



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo

Modalidad: Proyecto

**“Adaptación y crecimiento de especies del género *Quercus*
introducidas en la región ecológica de la Sierra de
Comechingones”**

Alumno: DI MENZA, Selene

DNI: 35.473.051

Director: Plevich, José Omar

CoDirector: Fiandino, Santiago Ignacio

Río Cuarto – Córdoba

Agosto 2016

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: “Adaptación y crecimiento de especies del género Quercus introducidas en la región ecológica de la Sierra de Comechingones”

Autor: Di Menza, Selene

DNI: 35.473.051

Director: Plevich, José Omar

CoDirector: Fiandino, Santiago Ignacio

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión Evaluadora:

Ing. Ftal. Marcela Demaestri _____

Ing. Agr. Alfredo Ohanian _____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Secretario Académico

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Jorge y Patricia y a mis hermanos Julio, Emanuel y Vicky, por ser mi pilar en la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo, por su motivación y cariño.

A Esteban mi amigo y compañero inseparable, por su amor incondicional, por siempre creer en mí y por su aliento a culminar mis estudios.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto, ente académico forjador de enseñanzas, por permitirme estudiar aquí y formarme profesionalmente.

Gracias a mis directores, Santiago Fiandino y José Omar Plevich, por su paciencia, dedicación, motivación, criterio y aliento. Ha sido un privilegio contar con sus conocimientos y su dirección y apoyo.

Gracias a mi familia por su sacrificio y apoyo constante para culminar esta etapa de mi vida. Agradezco a mis tíos, primos y mi abuela, por apoyarme siempre, y a mis sobrinos, especialmente a Felipe quien ha sido y es mi inspiración y felicidad.

Gracias a Esteban quien con su amor y sacrificio supo motivarme para culminar mis estudios. Gracias por estar presente en cada etapa de la elaboración de esta tesis, desde la toma de datos a la escritura y el análisis.

Gracias a mis amigos y compañeros de la universidad Orne, Vane, Ingrid, Fran, Mauro, Nico, Fede y Franco, por las incontables horas que pasamos en estos años estudiando y compartiendo buenos momentos, por nutrirme con sus experiencias y conocimientos, gracias por insistir y darnos ánimos en el camino, que eso siempre ayuda a no bajar los brazos.

Gracias a mis amigas de la vida Abi, Ara, Juli, Euge, Sol, Eri, Mica, Ana, Jime, Vane y Meli, por estar siempre a mi lado.

Gracias a todos los que me ayudaron de una u otra manera en la elaboración de esta tesis, gracias Esteban, Papá, Mamá, Vicky, Marco por ayudarme a medir a campo. Gracias Santi, Marco y Esteban por sus correcciones y aportes. Gracias Dani por tu ayuda en la traducción.

Gracias a mi familia política, a mis suegros Graciela y Raul, a Lucre, Martin y Sofi por su apoyo incondicional y desinteresado en la culminación de mi carrera.

Gracias San José de Cupertino y Virgen de la Medalla Milagrosa, mis intercesores, por hacer realidad mi sueño. Solo ustedes conocen realmente mi gratitud por haberme ayudado a llegar hasta acá, gracias por tanta ayuda brindada.

A todos ustedes mi mayor reconocimiento y gratitud, esta tesis es gracias a ustedes.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
Objetivos generales	4
Objetivos específicos	4
ANTECEDENTES	5
MATERIALES Y MÉTODOS	9
Area bajo estudio:	9
Diseño del experimento	10
Determinación de la sobrevivencia de las plantas	12
Determinación el diámetro a la altura del pecho y la altura media de los individuos	12
Determinación del volumen real	12
Caracterización fenotípica de las diferentes especies y procedencias implantadas en el establecimiento	15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
Sobrevivencia	18
Diámetro a la altura del pecho y altura media de los individuos	20
Volumen real	23
Caracterización fenotípica de las diferentes especies y procedencias implantadas en el establecimiento	28
1. Ángulo de inserción de las ramas	28
2. Diámetro y forma de la copa.	29
3. Tortuosidad y malformación.	33
4. Rebrote luego de la poda	36
CONCLUSIONES	39
BIBLIOGRAFIA	40
ANEXO	48

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Distribución de especies y procedencias del género <i>Quercus</i> en las parcelas _____	10
Cuadro 2: Volumen [m ³ /ha] producido por distintas especies de robles de 15 años de edad _____	25
Cuadro 3: Incremento medio anual (IMA) calculado y obtenido por otros autores _____	26
Cuadro 4: Incremento medio anual (IMA) esperable al final de la rotación _____	27
Cuadro 5: Diámetro de copa, y altura al inicio de la misma. _____	29
Cuadro 6: Tortuosidad promedio en las especies estudiadas _____	34
Cuadro 7: Diferentes porcentaje de rebrotes (considerando 100% a <i>Q. robur</i> (SA) que posee el menor % de rebrote), de las especies estudiadas _____	37

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Porcentaje de sobrevivencia según especies, letras asignadas por el Test DGC. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	19
Gráfico 2: Diámetro a la altura del pecho [m] según especie. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	20
Gráfico 3: Alturas medias [m]según especie y marco de plantación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	21
Gráfico 4: Volumen medio individual según las especies y marco de plantación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	23
Gráfico 5: Volumen por hectárea (arriba) y volumen por árbol (abajo) con el aumento del número de árboles por unidad de superficie (Daniel <i>et al.</i> , 1984)	25
Gráfico 6: Forma típica de la curva de crecimiento en árboles (Imaña <i>et al.</i> , 2005)	27
Gráfico 7: Ángulo de inserción de las ramas según las especie. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	28
Gráfico 8: Variación de la relación alométrica entre el diámetro de la copa y el DAP, según las diferentes especies. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	30
Gráfico 9: Variación de la relación alométrica entre el diámetro de la copa y la altura, según las clases diamétricas. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	31
Gráfico 10: Variación de la relación alométrica entre el diámetro de la copa y la altura, según las diferentes especies. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)	32
Gráfico 11: Variación de la tortuosidad con las especies	34
Gráfico 12: Variación de la tortuosidad con el marco de plantación	36
Gráfico 13: Variación del número de rebrotes en relación con las especies. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).	36
Gráfico 14: Variación del número de rebrotes en relación al marco de plantación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).	38

