	0,52	0,40	0,91
2	2	0	A	0,70	0,16	0,09	3,41	4,36	1,85	6,21
2	2	0	B	0,37	0,09	0,00	1,03	1,49	0,96	2,45
2	2	0	C	0,11	0,03	0,00	0,13	0,27	0,26	0,53
2	1	1	A	0,46	0,10	0,06	2,28	2,90	1,66	4,57
2	1	1	B	0,27	0,07	0,00	1,13	1,47	0,78	2,24
2	1	1	C	0,14	0,03	0,00	0,16	0,33	0,29	0,63
2	1	0	A	0,36	0,10	0,00	1,55	2,01	0,88	2,89
2	1	0	B	0,17	0,04	0,00	0,38	0,59	0,42	1,01
2	1	0	C	0,15	0,03	0,00	0,18	0,36	0,32	0,68

La producción de biomasa total ha variado considerablemente entre los árboles de diferentes parcelas experimentales. El peso total en los árboles de mayor tamaño (árbol A) de las parcelas con un marco de plantación de 3x3 metros, oscila entre los 10,08 a 4,5 Kg. y en las parcelas con un marco de plantación de 3x2 metros, oscila entre los 9,13 a 2,89 Kg.

Menor variabilidad existe en el peso total en los árboles de tamaño mediano (árbol B). En las parcelas con un marco de plantación de 3x3 metros, el peso oscila entre los 3,87 a 3,2 Kg. y en las parcelas con un marco de plantación de 3x2 metros, oscila entre los 3,02 a 1,01 Kg. Caso similar ocurre con el peso total en los árboles de menor tamaño (árbol C) de las parcelas con un marco de plantación de 3x3 metros, oscila entre los 1,70 a 0,66 Kg. y en las parcelas con un marco de plantación de 3x2 metros, oscila entre los 0,91 a 0,62 Kg.

Se observa que existe una mayor variabilidad en el peso total de los pies de mayor tamaño (árbol A), para el conjunto de todas las parcelas, que en el resto de pies. Además, en la parcela M2R1F0 se obtienen los pies con menor peso total de todos los muestreados.

En la siguiente tabla se ha resumido la biomasa aérea y subterránea, distribuida en sus diferentes componentes de los árboles apeados. Se ha obtenido el siguiente orden de acumulación de biomasa:

- Parcelas con marco de plantación 3x3 metros:
 - Árboles A: Tronco > Raíces > Hojas > Ramas > Pecíolos.
 - Árboles B y C: Tronco > Raíces > Hojas > Pecíolos.
- Parcelas con marco de plantación 3x2 metros:
 - Árboles A: Tronco > Raíces > Hojas > Pecíolos > Ramas.
 - Árboles B y C: Tronco > Raíces > Hojas > Pecíolos.

Se observa, que solo aparecen ramas laterales en los árboles de mayores dimensiones (árboles A), en ambos marcos de plantación. No obstante, en un marco más amplio (marco 3x3 m), poseen un mayor peso total las ramas frente a los pecíolos; pero por el contrario, en un marco más estrecho (marco 3x2 m) poseen un mayor peso total los pecíolos, aun cuando el peso de los mismos es similar al obtenido en parcelas con un marco mayor. Esta causa puede ser debida a que en el marco más estrecho existe una mayor densidad y competencia entre árboles, provocándose que el desarrollo de la copa sea menor y por tanto de las ramas laterales.

El porcentaje de contribución de los diferentes compartimentos es el siguiente:

Tabla 10. Datos de biomasa, expresada como Kg. en peso seco, de los 24 árboles muestra.

Condición experimental			Biomasa Aérea (%)					Biomasa Subterránea (%)
Marco	Riego	Fert.	Hojas	Pecíolos	Ramas	Tronco	Total	
1	2	1	7,7	2,0	1,6	51,2	62,5	37,5
1	2	0	9,4	2,2	1,3	54,1	67,0	33,0
1	1	1	9,5	2,4	0,7	51,9	64,5	35,5
1	1	0	10,7	2,5	0,1	52,7	66,0	34,0
2	2	1	10,0	2,3	1,7	49,5	63,5	36,5
2	2	0	12,9	3,1	0,9	49,8	66,6	33,4
2	1	1	11,6	2,7	0,8	48,1	63,2	36,8
2	1	0	14,7	3,8	0,0	46,1	64,6	35,4

En todas las parcelas experimentales, existen porcentajes similares entre la biomasa aérea y subterránea, comprendidos entre 62,5 a 67% y 37,5 a 33%, respectivamente. La proporción del tronco respecto al total del árbol, ha sido superior al 62,5% en todos los casos estudiados.

No obstante, se observa que la biomasa del tronco, en las parcelas con un marco de plantación de 3x3 metros posee porcentajes mayores (51,2 a 52,7%) que en las parcelas con un marco de 3x2 metros (46,1 a 49,5%). Por el contrario, se observa que la biomasa de las hojas, en las parcelas con un marco de plantación de 3x3 metros posee porcentajes menores (7,7 a 10,7%) que en las parcelas con un marco de 3x2 metros (10,0 a 14,7%). Los porcentajes de biomasa de ramas, pecíolos y raíces son similares en todas las parcelas experimentales. Podemos deducir, que en condiciones de mayor densidad y competencia entre pies, los árboles experimentan una disminución de volúmenes de madera del tronco, favoreciéndose el aumento del área foliar. Este hecho podría indicar que la especie requiere de una gran superficie fotosintética para favorecer su desarrollo.

Si comparamos los resultados de porcentaje de peso seco radical y aéreo con otras especies de crecimiento rápido como el eucalipto, vemos que son más o menos similares. El eucalipto presenta un 66,9% de materia seca en peso para la parte aérea y 33,1% para la parte subterránea. Para el chopo (*Populus x euramericana*) los valores son algo diferentes puesto que la parte aérea representa el 76% y la parte radical el 24%. En el caso de las pináceas, el % de peso seco es del 78,6% (parte aérea) y 21,4% (parte radical) para el pino silvestre, 77,9% (parte aérea) y 22,1% (parte radical) para el pino pinaster, 88,4% (parte aérea) y 19,6% (parte radical) para el pino laricio y 76,4% (parte aérea) y 23,6% (parte radical) para el pino carrasco.

RELACIONES ALOMÉTRICAS.-

Gracias a los datos de biomasa obtenidos de los pies apeados en el ensayo destructivo, se va llevar a cabo una estimación de cada una de las partes en las que ha sido dividido el pie. De este modo se puede conocer la biomasa total que hay en la plantación experimental.

Del análisis de la biomasa se exponen a continuación las relaciones obtenidas:

1. Peso Seco Aéreo (Kg.):

Se obtuvieron relaciones alométricas diferenciando los 24 pies apeados en 4 grupos diferentes, en función de los factores marco de plantación y dosis de riego.

Tabla 11. Relaciones alométricas para la biomasa aérea, diferenciado por factores “marco de plantación” y “dosis de riego”.

<i>Factores</i>	<i>Relación</i>	<i>R²</i>	<i>SEE</i>	<i>N</i>
<i>M1 R2</i>	$PS_Aéreo(Kg) = 0,00858564 \times Db^{2,90635}$	99,57	0,07	6
<i>M1 R1</i>	$PS_Aéreo(Kg) = 0,0102276 \times Db^{2,77223}$	98,12	0,12	6
<i>M2 R2</i>	$PS_Aéreo(Kg) = 0,0112817 \times Db^{2,75754}$	99,36	0,10	6
<i>M2 R1</i>	$PS_Aéreo(Kg) = 0,014108 \times Db^{2,58101}$	98,79	0,11	6

2. Peso Seco Subterráneo (Kg.):

Se obtuvo una relaciones alométricas del conjunto de los 8 pies, de los cuales se extrajo el sistema radical.

Tabla 12. Relaciones alométricas para la biomasa subterránea.

<i>Factores</i>	<i>Relación</i>	<i>R²</i>	<i>SEE</i>	<i>N</i>
	$PS_Raiz(Kg) = 1/(-1,39209 + 16,0432 / Db)$	92,35	0,14	8

Posteriormente, se obtuvieron relaciones alométricas a partir de la anterior, para el conjunto de los 24 pies apeados, en 2 grupos diferentes, en función del factor marco de plantación.

Tabla 13. Relaciones alométricas para la biomasa subterránea, diferenciado por factor “marco de plantación”.