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Vista aérea plantación de robles en el campo Las Guindas (Google Earth, 2015)	2
Figura 2: Plantación de roble en campo Las Guindas	9
Figura 3: Distribución de bloques y números de parcelas	10
Figura 4: Distribución de los individuos en cada parcela	11
Figura 5: Determinación del volumen de los rollizos utilizando la ecuación de Smalian	14
Figura 6: Esquema del árbol donde se encuentran identificados los parámetros a medir. Dónde: HT (altura total), DRBC (diámetro de las ramas), ARBC (ángulo de inserción de las ramas), DAP (diámetro a la altura del pecho) y DMSM (diámetro basal)	16
Figura 7: Categorías de rectitud del fuste	17
Figura 8: Parcela de <i>Q. robur</i> (SA), donde se aprecia la escasa vegetación herbácea y el alto grado de sombreado (A). Parcela de <i>Q. cerris</i> , donde se aprecia la abundante vegetación herbácea y el bajo sombreado (B)	22
Figura 9: Representación gráfica de la relación entre el Diámetro de copa y el DAP. El grupo A, se encuentra representado por <i>Q. pyrenaica</i> , mientras que el grupo B, por <i>Q. robur</i> (Yacanto y San Ambrosio), <i>Q. petraea</i> y <i>Q. cerris</i>	31
Figura 10: Representación gráfica de la relación entre el Diámetro de copa y altura. El grupo A, se encuentra representado por <i>Q. pyrenaica</i> , mientras que el grupo B por <i>Q. robur</i> (Yacanto y San Ambrosio), <i>Q. petraea</i> y <i>Q. cerris</i>	33
Figura 11: Plantación de robles en el campo “Las Guindas”, se observan los fustes de <i>Q. robur</i> (A), <i>Q. pyrenaica</i> (B), <i>Q. petraea</i> (C) y <i>Q. cerris</i> (D).	35

INDICE DE ANEXO

Anexo 1: Estado sanitario de las especies y porcentaje de sobrevivencia	48
Anexo 2: Resultados del cálculo de coeficiente mórfico (Cf)	50
Anexo 3: Diámetros del fuste [cm] medidos a diferentes alturas, a todos los árboles representativos de cada clase diamétrica	53
Anexo 4: Volumen real y volumen aparente de los árboles representativos de cada clase diamétrica	57
Anexo 5: Radio de la copa [m] de las especies estudiadas del género <i>Quercus</i> , medido hacia los distintos puntos cardinales	62
Anexo 6: Comparación de las características estudiadas entre las diferentes especies	65
Anexo 6: Bibliografía del anexo	67

RESUMEN

Como parte de un programa de introducción de especies en la Sierra de Comechingones (PIA 32/98), en el año 2001 los Ingenieros Agrónomos Plevich y Barotto, introdujeron seis especies exóticas del género *Quercus*: *Q. robur* (Yacanto, Cba.), *Q. robur* (San Ambrosio, Cba.), *Q. petraea*, *Q. pyrenaica*, *Q. cerris*, y *Q. palustris* en el establecimiento “Las Guindas” (UNRC). Al año de la implantación, se evaluó la supervivencia de las especies introducidas (primera fase del programa de introducción), y se encontró que, en promedio, el 95% de las plantas estaban vivas. Este trabajo final de grado tuvo como objetivo llevar a cabo la segunda fase del programa de introducción de especies (a 15 años de la implantación) y consistió en evaluar el crecimiento y la adaptación de las especies introducidas, identificando características fenotípicas de interés para la producción de madera de calidad. El ensayo fue diseñado como un sistema de parcelas divididas, donde la parcela principal se corresponde con la especie y se divide en dos subparcelas, con diferente arreglo de densidad (4x4m y 3x3 m). Se midió la tortuosidad y el diámetro a la altura del pecho (DAP) a todos los árboles contenidos en las parcelas, y se los clasificó en cuatro clases diamétricas. A los árboles representativos de cada clase se les midió la altura, el diámetro de copa, el ángulo de inserción de las ramas y se les contabilizaron los rebrotes que aparecieran posteriores a la poda. Se encontró que, el promedio de supervivencia de las especies que mejor se adaptaron (*Q. pyrenaica*, *Q. robur* y *Q. petraea*) fue de 72%, el de *Q. cerris* 66% y el de *Q. palustris* 0%, (no se encontraron árboles vivos). La especie que presentó un mayor volumen por individuo fue *Q. robur* (SA) con arreglo 3x3 (0,09 m³), mientras que *Q. pyrenaica* y *Q. cerris* con arreglo 4x4 presentaron el menor volumen por individuo (0,03 m³). En relación a las características fenotípicas de interés, *Q. robur* (Yac), se destacó al exhibir los árboles más esbeltos, con ángulos de inserción de las ramas cercanos al recto y menor número de rebrotes luego de la poda. En contraposición, las especies *Q. cerris* y *Q. pyrenaica*, presentaron gran número de rebrotes luego de la poda e individuos con fustes de menor rectitud.

Palabras claves: *Quercus*, volumen, rebrote, ángulo de inserción y tortuosidad.

SUMMARY

As part of a program related to the introduction of species in Sierra de Comechingones (PIA 32/98), in 2001, Plevich and Barotto introduced six exotic species of the genre *Quercus*: *Q. robur* (Yacanto, Córdoba), *Q. robur* (San Ambrosio, Cba.), *Q. petraea*, *Q. pyrenaica*, *Q. cerris*, and *Q. palustris* in the establishment "Las Guindas " (UNRC). One year after the implantation, the survival of introduced species (first phase of the introduction) was evaluated, and it was found that, on average, 95 % of the plants were alive. This final work aimed at carrying out the second phase of the introduction of species (after 15 years of implantation) and it consisted of evaluating the growth and adaptation of the introduced species identifying phenotypic characteristics for the final production of quality wood. The trial was designed as a system of split plots where the main plot corresponds to the target species and is divided into two subplots with different arrangements as regards density (4x4 m and 3x3 m). Tortuosity and DAP was measured in the different plots containing trees, and also, they were classified into four diametric classes. The height, the volume of the trees, the angle of insertion of the branches and the number of branch outbreaks after the trimming were measured in the representative individuals of each diametric class. It was found that the average of the best adapted tree species (*Q. pyrenaica*, *Q. robur* and *Q. petraea*) was 72 %, *Q. cerris* 66 % and 0 % *Q. palustris* (no living trees were found). The species that presented a greater volume per individual was *Q. robur* (SA) frame 3x3 (0,09 m³) while *Q. pyrenaica* and *Q. cerris* 4x4 presented the lowest volume per individual (0,03 m³). In relation to the phenotypic characteristics of interest, *Q. robur* (Yac), was highlighted by displaying the most slender trees, with insertion angles near the rectum and fewer branch outbreaks after the pruning. In contrast, the species *Q. cerris* and *Q. pyrenaica* presented a great number of branch outbreaks after the trimming and shafts with lower rectitud.

Keywords: *Quercus*, volume, regrowth/tree outbreaks, insertion angle and tortuosity.

INTRODUCCIÓN

En la región centro-sur de Córdoba, el sector de sierra y pedemonte ocupa una franja con una superficie de 500.000 hectáreas y un rango altitudinal entre los 750 y 1.800 msnm. Presenta un relieve abrupto y complejo con pendientes de longitud variable y gradientes de hasta el 45%, suelos con poco desarrollo y afloramientos rocosos, y alta susceptibilidad de erosión hídrica. La zona pedemontana se caracteriza por un relieve ondulado con pendientes del orden del 12% (Oggero *et al.*, 2014).

Dentro de la región, el cordón de la sierra de Comechingones se caracteriza por ser un ambiente heterogéneo, propicio a sufrir procesos intensos de degradación ambiental. Muchos de estos procesos son provocados a partir de la actividad humana, principalmente, aquellas actividades desarrolladas por los pobladores de la región para generar ingresos económicos que les permitan tener una vida digna (Oggero *et al.*, 2014).

Es por ello, que se han identificado como las principales causas de degradación ambiental: la extracción de hierbas medicinales y aromáticas, el sobrepastoreo, los incendios en áreas de pastizales y arbustales, y la tala y la deforestación en los bosques serranos. Estos factores han producido un marcado deterioro de la vegetación original, contribuyendo a modelar el paisaje actual (Cabido y Zak 1999; Cantero y Leon 1999; Cantero *et al.*, 1999; Vischi *et al.*, 1999; Verzino *et al.*, 2005).

Esta situación deja al descubierto la necesidad de ofrecer, a los habitantes de la región, alternativas de producción sostenibles en el tiempo, que generen retornos económicos a los productores agropecuarios sin contribuir a los procesos de degradación ambiental mencionados.

Dentro de las actividades económicas plausibles de realizar en la región, la plantación de árboles es un modo rápido y eficaz para producir nueva biomasa, con lo cual se contrarresta la pérdida de carbono resultante de la deforestación en otros sitios. Por otro lado, si se combina con pasturas (silvopastura) se aporta forraje para el ganado, se incrementa la fertilidad del suelo, y se generan beneficios ambientales tales como: agua salubre, calidad del suelo, retención del carbono y biodiversidad, además de ser un componente para mejorar los medios de vida rural y mitigar el cambio climático, a través de la captación de carbono (FAO, 2012).

Con el propósito de incrementar la diversidad de actividades económicas en la zona serrana de la provincia de Córdoba, en los años 1999/2000 Plevich y Barotto (2001) realizaron una introducción de especies exóticas del género *Quercus* en el establecimiento “Las Guindas”, que depende de la Universidad Nacional de Río Cuarto (Figura 1), y se encuentra en la zona

ecológica de sierras del S-O de la provincia de Córdoba. Este estudio tuvo como objetivo analizar la factibilidad de producir madera a partir de la introducción de estas especies exóticas.



Figura 1: Vista aérea plantación de robles en el campo Las Guindas (Google Earth, 2015).

Las especies introducidas fueron cinco, una de ellas (*Quercus robur*) con dos procedencias diferentes: 1- *Quercus robur* (Yacanto, Cba.), 2- *Quercus robur* (San Ambrosio, Cba.), 3- *Quercus petraea* (Kew Garden, UK), 4- *Quercus pyrenaica* (Kew Garden, UK), 5- *Quercus cerris* (Kew Garden, UK), 6- *Quercus palustris*.

Si bien, existe información sobre la aptitud y el crecimiento de las especies del género *Quercus* en otras regiones ecológicas, estas características no han sido evaluadas aún en el marco de la introducción llevada adelante por Plevich y Barotto (2001).

Muchos son los autores que plantean que un programa de introducción de especies exóticas debe constar de tres fases: 1- fase eliminatória, 2- fase de adaptación y crecimiento y 3- fase de comprobación de las especies (Metro, 1967; Laurie, 1975; Burley y Wood, 1979).

La primera fase consiste en la evaluación de la sobrevivencia de las especies y procedencias. Esta fase fue desarrollada por Plevich y Barotto (2001), quienes reportaron una

sobrevivencia al primer año de implantación cercana al 95 % para todas las especies y procedencias ensayadas.