<i>Factores</i>	<i>Relación</i>	<i>R²</i>	<i>SEE</i>	<i>N</i>
<i>M2</i>	$PS_Raiz(Kg) = 1/(-1,40097 + 16,0928 / Db)$	99,52	0,08	12
<i>M1</i>	$PS_Raiz(Kg) = 1/(-1,37564 + 15,9367 / Db)$	99,35	0,07	12

BIOMASA TOTAL.-

En función de las relaciones alométricas obtenidas, y a partir de los datos de los inventarios pie a pie realizados, ya podemos conocer la cantidad de materia seca a nivel parcela experimental y a nivel hectárea.

1. Biomasa total, a nivel parcela.

En las siguientes tablas aparecen los resultados obtenidos a nivel parcela experimental:

Tabla 14. Biomasa total, a nivel parcela experimental, a fecha 6/10/2007.

Condición experimental	06/10/2007			
	Pies Total	Peso Aéreo Total Kg.	Peso Subterráneo Total Kg.	Peso Total Kg.
M1R2F1	30	5,65	6,74	12,39
M1R2F0	27	4,65	5,89	10,54
M1R1F1	12	2,47	2,75	5,22
M1R1F0	11	1,96	2,31	4,27
M2R2F1	15	4,43	4,25	8,68
M2R2F0	56	13,77	13,82	27,59
M2R1F1	34	8,33	8,22	16,54
M2R1F0	23	1,88	3,05	4,93

Tabla 15. Biomasa total, a nivel parcela experimental, a fecha 4/07/2008.

Condición experimental	04/07/2008			
	Pies Total	Peso Aéreo Total Kg.	Peso Subterráneo Total Kg.	Peso Total Kg.
M1R2F1	28	14,88	10,92	25,80
M1R2F0	25	8,83	7,74	16,56
M1R1F1	11	3,04	2,96	5,99
M1R1F0	9	1,79	2,15	3,93
M2R2F1	48	21,51	16,48	38,00
M2R2F0	54	22,05	17,39	39,44
M2R1F1	33	11,53	9,83	21,37
M2R1F0	19	2,58	3,35	5,93

Tabla 16. Biomasa total, a nivel parcela experimental, a fecha 25/09/2008.

Condición experimental	25/09/2008			
	Pies Total	Peso Aéreo Total Kg.	Peso Subterráneo Total Kg.	Peso Total Kg.
M1R2F1	28	85,54	41,32	126,86
M1R2F0	25	65,59	30,56	96,15
M1R1F1	12	22,79	12,25	35,04
M1R1F0	9	13,96	7,41	21,37
M2R2F1	48	117,54	57,61	175,15
M2R2F0	55	127,71	61,55	189,26
M2R1F1	37	63,48	34,88	98,36
M2R1F0	14	13,64	8,18	21,82

A continuación se muestra una representación del peso seco aéreo total, peso seco subterráneo total y peso seco total, en Kg., para cada uno de los inventarios realizados.

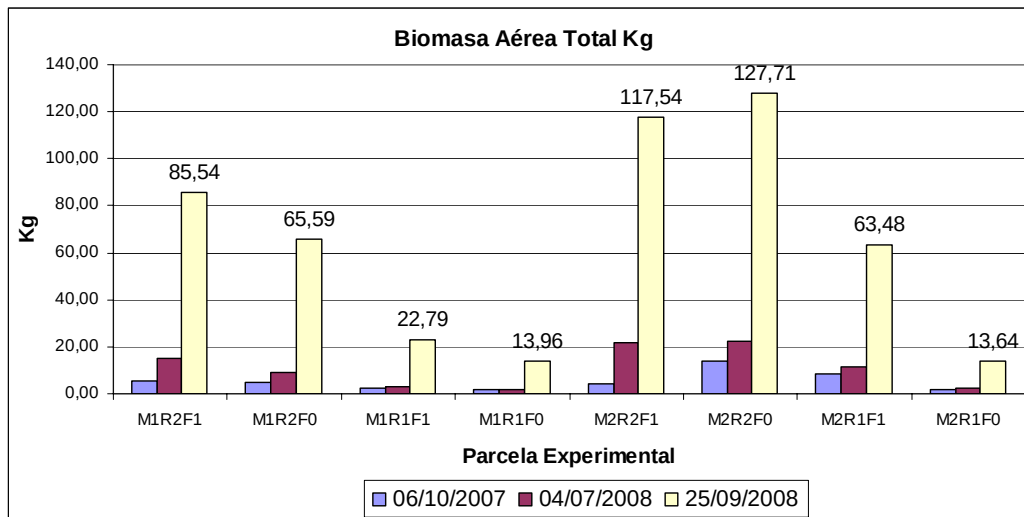


Figura 16. Biomasa aérea total, en Kg., a nivel parcela experimental.

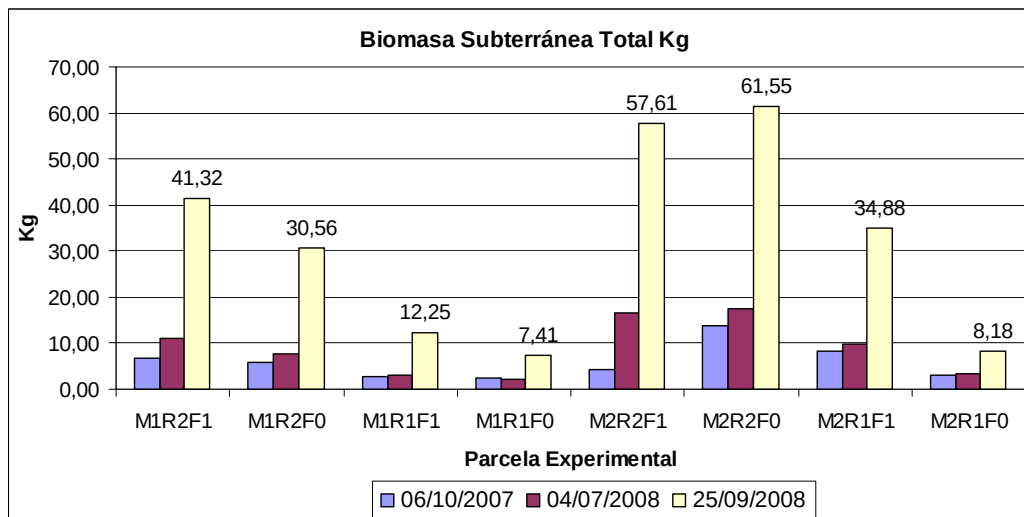


Figura 17. Biomasa subterránea total, en Kg., a nivel parcela experimental.

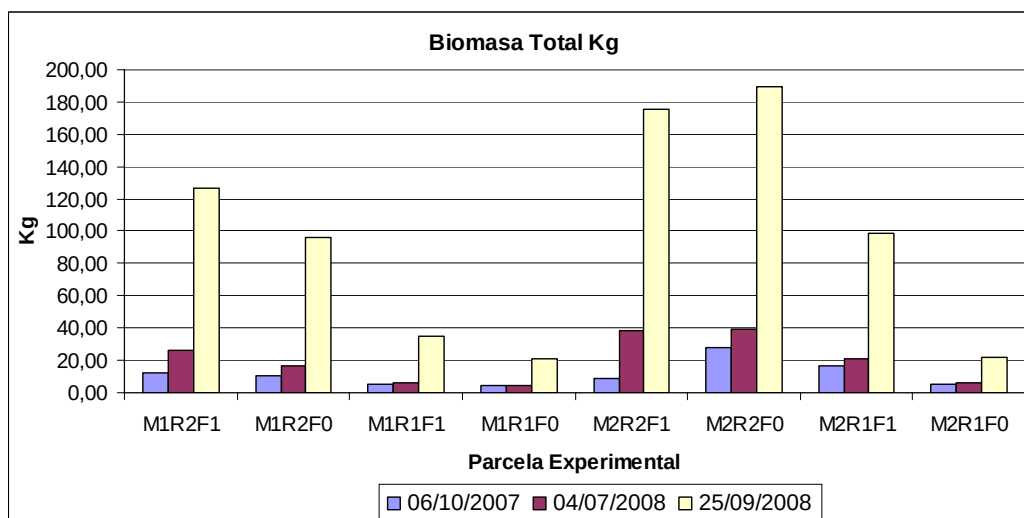


Figura 18. Biomasa total, en Kg., a nivel parcela experimental.

Los datos de biomasa total obtenidos a nivel parcela no son representativos, ya que están influenciados por el número de árboles presentes en cada parcela experimental, siendo este valor diferente en todas las parcelas experimentales.

2. Biomasa total por hectárea.

En las siguientes tablas aparecen los resultados obtenidos a nivel hectárea:

Tabla 17. Biomasa total por ha, a fecha 6/10/2007.

Condición experimental	06/10/2007			
	Pies/ha	Peso Aéreo Total Kg/ha	Peso Subterráneo Total Kg/ha	Peso Total Kg/ha
M1R2F1	1111	209,40	249,57	458,97
M1R2F0	1111	191,28	242,53	433,81
M1R1F1	1111	228,28	254,74	483,02
M1R1F0	1111	198,03	232,92	430,95
M2R2F1	1666	492,43	471,95	964,38
M2R2F0	1666	409,68	411,05	820,72
M2R1F1	1666	408,01	402,62	810,63
M2R1F0	1666	136,53	220,87	357,40

Tabla 18. Biomasa total, por ha, a fecha 4/07/2008.

Condición experimental	04/07/2008			
	Pies/ha	Peso Aéreo Total Kg/ha	Peso Subterráneo Total Kg/ha	Peso Total Kg/ha
M1R2F1	1111	590,40	433,11	1023,51
M1R2F0	1111	392,31	343,80	736,12
M1R1F1	1111	306,86	298,57	605,43
M1R1F0	1111	220,55	265,20	485,75
M2R2F1	1666	746,73	572,08	1318,81
M2R2F0	1666	680,21	536,47	1216,68
M2R1F1	1666	582,29	496,34	1078,64
M2R1F0	1666	226,25	293,53	519,78

Tabla 19. Biomasa total, por ha, a fecha 25/09/2008.

Condición experimental	25/09/2008			
	Pies/ha	Peso Aéreo Total Kg/ha	Peso Subterráneo Total Kg/ha	Peso Total Kg/ha
M1R2F1	1111	3394,08	1639,37	5033,45
M1R2F0	1111	2914,93	1358,17	4273,10
M1R1F1	1111	2110,32	1133,81	3244,13
M1R1F0	1111	1723,18	914,77	2637,94
M2R2F1	1666	4079,45	1999,68	6079,13
M2R2F0	1666	3868,50	1864,50	5733,00
M2R1F1	1666	2858,22	1570,59	4428,81
M2R1F0	1666	1623,43	972,95	2596,38

A continuación se muestra una representación del peso seco aéreo total, peso seco subterráneo total y peso seco total, en Kg./ha, para cada uno de los inventarios realizados.

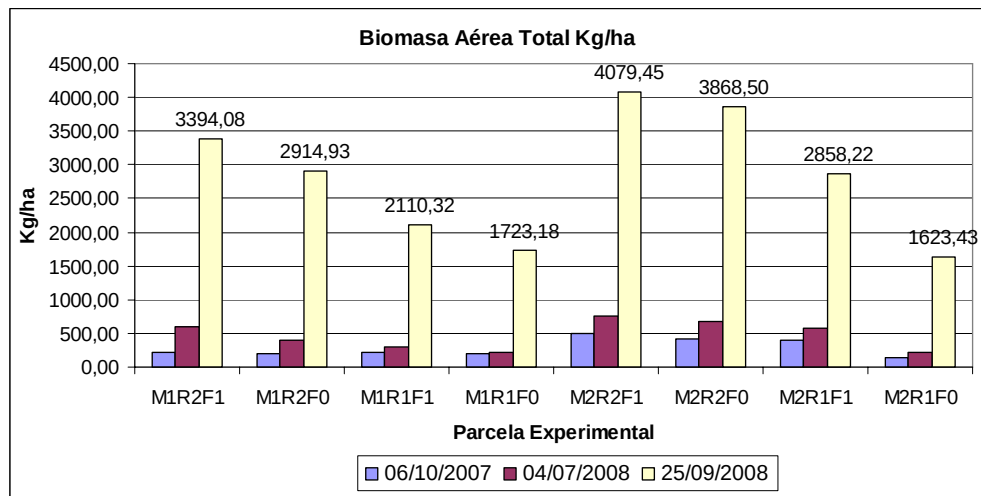


Figura 19. Biomasa aérea total, en Kg./ha.

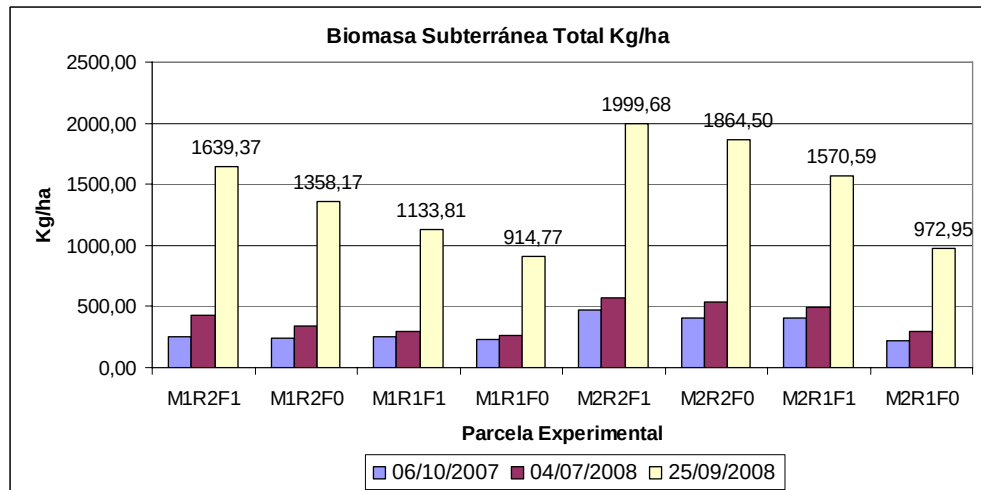


Figura 20. Biomasa subterránea total, en Kg./ha.

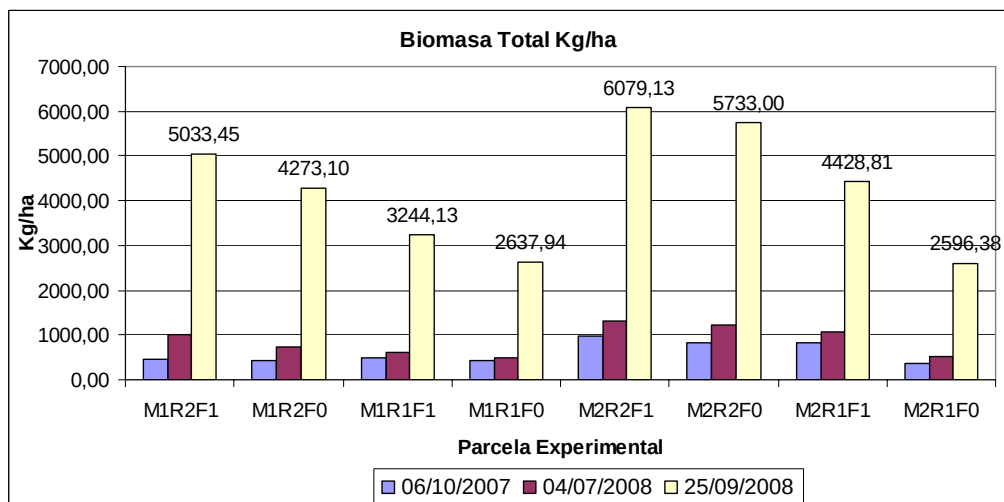


Figura 21. Biomasa total, en Kg./ha.

Analizando los valores del peso total, en Kg./ha, para cada una de las parcelas se observa:

- Los resultados obtenidos del análisis ANOVA factorial realizado, reflejan que los factores “edad”, “marco”, “riego”, “fertilización”, “interacción edad-riego” e “interacción edad-fertilización” tienen efecto estadísticamente significativo en la biomasa total para un 95%.

- La acumulación de biomasa total, en todas las parcelas, refleja un modelo de crecimiento exponencial, propio de especie de crecimiento ultrarrápido.

- Las parcelas experimentales con un marco de plantación de 3x2 metros producen más biomasa (2.596,38 a 6.079,13 Kg/ha) que las parcelas con una marco de 3x3 metros (2.637,94 a 5.033,45), para la edad de los cultivos estudiados.

- Diferenciando por marcos de plantación, en ambos casos, se observa que se acumula más biomasa cuando se realiza fertilización. Del mismo modo, al aplicar una dosis de riego superior se obtienen valores superiores. De igual forma, se observa que la combinación riego a dosis alta sin fertilización proporciona valores superiores que la combinación riego a dosis baja con fertilización, lo que hace pensar que el factor riego posea mayor importancia que el factor fertilización.