Para la fase de adaptación y crecimiento, es importante evaluar tanto el crecimiento de los árboles como las características fenotípicas que definirán la calidad de la madera a cosecha. En cuanto al crecimiento, es evidente que cualquier planificación de la producción forestal debe involucrar la predicción del rendimiento futuro (Meyer *et al.*, 1961). Es por ello que resulta indispensable cuantificar cuál es la producción de madera del sitio y cuál es el momento óptimo para su aprovechamiento, de manera de establecer un plan de manejo que permita obtener un rendimiento sostenido de productos de bienes y servicios. Esto implica que el crecimiento del bosque o plantación debe ser estimado y balanceado con la cosecha (Ramírez y Zepeda, 1994).

Por ello el propósito de este trabajo final de grado es el de llevar adelante la segunda fase de evaluación del programa de introducción de especies del género *Quercus* en la ecoregión de la Sierra de Comechingones. Para ello, se plantea evaluar el crecimiento de las especies y procedencias introducidas a 15 años desde su implantación, identificando también, características fenotípicas que resulten de interés para la producción de madera de calidad.

OBJETIVOS

Objetivos generales

- Evaluar el crecimiento y la adaptación de diferentes especies del género *Quercus* introducidas en la ecoregión de las Sierras de Comechingones.
- Caracterizar fenotípicamente las especies y procedencias introducidas de acuerdo a una serie de características que resulten de interés para la producción de madera de calidad.

Objetivos específicos

1. Determinar el diámetro medio normal y la altura media de los individuos bajo estudio.
2. Calcular el volumen (real) de los individuos bajo estudio y comparar su producción, de acuerdo a la especie y procedencia.
3. Determinar el ángulo de inserción de las ramas, el diámetro de la copa, la tortuosidad y el rebrote luego de la poda de las diferentes especies y procedencias implantadas en el establecimiento.

ANTECEDENTES

El roble, agrupa árboles originarios de América del Norte, Europa, África del norte y Asia occidental. Son árboles muy longevos que llegan a vivir 500 años, tal es así, que en Europa hay ejemplares de 1000 años (UNNE, 2010). El término roble se utiliza para referirse a muchas especies de árboles del género *Quercus*, como así también a especies de otros géneros de la familia Fabaceae. El género *Quercus* cuenta con más de 600 especies, entre las que se distinguen *Quercus robur*, *Quercus petraea*, *Quercus suber*, *Quercus borealis*, *Quercus palustris* y *Quercus ilex* (Bianco *et al.*, 2006).

Las especies del género *Quercus*, que agrupa árboles caducifolios y perennifolios anemófilos, varían en su forma y tamaño ya que se pueden encontrar desde arbustos con un poco más de un metro de altura, hasta árboles que alcanzan los 40 metros (Arizaga *et al.*, 2009). Sus hojas pueden ser perennes o caducas, y generalmente son lobuladas y de consistencia coriácea. Muchas especies tienen importancia económica por la excelente calidad de su madera, su corteza y sus frutos (Acedo, 2004).

Quercus robur, (roble común, inglés, europeo o pedunculado) es una de las especies más difundidas del género (Luque, 2008). Esta especie posee un gran polimorfismo, dividiéndose en numerosas subespecies (Díaz- Fernández *et al.*, 1995). Es un importante árbol forestal, de madera pesada y muy fina, característica que le confiere una gran aptitud para la fabricación de muebles de muy buena calidad y para la construcción (Luque, 2008; UNNE, 2010). Su madera es también utilizada en la fabricación de toneles para la maduración del vino, dado que la misma le confiere sutiles sabores y aromas a la bebida (Bianco *et al.*, 2006; Catania y Avagnina, 2007).

Quercus robur es exigente en cuanto a humedad se refiere, especialmente durante el período estival. Requiere al menos 600 mm anuales de precipitación y necesitan suelos húmedos, creciendo bien en suelos compactados e incluso temporalmente anegados (Díaz- Fernández *et al.*, 1995; Bravo Oviedo y Montero Gonzales, 2008). Prefiere suelos profundos, frescos y ricos en nutrientes, aunque se adapta y prospera en distintos tipos de suelos (Díaz- Fernández *et al.*, 1995).

Quercus petraea es un árbol de hasta 35-40 m de altura. Menos robusto que *Q. robur*, de copa amplia y regular, y con tronco de forma cilíndrica, sin aspecto tortuoso (esbelto) (Díaz- Fernández *et al.*, 1995; Bravo Oviedo y Montero Gonzales, 2008). *Quercus pyrenaica* es un árbol de hasta 20 m de altura, de copa ancha e irregular (Bravo Oviedo y Montero Gonzales, 2008). Posee un denso tomento en el haz y en el envés de las hojas, diferenciándola de las demás

especies. Es capaz de soportar encharcamientos no muy extensos así como suelos pobres de nutrientes (Jiménez Sancho *et al.*, 1998).

Quercus cerris, conocido como roble de Turquía, puede alcanzar los 40 m de altura, aunque lo normal es de 10 a 16 m de altura (Gilman y Watson, 1994). Este es un árbol caducifolio, con hojas pinnatífidas tardíamente caducas en otoño (Acedo, 2004). *Quercus palustris*, es un árbol originario de América, y es utilizado como árbol ornamental (Díaz-Maroto y Silva-Pando, 1995). Es conocido como roble palustre americano o roble de los pantanos, es un árbol de crecimiento rápido, moderadamente grande. Se presenta en tierras bajas o tierras altas y húmedas y suelos arcillosos a menudo mal drenados, es común encontrarlo en sitios que se inundan de forma intermitente, aunque normalmente no soporta anegamientos en la temporada de crecimiento (Burns y Honkala, 1990).

En su lugar de origen, las especies del género *Quercus* presentan incrementos medios anuales que rondan los $7-16 \text{ m}^3 \times \text{ha}^{-1} \times \text{año}^{-1}$, dependiendo de la calidad de los sitios donde se encuentran implantadas (Klepac, 1983). Otros autores, han encontrado valores medios de crecimiento para *Q. robur* de $3-9 \text{ m}^3 \times \text{ha}^{-1} \times \text{año}^{-1}$ en Holanda y de $4-9 \text{ m}^3 \times \text{ha}^{-1} \times \text{año}^{-1}$ en Gran Bretaña, mientras que para *Q. petraea* se han reportado crecimientos de alrededor de $3 \text{ m}^3 \times \text{ha}^{-1} \times \text{año}^{-1}$ en España (Bravo Oviedo y Montero Gonzales, 2008).