- Los datos de los inventarios realizados reflejaban que las parcelas con un marco de plantación de 3x2 metros, poseían árboles con unas dimensiones comerciales (Db, Dn y Ht) menores que en las parcelas de marco 3x3 metros. No obstante, estas parcelas poseen una mayor producción de biomasa en Kg./ha. De este modo, se deduce que los árboles procedentes de parcelas con un marco de 3x2 metros podrían destinarse para usos energéticos, una vez se haya alcanzado la producción esperada por superficie. Teniendo en cuenta la biomasa actual, podría deducirse un turno de corta, para fines energéticos, próximo a los 4 años de edad.

4.3.2. CUBICACIÓN Y PRODUCCIÓN.-

Varias son las maneras a través de las cuales se puede conocer el volumen de un pie del una masa arbórea. Un claro ejemplo es la fórmula de Smalian aplicada a cada una de las trozas de los pies apeados. Dicha fórmula es la siguiente:

$$V = \frac{(S^2_{base} + S^2_{extremo})}{2} \times l$$

Donde:

- Sbase = Sección en la base de la troza.
- Sextremo = Sección en el extremo de la troza.
- l = longitud de la troza.

Una vez conocido el volumen de los 24 pies apeados, se podría confeccionar una relación alométrica entre el volumen y el diámetro normal o el diámetro en la base del árbol. Pudiendo conocer el volumen a nivel parcela y hectárea.

No obstante, esta metodología no se puede aplicar en la actualidad, ya que lo el tronco de los pies apeados no es completamente denso, sino que presenta un oquedad interior que se distribuye longitudinalmente por el mismo. De este modo, si aplicásemos la ecuación anterior, se estaría sobrestimando un volumen de madera inexistente.

Si bien, se puede realizar una estimación del volumen de madera generado a partir de la biomasa aérea procedente del tronco y la densidad de la misma.

La cantidad total de biomasa producida por el tronco, en cada una de las parcelas experimentales, es la siguiente:

Tabla 20. Biomasa del tronco, en Kg./ha.

Condición experimental			Biomasa del Tronco		
Marco	Riego	Fert.	Biomasa Total Kg/ha	% Biomasa Tronco	Total
1	2	1	5183,7	51,2	2655,8
1	2	0	4484,9	54,1	2424,8
1	1	1	3581,6	51,9	1860,0
1	1	0	3063,0	52,7	1613,5
2	2	1	6079,1	49,5	3011,5
2	2	0	5733,0	49,8	2853,1
2	1	1	4428,8	48,1	2130,0
2	1	0	2596,4	46,1	1197,9

Sabiendo que la densidad de la madera es de 270 Kg/m³ (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)), tenemos unas producciones de madera estimadas:

Tabla 21. Volumen de madera, en m³/ha.

Condición experimental			Biomasa Tronco (Kg/ha)	Volumen (m ³ /ha)
Marco	Riego	Fert.		
1	2	1	2655,8	9,84
1	2	0	2424,8	8,98
1	1	1	1860,0	6,89
1	1	0	1613,5	5,98
2	2	1	3011,5	11,15
2	2	0	2853,1	10,57
2	1	1	2130,0	7,89
2	1	0	1197,9	4,44

Se observa, en árboles de 17 meses de edad, que las parcelas con un marco de plantación menor producen mayores volúmenes de madera (10,5 – 11 m³/ha), principalmente las parcelas M2R2F1 y M2R2F0, que las parcelas con un marco de plantación mayor (9 – 9,8 m³/ha).

Podemos observar que en ambos marcos, la fertilización no produce aumentos considerables de volumen, sin embargo, dosis de riego mayores si provocan incrementos significativos.

4.3.3. FIJACIÓN DE CO₂.-

CONTENIDO DE CARBONO TOTAL.-

Una vez conocida la cantidad de materia seca presente en las parcelas experimentales, es sencillo conocer la cantidad de carbono contenida en las mismas.

El Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), estima que la cantidad de carbono que almacena la especie *Paulownia* spp. es aproximadamente del 49,5% de la materia seca, lo que equivale a 0,495 toneladas de carbono por tonelada de materia seca.

De este modo, la cantidad de carbono (Kg./ha) que almacenado en cada momento del inventario y parcela experimental es el siguiente:

Tabla 22. Carbono aéreo, subterráneo y total, a nivel hectárea, a fecha 6/10/2007.

Condición experimental	06/10/2007			
	Pies/ha	Carbono Aéreo Total (Kg/ha)	Carbono Subterráneo Total (Kg/ha)	Carbono Total (Kg/ha)
M1R2F1	1111	103,65	123,54	227,19
M1R2F0	1111	94,68	120,05	214,74
M1R1F1	1111	113,00	126,10	239,10
M1R1F0	1111	98,03	115,30	213,32
M2R2F1	1666	243,75	233,62	477,37
M2R2F0	1666	202,79	203,47	406,26
M2R1F1	1666	201,97	199,30	401,26
M2R1F0	1666	67,58	109,33	176,91

Tabla 23. Carbono aéreo, subterráneo y total, a nivel hectárea, a fecha 4/07/2008.

Condición experimental	04/07/2008			
	Pies/ha	Carbono Aéreo Total (Kg/ha)	Carbono Subterráneo Total (Kg/ha)	Carbono Total (Kg/ha)
M1R2F1	1111	292,25	214,39	506,64
M1R2F0	1111	194,19	170,18	364,38
M1R1F1	1111	151,89	147,79	299,69
M1R1F0	1111	109,17	131,27	240,45
M2R2F1	1666	369,63	283,18	652,81
M2R2F0	1666	336,70	265,55	602,26
M2R1F1	1666	288,23	245,69	533,93
M2R1F0	1666	111,99	145,30	257,29

Tabla 24. Carbono aéreo, subterráneo y total, a nivel hectárea, a fecha 25/09/2008.

Condición experimental	25/09/2008			
	Pies/ha	Carbono Aéreo Total (Kg/ha)	Carbono Subterráneo Total (Kg/ha)	Carbono Total (Kg/ha)
M1R2F1	1111	1680,07	811,49	2491,56
M1R2F0	1111	1442,89	672,29	2115,19
M1R1F1	1111	1044,61	561,23	1605,84
M1R1F0	1111	852,97	452,81	1305,78
M2R2F1	1666	2019,33	989,84	3009,17
M2R2F0	1666	1914,91	922,93	2837,84
M2R1F1	1666	1414,82	777,44	2192,26
M2R1F0	1666	803,60	481,61	1285,21

A continuación se muestra una representación del carbono aéreo total, carbono subterráneo total y carbono total, en Kg./ha, para cada uno de los inventarios realizados.

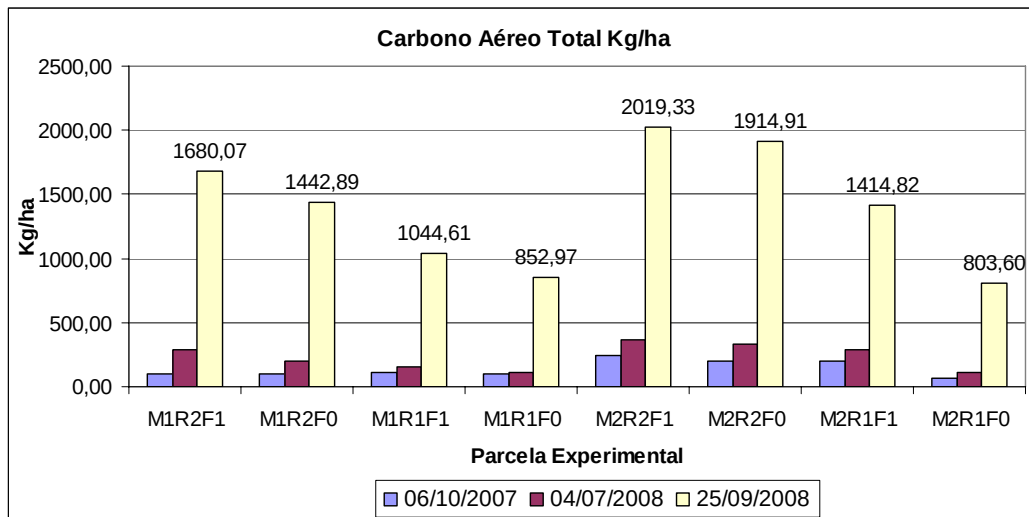


Figura 22. Carbono aéreo total, en Kg./ha.