En el Valle de Calamuchita, se han encontrado incrementos medios del diámetro a la altura del pecho para *Q. robur* de $0,92 \text{ cm/año}$, medidos en árboles de 54 años de edad. En parcelas donde los árboles se disponían sin ningún agrupamiento (bajas densidades), el crecimiento en área basal fue de $36,2 \text{ cm}^2$. No obstante, a igual edad, con poco manejo silvicultural, pero diferente calidad del sitio, el crecimiento fue de $40,1 \text{ cm}^2$, por lo que la calidad del sitio y el agrupamiento tienen alta importancia sobre el crecimiento en esta especie. En cuanto a la altura, el crecimiento fue de $0,43 \text{ m}$ por año en promedio, con una altura de $23,02 \text{ m}$ a los 54 años de edad. La longitud de la rotación forestal para la región del Valle de Calamuchita varía entre 41 y 58 años según la calidad del sitio (Luque, 2008).

En cuanto a las características fenotípicas que pueden afectar la calidad de los árboles, resulta de gran interés evaluar el ángulo de inserción de las ramas (ángulo formado entre la rama y el fuste), ya que hay una relación directa entre este factor y el tamaño de los nudos. Las ramas que se insertan con ángulos lejanos a 90° , conciben nudos de mayor área, aun cuando el diámetro de la rama sea el mismo, por lo que la operación de poda producirá una herida de mayor tamaño (Vignote Peña *et al.*, 2013). Por otro lado, los nudos dificultan la trabajabilidad de la madera, causando inconvenientes como por ejemplo la disminución de la resistencia, la desuniformidad de los dibujos y del color de la madera. Es por ello que, cuanto mayor tamaño

tenga el nudo y cuanto mayor sea su coloración (nudos negros, ramas muertas), más depreciación sufre la pieza de madera (Vignote Peña *et al.*, 2013; Armando Vásquez, 2001). Los nudos afectan la calidad de la madera, hasta tal punto, que en la mayoría de especies es el parámetro que más influye en el valor de la misma (Vignote Peña *et al.*, 2013).

La poda es una operación que tiene como objetivo minimizar los defectos que producen los nudos en la madera. Sin embargo, es también una práctica de manejo que produce una herida al árbol y, en consecuencia, puede debilitar el crecimiento del mismo y ser una vía de penetración de diferentes tipos de patógenos. Ramas de gran diámetro y ángulos de inserción pequeños generan heridas de mayor superficie luego de la operación de poda, que serán, por tanto, más difíciles de cicatrizar para el árbol (Vignote Peña *et al.*, 2013).

En relación a la operación de poda, la aparición de rebrotes o brotes epicórmicos a lo largo del fuste está regulada por varios factores, como las características morfológicas y genéticas propias de la especie y las condiciones ecológicas y climáticas del medio en el que se desarrollan, tales como: la exposición a la luz (relacionado con la densidad de la plantación), la severidad de la poda, la localización de los árboles en el rodal (cercanía a los bordes) y la edad del árbol, actuando muchos de estos factores en forma sinérgica (Espinosa Bancalari y Muñoz Saez, 2000; Armando Vásquez, 2001; Loewe, 2003; Vignote Peña *et al.*, 2013; Hevia Cabal, 2008). El rebrote luego de la poda es una característica no deseable que se presenta en varias especies del género *Quercus*. Por ejemplo, se ha reportado que *Q. pyrenaica* tiene una gran capacidad de rebrote luego de la poda, y desarrolla además, una gran multitud de raíces superficiales capaces de emitir tallos aéreos que crecen, incluso, en ausencia de tala (García y Jiménez Mejías, 2009). Si bien se trata de una característica no deseable, los pequeños nudos procedentes de brotes epicórmicos no devalúan el producto (Crespo y García Quintana, 2013) aunque su persistencia influye en los costos de las tareas de poda, al tener que repasar para eliminar los mismos (Espinosa Bancalari y Muñoz Saez, 2000; Hevia Cabal, 2008).

Otra característica de interés a la hora de evaluar la calidad de un árbol es la tortuosidad o falta de rectitud del fuste. Los mismos manifiestan geotropismo negativo, lo que motiva su rectitud, aunque en ocasiones, esta rectitud no es absoluta, apareciendo una o varias curvaturas, de mayor o menor medida. La importancia de este factor radica en que, cuando es procesado el fuste (aserrado, desbobinado o corte a la plana), la falta de rectitud origina una pérdida de rendimiento y causa defectos en el producto elaborado (inclinación de las fibras) por lo que la curvatura del fuste se convierte en un parámetro que define la aceptación o no del producto (Vignote Peña *et al.*, 2013). Los árboles tortuosos poseen una fibra muy irregular que genera abundante desperdicio cuando la madera es trabajada, lo que debe luego ser solucionado

mediante un lijado cuidadoso (Vignote Peña, 2014). La curvatura del fuste resta resistencia al producto final, siendo este uno de los parámetros que define la aceptación o no del mismo (Vignote Peña *et al.*, 2013). Por otra parte, efectuar las tareas de poda permiten crear un fuste sin ramas, defectos o deformaciones, estableciendo las bases para la calidad de producto final a obtener (Loewe, 2003).