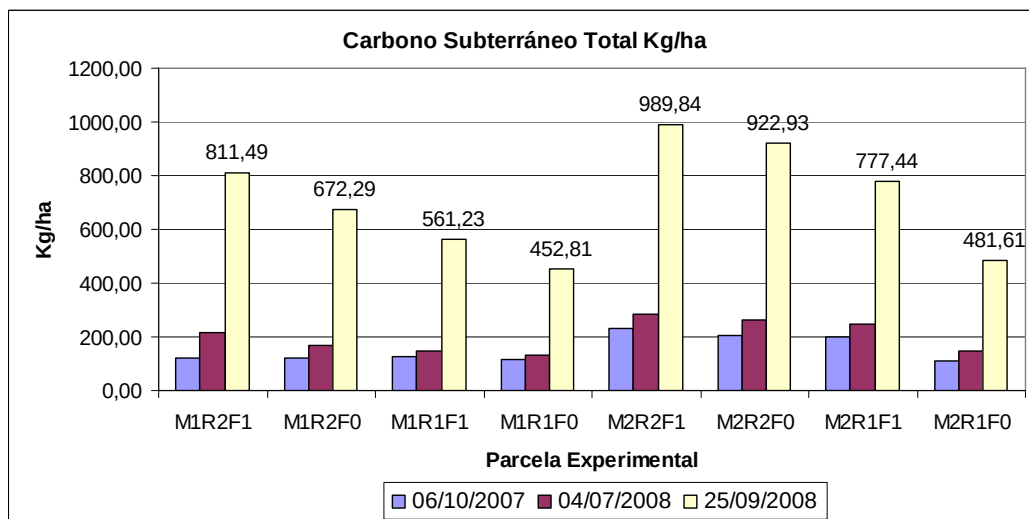


Figura 23. Carbono subterráneo total, en Kg./ha.

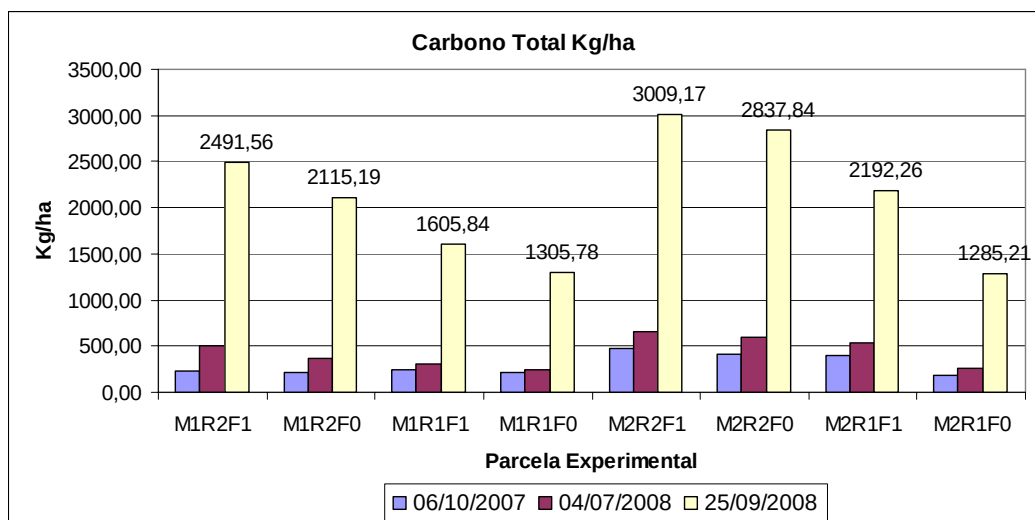


Figura 24. Carbono total, en Kg./ha.

Analizando los valores del carbono total, en Kg./ha, para cada una de las parcelas se obtienen consideraciones idénticas a las obtenidas para la biomasa.

No obstante, los valores alcanzados en la condición más favorable (parcela experimental M2R2F1) de 3.009,17 Kg./ha reflejan la enorme capacidad de producción de biomasa de esta especie.

CONTENIDO DE CO₂ EQUIVALENTE.-

La cantidad de CO₂ que almacenan las plantas está directamente relacionado con su contenido de carbono. Teniendo en cuenta las relaciones de pesos moleculares, la cantidad de CO₂ fijado será:

$$CO_2 (Kg / ha) = \frac{44g - CO_2}{12g - C} \times C (Kg./ha)$$

Por ello, y conociendo el contenido de carbono, se muestran a continuación los resultados obtenidos:

Tabla 25. CO₂ aéreo, subterráneo y total fijado, a nivel hectárea, a fecha 6/10/2007.

Condición experimental	06/10/2007						
	Pies/ha	Carbono Aéreo Total (Kg/ha)	Carbono Subterráneo Total (Kg/ha)	Carbono Total (Kg/ha)	CO ₂ Aéreo Total (Kg/ha)	CO ₂ Subterráneo Total (Kg/ha)	CO ₂ Total (Kg/ha)
M1R2F1	1111	103,65	123,54	227,19	380,41	453,37	833,78
M1R2F0	1111	94,68	120,05	214,74	347,49	440,59	788,08
M1R1F1	1111	113,00	126,10	239,10	414,71	462,77	877,49
M1R1F0	1111	98,03	115,30	213,32	359,75	423,14	782,89
M2R2F1	1666	243,75	233,62	477,37	894,57	857,37	1751,95
M2R2F0	1666	202,79	203,47	406,26	744,24	746,73	1490,97
M2R1F1	1666	201,97	199,30	401,26	741,21	731,42	1472,63
M2R1F0	1666	67,58	109,33	176,91	248,02	401,24	649,27

Tabla 26. CO₂ aéreo, subterráneo y total fijado, a nivel hectárea, a fecha 4/07/2008.

Condición experimental	04/07/2008						
	Pies/ha	Carbono Aéreo Total (Kg/ha)	Carbono Subterráneo Total (Kg/ha)	Carbono Total (Kg/ha)	CO ₂ Aéreo Total (Kg/ha)	CO ₂ Subterráneo Total (Kg/ha)	CO ₂ Total (Kg/ha)
M1R2F1	1111	292,25	214,39	506,64	1072,55	786,81	1859,37
M1R2F0	1111	194,19	170,18	364,38	712,69	624,57	1337,27
M1R1F1	1111	151,89	147,79	299,69	557,45	542,40	1099,85
M1R1F0	1111	109,17	131,27	240,45	400,67	481,78	882,44
M2R2F1	1666	369,63	283,18	652,81	1356,55	1039,27	2395,82
M2R2F0	1666	336,70	265,55	602,26	1235,70	974,59	2210,28
M2R1F1	1666	288,23	245,69	533,93	1057,82	901,68	1959,51
M2R1F0	1666	111,99	145,30	257,29	411,02	533,24	944,25

Tabla 27. CO₂ aéreo, subterráneo y total fijado, a nivel hectárea, a fecha 25/09/2008.

Condición experimental	25/09/2008						
	Pies/ha	Carbono Aéreo Total (Kg/ha)	Carbono Subterráneo Total (Kg/ha)	Carbono Total (Kg/ha)	CO ₂ Aéreo Total (Kg/ha)	CO ₂ Subterráneo Total (Kg/ha)	CO ₂ Total (Kg/ha)
M1R2F1	1111	1680,07	811,49	2491,56	6165,86	2978,16	9144,02
M1R2F0	1111	1442,89	672,29	2115,19	5295,41	2467,32	7762,73
M1R1F1	1111	1044,61	561,23	1605,84	3833,72	2059,73	5893,45
M1R1F0	1111	852,97	452,81	1305,78	3130,41	1661,81	4792,22
M2R2F1	1666	2019,33	989,84	3009,17	7410,93	3632,72	11043,66
M2R2F0	1666	1914,91	922,93	2837,84	7027,71	3387,15	10414,86
M2R1F1	1666	1414,82	777,44	2192,26	5192,39	2853,21	8045,60
M2R1F0	1666	803,60	481,61	1285,21	2949,20	1767,52	4716,72

Analizando los valores de fijación de CO₂, en Kg./ha, para cada una de las parcelas se obtienen consideraciones idénticas a las obtenidas para la biomasa, ya que los datos de fijación de CO₂, han sido estimados partir de ellos.

A los 17 meses de edad, los valores alcanzados en la condición más favorable (parcela experimental M2R2F1) de 11.043,66 17 Kg./ha (11,04 t/ha), reflejan los mayores valores de fijación de CO₂.

4.4. SLA (SPECIFIC LEAF AREA).-

El parámetro “Specific Leaf Area, SLA” seco de cada una de las parcelas experimentales se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$SLA \text{ seco} = \text{área foliar (superficie hoja)} / \text{Peso seco}$$

De este modo, para cada una de las parcelas experimentales, los valores de área foliar (cm²), peso seco (g) y SLA seco (cm²/g), son los siguientes:

1. Parcelas experimentales con marco de plantación 3x3 metros.

Tabla 28. Valores de área foliar (cm²), peso seco (g) y SLA seco (cm²/g) en las parcelas experimentales con marco de plantación 3x3 metros.

Condicion experimental	Nº Hoja	Área Foliar (cm ²)	Peso Seco (g)	Condicion experimental	Nº Hoja	Área Foliar (cm ²)	Peso Seco (g)
M1 R2 F1	1	1091,28	10,42	M1 R1 F1	1	2186,24	19,59
	2	1196,15	9,56		2	1759,7	15,69
	3	1055,04	11,02		3	1567,15	13,52
	4	2371,59	26,68		4	2183,33	21,09
	5	2194,81	25,71		5	2354,58	24,91
	6	2452,91	24,06		6	1381,27	11,65
	7	2336,62	31,31		7	2062,82	19,78
	8	683,48	5,25		8	1841,32	18,73
	9	2140,25	22,91		9	1793,03	16,44
	10	2163,28	25,94		10	580,02	4,38
	11	715,03	6,01		11	1591,81	14,23
	12	2730,95	28,91		12	1447,92	11,58
	13	1536,52	13,84		13	2232,08	23,29
	14	1879,68	14,32		14	2112,88	21,59
	15	406,38	3,06		15	2394,03	24,23
M1 R2 F0	1	1892,23	18,05	M1 R1 F0	1	1665,37	19,53
	2	1690,81	21,09		2	2008,77	21,36
	3	2295,11	17,15		3	1759,43	18,36
	4	1851,02	18,43		4	1902,55	18,65
	5	1525,98	13,09		5	1595,7	15,23
	6	1876,92	21,11		6	1482,49	14,83
	7	1361,22	10,23		7	2020,24	18,17
	8	1654,77	14,12		8	1798,21	15,92
	9	1589,21	12,75		9	1685,34	15,62
	10	2401,02	24,23		10	1672,52	16,84
	11	1373,52	11,22		11	1565,79	14,19
	12	597,74	4,57		12	1220,22	9,65
	13	2008,78	21,56		13	1696,2	12,75
	14	1927,88	20,12		14	2169,13	21,35
	15	2179,06	21,23		15	1397,23	10,85

2. Parcelas experimentales con marco de plantación 3x2 metros.

Tabla 29. Valores de área foliar (cm²), peso seco (g) y SLA seco (cm²/g) en las parcelas experimentales con marco de plantación 3x2 metros.

Condicion experimental	Nº Hoja	Área Foliar (cm ²)	Peso Seco (g)	Condicion experimental	Nº Hoja	Área Foliar (cm ²)	Peso Seco (g)
M2 R2 F1	1	2253,89	17,35	M2 R1 F1	1	1331,62	11,85
	2	2015,67	25,42		2	1345,54	11,53
	3	1883,15	23,75		3	1742,36	20,17
	4	571,07	4,36		4	1768,77	19,26
	5	2156,53	22,15		5	1061,96	10,78
	6	2613	27,53		6	1286,75	12,34
	7	1624,25	14,46		7	427,36	3,36
	8	1235,14	11,48		8	1906,09	17,65
	9	2162,38	19,17		9	1200,83	12,58
	10	1643,83	16,55		10	1906,76	19,23
	11	1966,16	20,44		11	518,14	3,33
	12	469,04	3,63		12	1868,51	20,36
	13	1858,56	17,62		13	445,67	3,67
	14	1894,85	18,04		14	1611,4	15,74
	15	1270,63	11,75		15	2001,71	22,12
M2 R2 F0	1	1912,81	19,56	M2 R1 F0	1	2003,79	21,26
	2	2097,2	24,56		2	1560,97	14,36
	3	2375,11	27,75		3	1640,48	16,23
	4	1020,46	7,43		4	1587,47	15,36
	5	957,35	8,86		5	1417,94	12,93
	6	400,87	3,03		6	1548,68	13,56
	7	1376,66	11,74		7	1213,65	10,74
	8	2192,51	23,15		8	1705,64	15,18
	9	1559,99	14,26		9	1674,38	17,99
	10	1828,38	18,62		10	1326,99	11,85
	11	1536,01	14,43		11	1398,17	12,29
	12	1789,83	20,78		12	885,33	7,29
	13	808,38	6,54		13	1760,83	16,51
	14	1300,36	10,82		14	1104,1	9,11
	15	1364,03	13,54		15	1484,72	16,14

Con los datos obtenidos anteriormente, podemos relacionar el área foliar con el peso seco de la hoja, para posteriormente conocer el SLA seco medio de cada una de las parcelas experimentales. Esto es debido, ya que al obtener relaciones alométricas de tipo lineal ($Y=a+b*X$), la pendiente de dichas relaciones nos indica el valor del citado SLA a nivel parcela.

Así, los resultados obtenidos, para cada una de las parcelas experimentales, son los siguientes:

Tabla 30. Relaciones alométricas para el área foliar, para cada una de las parcelas experimentales.

Parcela	Relación	SLA	R ²	N
M1 R2 F1	$\text{Área_Foliar}(\text{cm}^2) = 361,745 + 75,3969 * \text{Peso_Seco}(g)$	75,39	92,48	15
M1 R2 F0	$\text{Área_Foliar}(\text{cm}^2) = 540,659 + 72,7672 * \text{Peso_Seco}(g)$	72,76	78,75	15
M1 R1 F1	$\text{Área_Foliar}(\text{cm}^2) = 392,119 + 82,8784 * \text{Peso_Seco}(g)$	82,87	96,36	15
M1 R1 F0	$\text{Área_Foliar}(\text{cm}^2) = 701,604 + 62,1255 * \text{Peso_Seco}(g)$	62,12	75,27	15
M2 R2 F1	$\text{Área_Foliar}(\text{cm}^2) = 353,778 + 80,061 * \text{Peso_Seco}(g)$	80,06	86,06	15
M2 R2 F0	$\text{Área_Foliar}(\text{cm}^2) = 377,04 + 74,9294 * \text{Peso_Seco}(g)$	74,92	96,17	15
M2 R1 F1	$\text{Área_Foliar}(\text{cm}^2) = 222,26 + 83,7806 * \text{Peso_Seco}(g)$	83,78	96,24	15
M2 R1 F0	$\text{Área_Foliar}(\text{cm}^2) = 428,034 + 75,392 * \text{Peso_Seco}(g)$	75,39	91,95	15

El resultado, para cada el conjunto de todas las parcelas experimentales, es el siguiente:

Tabla 31. Relación alométricas para el área foliar, para el conjunto de las 8 parcelas experimentales.

Parcela	Relación	SLA	R ²	N
Todas	$\text{Área_Foliar}(\text{cm}^2) = 384,02 + 78,2466 * \text{Peso_Seco}(g)$	78,24	90,00	120

Del estudio estadístico descriptivo, agrupando las hojas por la parcela de la que proceden, se deriva que, no existe ninguna diferencia significativa entre las hojas de las parcelas experimentales, por lo que se ha obviado esta diferenciación en este tipo de estudio. Así, se concluye que el valor del parámetro SLA medio (área foliar específica) para el conjunto de la plantación es 78,24.

4.5. PODER CALORÍFICO.-

El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. En términos generales puede asignarse a la biomasa un poder calorífico de 3.500 Kcal./Kg. Si consideramos que el diesel posee un poder calorífico del orden de las 10.000 Kcal./Kg, se necesitan 3 kilos de madera para reemplazar 1 kilo de diesel.

El poder calorífico superior (PCS) representa la cantidad de calor durante la combustión a presión atmosférica cuando los productos de la misma son enfriados a 25°C. El poder calorífico inferior (PCI) representa la cantidad de calor liberada cuando el agua generada por la oxidación del hidrogeno presente en el combustible se encuentra bajo la forma de vapor al final del proceso.

Por otra parte, el poder calorífico de la madera está relacionado directamente con su contenido de humedad. En la medida que la humedad sea mayor, el poder calorífico será menor; esto se debe a que parte del calor generado en la combustión es utilizado para evaporar el agua.

Finalizados los ensayos para la determinación del poder calorífico inferior (PCI) de la madera de paulownia procedente de la plantación experimental, con un calorímetro IKA C-200, se han obtenido valores próximos a 19.520 KJ/Kg. o 4.669,85 Kcal./Kg. en base seca (humedad = 0,0%). Este valor es muy similar al obtenido por el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), el cual ha obtenido valores próximos a 4.400 Kcal./Kg. en base seca (humedad = 0,0%) o 2.900 Kcal./Kg. en base húmeda (humedad = 29,9%).

No obstante, si comparamos este poder calorífico inferior (PCI) obtenido por la madera de paulownia con otras biomásas de origen agrícola y/o forestal e incluso subproductos de diversas industrias agroalimentarias, se observa que este poder calorífico es superior en la mayoría de los casos.