Por último, el tamaño y forma de la copa es otro de los parámetros importantes para caracterizar el fenotipo de un árbol. Las dimensiones de la copa están relacionadas con el crecimiento de los árboles, dado que este es controlado por los productos de la fotosíntesis y por las hormonas generadas en la copa, por lo que ésta también refleja el potencial de crecimiento de un árbol (Oviedo *et al.*, 2006). Tal es así, que el desarrollo de la copa está estrechamente relacionado al crecimiento en diámetro del tronco (Naranjo *et al.*, 2003). Es por ello que se considera de importancia establecer algunas relaciones alométricas que permitan evaluar la razón existente entre el diámetro de copa y el diámetro normal; y entre el diámetro de copa y la altura total del árbol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Area bajo estudio:

El trabajo se desarrolló en el campo de docencia y experimentación Las Guindas, perteneciente a la Universidad Nacional de Río Cuarto, ubicado a los 32° 35' 16.8" LS y 64° 43'45.42" LO, a 1000 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar) y a 14 Km al N de la localidad de Alpa Corral, Dpto. Calamuchita, Córdoba, Argentina. Este ambiente se ubica en la provincia geomorfológica de Sierras, con inviernos secos.

La temperatura media anual es de 14,7 °C, siendo julio el mes de menor temperatura media (7,7 °C) y enero el mes de mayor temperatura media (21,1 °C). La temperatura máxima media anual registrada es de 22,3 °C, mientras que la mínima media anual es de 8,4 °C; lo que da como resultado una amplitud térmica media anual de 13,9 °C. La temperatura extrema más baja registrada corresponde al mes de julio (-13,7 °C), mientras que la más alta al mes de enero (42,3 °C) (Rivarola *et al.*, 2015).

El régimen de precipitaciones es de tipo monzónico, un 82% de las mismas concentradas en el período octubre-marzo. La precipitación media anual de los últimos 15 años es de 1007 mm, siendo 2012 el año con el mayor registro pluviométrico (1376 mm) y 2003 el de menor registro (708 mm). El mes más lluvioso es febrero con 179 mm, mientras que junio es el mes más seco con 7 mm medios de precipitación mensual (Rivarola *et al.*, 2015).

La topografía de la región corresponde a la de un ambiente de sierra, donde se diferencian zonas de lomas y laderas (50%), zonas de valles y concavidades (30%) y afloramientos rocosos (20%) (Bahill *et al.*, 2006).

La plantación se encuentra en un sitio de valle, representativo de las condiciones ambientales que ocurren entre los 900 y 1000 m.s.n.m (Figura 2).



Figura 2: Plantación de roble en campo Las Guindas.

Diseño del experimento

Los tratamientos correspondieron a las diferentes especies y procedencias, implantadas en dos marcos de plantación diferentes: 1) 3 m x 3 m (equivale a una densidad 1111 plantas por hectárea) y 2) 4 m x 4 m (equivale a una densidad de 625 plantas por hectárea).

Corresponde al diseño de parcelas divididas (Split-plot). Se establecieron tres bloques (Figura 3), y en cada uno de ellos hay una parcela para cada especie y procedencia (Cuadro 1). Estas parcelas son las denominadas parcelas principales, y están a su vez divididas en dos subparcelas, dado que en cada subparcela las plantas han sido ubicadas en un marco de plantación diferente.

Bloque 1	17	14	11	9	6	3
Bloque 2	16	13	10	8	5	2
Bloque 3	15	12	18	7	4	1

Figura 3: Distribución de bloques y números de parcelas.

*Cuadro 1: Distribución de especies y procedencias del género *Quercus* en las parcelas.*

Parcela	Especie
1	<i>Quercus petraea</i> (Kew Garden)
2	<i>Quercus pyrenaica</i> (Kew Garden)
3	<i>Quercus palustris</i>
4	<i>Quercus robur</i> (San Ambrosio)
5	<i>Quercus cerris</i> (Kew Garden)
6	<i>Quercus robur</i> (Yacanto)
7	<i>Quercus pyrenaica</i> (Kew Garden)
8	<i>Quercus pyrenaica</i> (Kew Garden)
9	<i>Quercus cerris</i> (Kew Garden)
10	<i>Quercus robur</i> (San Ambrosio)
11	<i>Quercus petraea</i> (Kew Garden)
12	<i>Quercus cerris</i> (Kew Garden)
13	<i>Quercus robur</i> (Yacanto)
14	<i>Quercus robur</i> (San Ambrosio)
15	<i>Quercus robur</i> (Yacanto)
16	<i>Quercus petraea</i> (Kew Garden)
17	<i>Quercus palustris</i>
18	<i>Quercus palustris</i>

En los tratamientos donde el marco de plantación es de 3 m x 3 m, hay en total 36 árboles por subparcela; mientras que en las subparcelas con un arreglo de 4 m x 4 m, hay en total 28 plantas. La superficie de cada subparcela es de 448 m² en el tratamiento de menor densidad de plantación, y de 324 m² en el tratamiento con mayor densidad de plantación (Figura 4).