Así, tenemos:

a.) Cultivos energéticos lignocelulósicos:

- *Cynara cardunculus* L. (Fernández, 2006): PCI = 12.500 KJ/Kg., 15% en base húmeda.
- *Populus* sp., Clon I-214 (De la Cruz, 2005): PCI= 17.473 KJ/Kg., en base seca.
- *Eucalyptus globulus* Labill. (Marcos, 2001): PCI = 14.175 KJ/Kg., 20% en base húmeda.
- *Eucalyptus camaldulensis* Debnh. (Marcos, 2001): PCI = 15.412 KJ/Kg., 20% en base húmeda.

b.) Residuos agrícolas y forestales (Pardo Mateo, I.M. 2007):

- Cebada: PCI =15.540 KJ/Kg., 12% en base húmeda.
- Trigo: PCI =15.490 KJ/Kg., 12% en base húmeda.
- Avena: PCI =15.620 KJ/Kg., 12% en base húmeda.
- Maíz: PCI =15.050 KJ/Kg. 12% en base húmeda.
- Girasol: PCI =14.150 KJ/Kg. 12% en base húmeda.
- Olivar: PCI =13.397 KJ/Kg. 30% en base húmeda.
- Vid: PCI =12.560 KJ/Kg. 30% en base húmeda.
- Almendro: PCI =12.560 KJ/Kg. 30% en base húmeda.

c.) Subproductos de industrias agroalimentarias (Pardo Mateo, I.M. 2007):

- Olivar (orujillo): PCI =15.800 KJ/Kg., en base seca.
- Almendra (cáscara): PCI =16.469 KJ/Kg., en base seca.
- Vid (orujo): PCI =13.543 KJ/Kg., en base seca.

d.) Especies forestales españolas (Marcos, 2001):

Los poderes caloríficos inferiores (PCI), al 20% de humedad en base húmeda, son los siguientes:

- *Pinus radiata* D.Don: PCI =14.729 KJ/Kg.
- *Pinus nigra* Arnold: PCI =15.479 KJ/Kg.
- *Pinus sylvestris* L.: PCI =16.562 KJ/Kg.
- *Pinus pinea* L.: PCI =15.708 KJ/Kg.
- *Pinus halepensis* Mill.: PCI =15.125 KJ/Kg.
- *Pinus pinaster* Ait. var. *atlántica*: PCI =15.721 KJ/Kg.
- *Pinus pinaster* Ait. var. *mesogeensis*: PCI =15.354 KJ/Kg.
- *Quercus ilex* L.: PCI =15.617 KJ/Kg.
- *Quercus pyrenaica* Willd.: PCI =16.062 KJ/Kg.
- *Quercus faginea* Lmk.: PCI =14.458 KJ/Kg.
- *Quercus robur* L.: PCI =14.896 KJ/Kg.

De este modo, se llega a la conclusión de que la biomasa de paulownia puede ser una materia prima interesante para su aprovechamiento energético como combustible en centrales de biomasa y/o pequeñas calderas de biomasa domésticas, ya que es una especie

que proporciona elevadas cantidades de materia seca por superficie, junto a un poder calorífico excepcional, lo que mejora los rendimientos energéticos de otras especies comúnmente utilizadas para estos fines (chopo, sauce, eucalipto, etc).

4.6. MUESTREO DE POSIBLES PLAGAS Y ENFERMEDADES.-

Desde el momento en que se realizó la plantación experimental, se ha procedido a la observación continua de cada uno de los árboles de *Paulownia* spp. presentes en cada una de las parcelas experimentales, con el objetivo de determinar la posible aparición de plagas o enfermedades.

De este modo, se estudiaron los síntomas, daños y métodos de control aplicables a diferentes plagas tales como insectos defoliadores y perforadores de *Paulownia* spp. Además, se estudiaron parámetros similares aplicables a diferentes enfermedades de raíces, hojas y tallos.

Así, los resultados reflejan que la especie estudiada (*Paulownia fortunei* $\times$ *Paulownia elongata* CV) no presenta problemas de plagas y enfermedades. Si bien en algunos árboles aislados, localizados en diferentes parcelas experimentales, se observaron ligeros daños en las hojas emergentes (1-2 hojas por árbol) de la zona apical, provocados por algún tipo de insecto defoliador que no se ha llegado a identificar puesto que en el momento en que se efectuaron, las observaciones no se halló ninguno de ellos en los escasos árboles atacados.

4.7. REPORTAJE FOTOGRÁFICO.-

4.7.1. ESTABLECIMIENTO DE LA PLANTACIÓN EXPERIMENTAL (Mayo 2007).-

Fotografía 1. Planta de Paulownia, establecida en campo, efectuado un riego de apoyo.



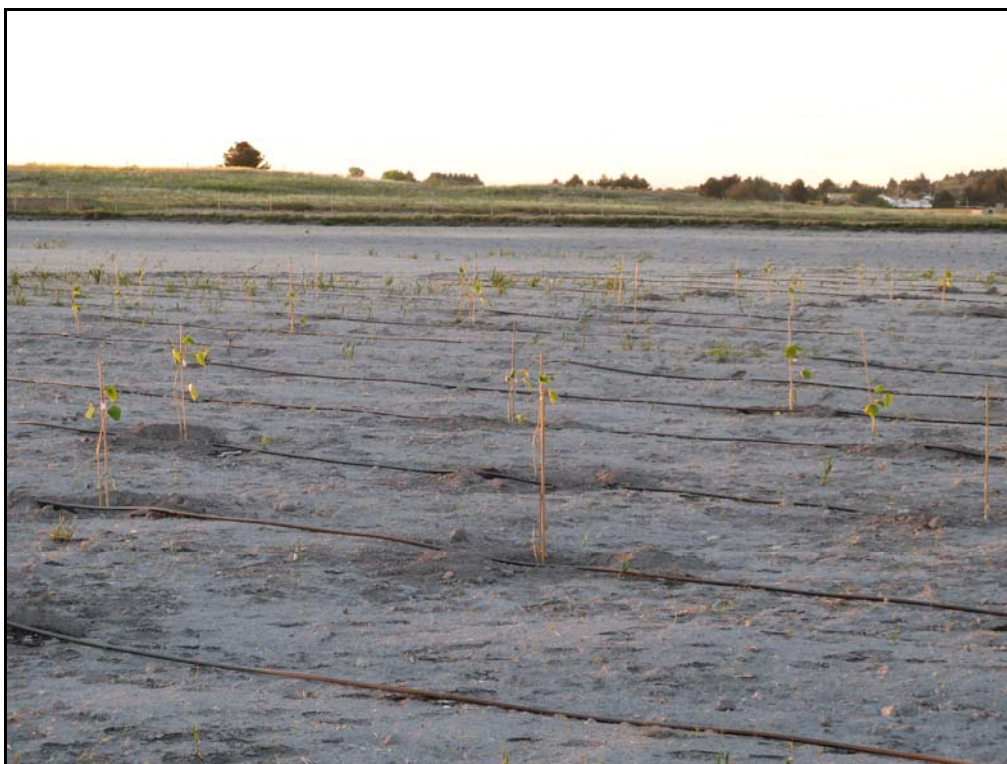
Fotografía 2. Plantas de Paulownia, establecida en campo.



Fotografía 3. Visión general de la plantación experimental.



Fotografía 4. Visión general de la plantación experimental.



4.7.2. DESARROLLO DE LA PLANTACIÓN EXPERIMENTAL (Agosto 2007).-

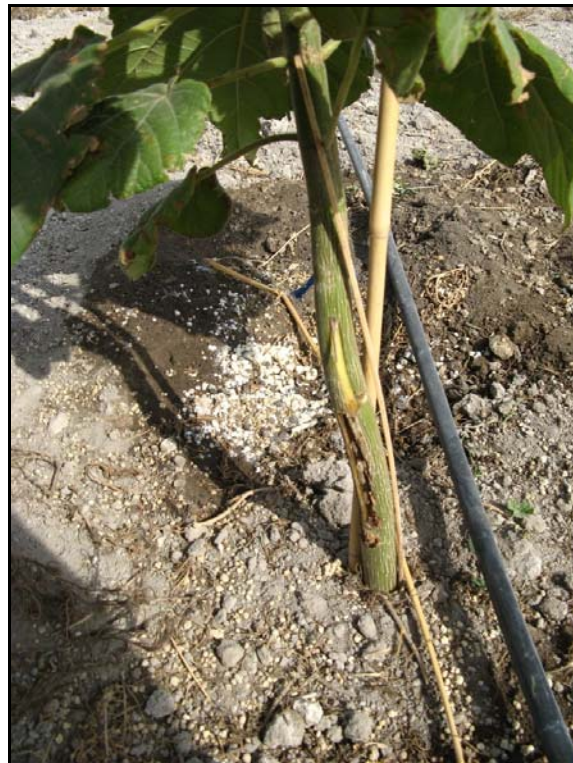
Fotografía 5. Mortandad de plantas en una parcela testigo.