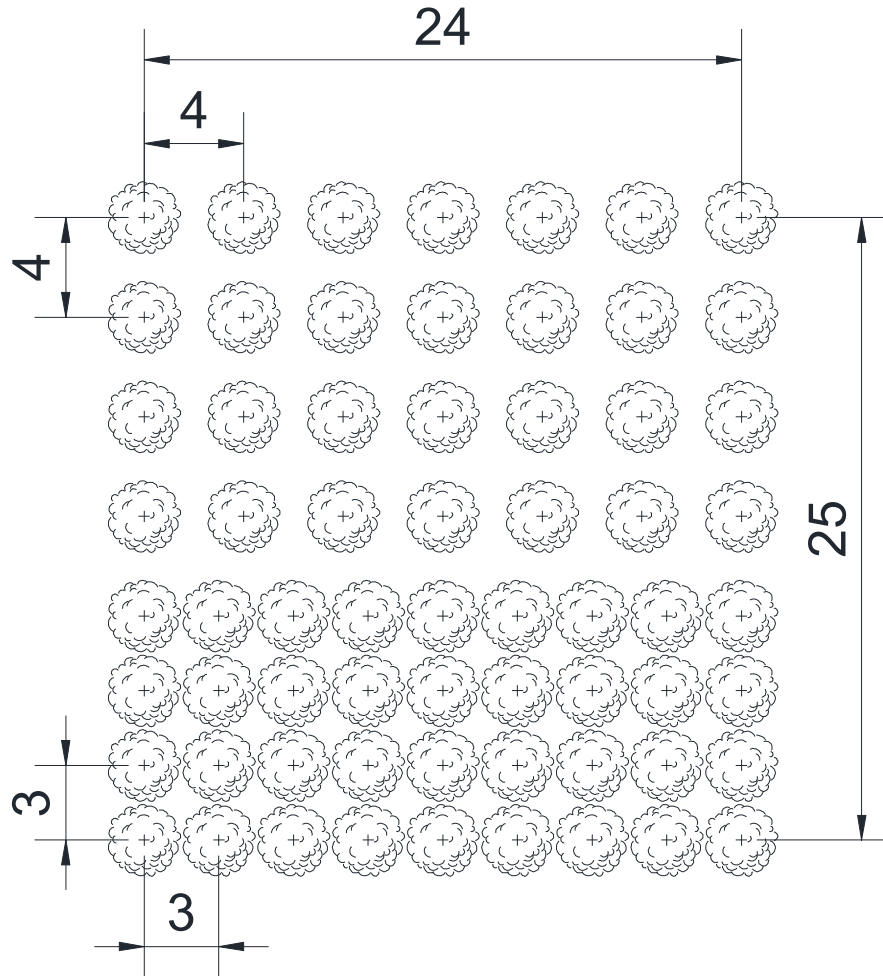


Figura 4: Distribución de los individuos en cada parcela.

Se utilizó para el análisis estadístico el módulo de modelos lineales y mixtos del software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2011). Al momento de realizar los ANAVA, se verificó que se cumplieran los supuestos de normalidad y homocedasticidad, y en el caso donde este último supuesto no se cumplió, se modelaron diferencialmente las varianzas a partir del modelo VarIdent.

Determinación de la sobrevivencia de las plantas

Se determinó el número de árboles vivos que se encontraban en pie, de la especie correspondiente a cada subparcela. Dicho número se relacionó con el total de individuos que se implantaron en cada subparcela, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Sobrevivencia (\%)}: \frac{\text{número de árboles vivos}}{\text{número de árboles implantados}} * 100$$

El número de árboles implantados fue 28 individuos en el caso del arreglo 4x4 m y 36 en el caso del arreglo 3x3 m.

Las comparaciones de sobrevivencia entre las distintas especies y procedencias se realizaron con un ANAVA, mediante el Test DGC (Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para comparación de medias, a través del programa INFOSTAT (Di Rienzo *et.al.*, 2011).

Determinación el diámetro a la altura del pecho y la altura media de los individuos

Se les midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) y el diámetro a la altura del tocón a todos los árboles del ensayo con cinta dendrométrica.

En cada subparcela se categorizaron los árboles en cuatro clases de acuerdo a su DAP (suprimido, intermedio, codominante y dominante). Se seleccionó un árbol representativo de cada clase y se le midió la altura total y la altura al inicio de la copa. Se utilizó el hipsómetro de Suunto para realizar las mediciones de altura total, mientras que la altura al inicio de la copa (altura de fuste) se evaluó mediante la utilización de cinta métrica.

Determinación del volumen real

El volumen real del fuste de un árbol depende de su altura y su diámetro, y existen diferentes ecuaciones para calcularlo (Huber, Smalian, Newton, entre otras), sin embargo es posible estimarlo a partir de la fórmula de Cota, cuando se cuenta con datos del volumen aparente y el coeficiente mórfico de los árboles, reduciendo el apeo de los árboles o mediciones sobre los mismos, a una mínima cantidad de muestras (Ugalde, 1981).

El volumen aparente (Vap) es el volumen del árbol obtenido en pie considerando que su forma se asemeja a la de un cilindro de diámetro igual a su DAP, y de longitud igual a la altura total del mismo (Calderón, 2014). La fórmula para el cálculo del Vap es la siguiente:

$$V_{ap} = H * (D^2 * \frac{\pi}{4})$$

Dónde:

- ✓ Vap: volumen aparente
- ✓ H: Altura total
- ✓ D: diámetro (DAP)
- ✓ Π : número pi

Los troncos de los árboles adoptan distintas formas, que pueden variar con la edad y de acuerdo a la especie de la cual se trate (Calderón, 2014). Es por ello que, para convertir el volumen aparente en real, se debe utilizar algún parámetro que estime el ahusamiento del fuste a medida que nos alejamos de la base del mismo.

El coeficiente mórfico (Cf), es uno de esos parámetros que puede ser utilizado. El Cf se obtiene a partir del cociente entre el volumen real de un árbol y su volumen aparente de una mínima cantidad de individuos apeados. Se calcula a través de la siguiente fórmula (Calderón, 2014):

$$Cf = \frac{Vr}{Vap}$$

Dónde:

- ✓ Cf: coeficiente mórfico
- ✓ Vap: volumen aparente
- ✓ Vr: volumen real

Para determinar el Cf es necesario conocer el volumen real medio de los árboles de cada parcela. Para determinar dicho volumen se midieron los diámetros a diferentes alturas (con intervalos de un metro de altura, hasta los cuatro metros) en los fustes de los árboles con cinta dendrométrica. Los árboles seleccionados fueron los representativos de cada clase diamétrica (suprimido, intermedio, codominante y dominante) dentro de cada subparcela. Con esa información se calculó el volumen real de los mismos mediante la ecuación de cubicación de Smalian (para la sección que va desde la base del árbol hasta los cuatro metros de altura), y con la ecuación del cono (para la sección que va desde los cuatro metros hasta la altura total del árbol) (Figura 5).