Fotografía 6. Planta de Paulownia.



Fotografía 7. Daños por conejo en la base del tronco en una planta de Paulownia.



Fotografía 8. Visión general de la plantación experimental.



Fotografía 9. Visión general de la plantación experimental.



4.7.3. DESARROLLO DE LA PLANTACIÓN EXPERIMENTAL (Septiembre 2007).-

Fotografía 10. Visión general de la plantación experimental.



Fotografía 11. Diámetro en la base.



Fotografía 12. Altura total de las plantas de Paulownia.



4.7.4. RECEPE (Marzo 2008).-

Fotografía 13. Corta de las plantas a ras de cepa.



Fotografía 14. Aspecto del recepe.



Fotografía 15. Rebrote obtenidos.



4.7.5. DAÑOS POR HELADA EN LA PLANTACIÓN EXPERIMENTAL (Junio 2008).-

Fotografía 16. Secado completo del brote a consecuencia de una helada.



Fotografía 17. Secado completo del brote a consecuencia de una helada.



4.7.6. DESARROLLO DE LA PLANTACIÓN EXPERIMENTAL (Junio 2008).-

Fotografía 18. Visión general de la plantación experimental.



Fotografía 19. Brotes laterales, emitidos en las axilas de las hojas de Paulownia.



4.7.7. REPOSICIÓN DE MARRAS (Julio 2008).-

Fotografía 20. Planta de Paulownia, tutor de bambú y protector contra herbívoros.



Fotografía 21. Visión general de la reposición de marras realizada.



Fotografía 22. Visión general de la plantación experimental.



4.7.8. DESARROLLO DE LA PLANTACIÓN EXPERIMENTAL (Septiembre 2008).-

Fotografía 23. Visión general de la plantación experimental.



Fotografía 24. Altura total de las plantas de Paulownia.



4.7.9. RECOGIDA DE HOJA PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS SOBRE SLA (Specific Leaf Area) (Octubre 2008).-

Fotografía 25. Recogida de hojas de las plantas de Paulownia.



Fotografía 26. Bolsas con hojas de cada parcela experimental.



Fotografía 27. Secado de hojas en estufa.



4.7.10. ENSAYOS DESTRUCTIVOS PARA DETERMINACIÓN DE LA BIOMASA (Octubre 2008).-

Fotografía 28. Apeo de árboles con motosierra.



Fotografía 29. Extracción de raíces con azada.



Fotografía 30. Compartimentos de biomasa diferenciados:

Raíces, tronco, ramas, pecíolos y hojas.



5.- CONCLUSIONES.-

A la vista de los resultados obtenidos, de las observaciones de campo y de la información recogida podemos llegar a las siguientes conclusiones:

1. Es aconsejable emplear clones seleccionados, procedentes de cultivo *in vitro*. Entre los diversos clones existentes en el mercado, la especie utilizada, *Paulownia fortunei* $\times$ *Paulownia elongata* CV a logrado adaptarse convenientemente a las condiciones climáticas y edáficas de la zona de estudio.
2. La época de plantación idónea es la primavera, concretamente los meses de mayo y/o junio, una vez se supere la época de heladas.
3. El marco de plantación es variable en función del objetivo final esperado (producción de madera o biomasa). En este sentido, el marco aconsejable para biomasa es 2 x 3 metros (1.666 árboles/ha), e incluso inferior. Los marcos para la producción de madera es 3 x 3 metros (1.111 árboles/ha), incluso superiores (3 x 4, 4 x 4, etc.).
4. Es necesario emplear un sistema de riego localizado por goteo, siendo este sistema el más eficiente en el consumo de agua, así como por la posibilidad de efectuar fertirrigación.
5. El riego debe efectuarse mínimo una vez a la semana, sobre todo durante el primer y segundo año de crecimiento. Las dosis de riego mínimas deben ser del orden de 1.500 - 2.000 m³/ha, para obtener buenos rendimientos finales por superficie.
6. Puede efectuarse un abonado durante los dos primeros años, con unas dosis aproximadas de 400 g/planta de complejo fertilizante NPK 15-15-15, si bien, es un factor que no produce diferencias significativas en las producciones finales.
7. En los dos primeros años de crecimiento es conveniente eliminar los brotes laterales, cada dos o tres semanas, hasta una distancia de unos 3 metros del suelo.
8. Es muy importante mantener la plantación libre de malas hierbas que compitan con el cultivo.

9. En el caso de que el crecimiento no alcance 3 m de altura durante el primer año, se aconseja cortar la planta a ras de suelo a principios de primavera. Con esto se consigue un crecimiento extraordinario, obteniendo un árbol alto, recto y sin nudos.

10. No se han apreciado enfermedades o plagas importantes que ataquen a la paulownia; si acaso algún insecto defoliador puntual.

11. La especie es capaz de producir, en parcelas con un marco de 3x2 m, riegos aprox. De 2.000 m³/ha y fertilización NPK, 6.000 Kg./ha de biomasa total o lo que es lo mismo, 11 t/ha de CO₂, teniendo en cuenta que el contenido de carbono de la especie es de 49,5%. Estos valores son muy considerables si los comparamos con otras especies de crecimiento rápido que se desarrollen en las mismas condiciones.

12. A los 17 meses de edad, se estima una producción de madera que oscila entre los 9 y 11 m³/ha, en las mejores condiciones experimentales.

13. En el caso de la producción de biomasa, los valores modulares para la clase diamétrica 5 (entre 2,5 cm y 7,5 cm de diámetro normal) alcanzan los valores de 4,70 kg de materia seca por árbol para el pino laricio, 3,80 kg de materia seca por árbol para el pino pinaster, 4,80 kg de materia seca por árbol para el pino silvestre y 3,80 kg de materia seca por árbol para el chopo (Montero, 2005). En el caso de la paulownia, llegaríamos para esa misma clase diamétrica y los árboles tipo A, a la cifra de 10,08 kg de materia seca por árbol en la mejor condición experimental (M1,R2,F1) y 2,89 kg de materia seca por árbol en la peor condición experimental (M2,R1,F0). Por lo tanto, se puede afirmar que en el caso de tener unas buenas condiciones de campo y cultivo, la paulownia puede llegar a generar en la primera clase diamétrica en doble de materia seca que las principales especies forestales apuntadas y tan sólo en el primer año de cultivo después del recepe.

13. Las hojas de la especie poseen un SLA medio (área foliar específica), para el conjunto de la plantación, igual a 78,24.

14. El poder calorífico que proporciona la biomasa se sitúa próximo a 19.500 KJ/Kg., valor muy superior en comparación con diferentes residuos forestales y agrícolas, y similar a otras especies de crecimiento rápido (chopo y eucalipto).

15. La planta utilizada para la realización del presente proyecto de investigación que mejores resultados a aportado es el clon de "*Paulownia elongata* x *Paulownia fortunei*" número 112 de viveros in Vitro s.l. (St Feliu de Llobregat, Barcelona).

6.- REFERENCIAS.-

- De la Cruz, A. C. (2005). Tesis Doctoral. Dinámica de nutrientes en parcelas experimentales de *Populus x euramericana* (Dode) Guinier "I-214".
- Fernández, J. (2006). El cardo, un cultivo de secano para producción de biocombustibles.
- Jiménez, L. & Rodríguez, A (2003). La Paulownia como materia prima para la fabricación de papel. Química Teórica y Aplicada 516: 100-105.
- Marcos Martín F. (2001). Biocombustibles sólidos de origen forestal. AENOR. Madrid.
- Montero G., Ruiz-Peinado, R., Muñoz, M. 2005. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Monografías INIA, Serie Forestal 13.
- Muthuri C. W. & Black C.R. (2005). Tree and crop productivity in Grevillea, Alnus and Paulownia-based agro-forestry systems in semi-arid Kenya. Forest Ecology and Management 212: 23-39.
- Pardo Mateo, I.M. (2007) Estudio de viabilidad de la reutilización de los residuos de la comarca "La Manchuela".
- Wayne K. & Donald G. (2004). Tree Crops for Marginal Farmland. Paulownia. Practical guide from the University of Tennessee. 31 pp.
- Zhu Zhao-Hua, Xiong Yao Guo & Lu Xin-Yu (1986). Paulownia in China: cultivation y utilization. The Chinese Academy of Forestry Beijing, China.