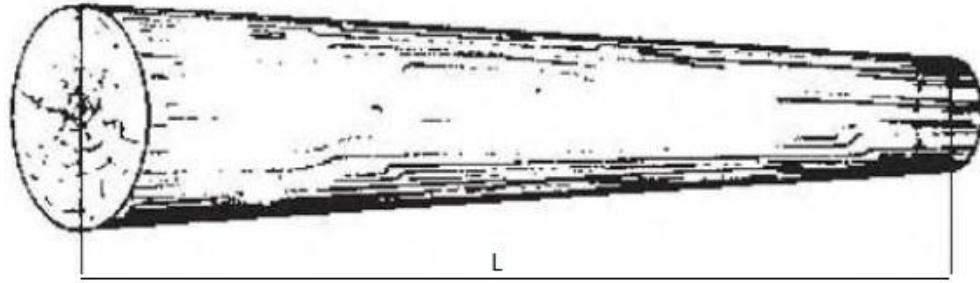


Figura 5: Determinación del volumen de los rollizos utilizando la ecuación de Smalian.

$$V = \frac{(S_1 + S_2) * L}{2}$$

Dónde:

- ✓ V = Volumen de la troza (m3).
- ✓ S₁ y S₂ = Áreas al inicio y final de la troza respectivamente (m2).
- ✓ L = Longitud de la troza (m).

Formula del cono:

$$V_c = \frac{1}{3} * H * \left(\frac{D^2}{4} * \pi\right)$$

Dónde:

- ✓ V_c: volumen cono
- ✓ D: diámetro
- ✓ H: altura
- ✓ π: número pi

El Cf obtenido a partir de los árboles tipo se utilizó para estimar el volumen real de cada individuo de la parcela, a través de la fórmula de Cota:

$$V_r = \left(\frac{\pi * D^2}{4}\right) * H * C_f$$

Dónde:

- ✓ V_r: volumen real
- ✓ D: diámetro
- ✓ H: altura
- ✓ π: número pi
- ✓ C_f: coeficiente de forma

Las comparaciones de volúmenes entre las distintas especies y procedencias se realizaron con un ANAVA, mediante Test DGC (Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para comparación de medias, a través del programa INFOSTAT (Di Rienzo *et.al.*, 2011).

Determinación del Incremento Medio del fuste de los árboles

A partir del volumen acumulado se obtuvo el incremento medio anual (IMA), que expresa el crecimiento anual, que resulta del cociente entre el valor total acumulado de la variable considerada, en un determinado tiempo de su evolución desde su origen, y su edad en dicho momento (Amo y Nieto, 1983; Imaña y Encinas, 2008). La fórmula es la siguiente:

$$\text{IMA} = Y_{t/t_0}$$

Dónde:

- ✓ IMA: incremento medio anual
- ✓ t_0 : edad a partir del tiempo cero.
- ✓ Y: dimensión de la variable considerada

Caracterización fenotípica de las diferentes especies y procedencias implantadas en el establecimiento

Para conocer la calidad de los árboles que componen cada especie y procedencia, se seleccionaron características fenotípicas de interés económico para determinar parámetros de calidad.

Las características seleccionadas son:

1. Ángulo de inserción de las ramas.
2. Diámetro y forma de copa.
3. Tortuosidad y malformación.
4. Rebrote luego de la poda.

1. Siguiendo los lineamientos planteados por autores como Balcorta Martínez y Vargas Hernández (2004), y Costas *et al.*, (2005), se determinó el ángulo de inserción de las ramas que componen el primer verticilo de la copa.

El ángulo de inserción de las ramas, se midió con un transportador de escuadra (Figura 6). Estas determinaciones fueron realizadas a los mismos árboles que fueron seleccionados para la medición de su altura.

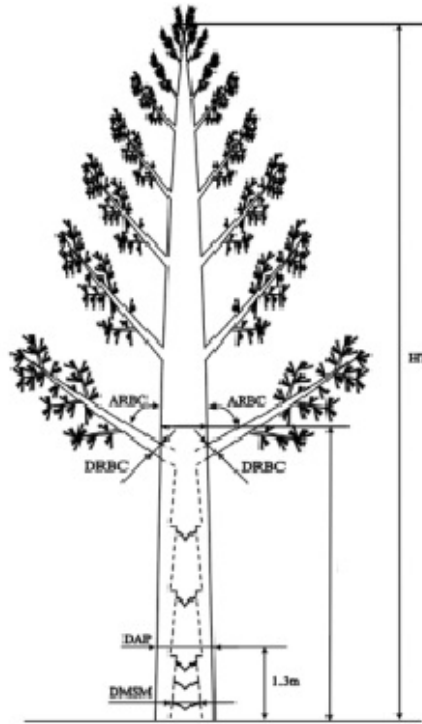


Figura 6: Esquema del árbol donde se encuentran identificados los parámetros a medir. Dónde: HT (altura total), DRBC (diámetro de las ramas), ARBC (ángulo de inserción de las ramas), DAP (diámetro a la altura del pecho) y DMSM (diámetro basal).

2. La determinación del diámetro basal de la copa, se realizó midiendo la misma desde el fuste hacia cuatro direcciones separados con un ángulo de 90°, con cinta métrica, sumando luego las distancias obtenidas. La medición se realizó en el suelo, proyectando el extremo de las ramas más largas hacia el piso (Balcorta Martinez y Vargas Hernandez. 2004). Las cuatro direcciones en que se realizaron las mediciones fueron: 1- N, 2- S, 3- E y 4-O, dividiendo luego en dos para convertir los radios en diámetro (Melo Cruz y Vargas Ríos, 2003):

$$AC: \frac{r_n + r_s + r_e + r_o}{2}$$

Dónde:

- ✓ AC: diámetro de copa
- ✓ r_n : radio con dirección norte
- ✓ r_s : radio con dirección sur
- ✓ r_e : radio con dirección este
- ✓ r_o : radio con dirección oeste

Se establecieron relaciones alométricas que permitieron evaluar la razón existente entre el diámetro de copa y el diámetro normal; y entre el diámetro de copa y la altura total del árbol. Estas relaciones serán analizadas a partir del ANAVA, utilizando el Test DGC (Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para comparación de medias (Di Rienzo *et.al.*, 2011).

3. La tortuosidad fue medida en todos los árboles de las parcelas y se determinó a partir de inspección visual y la calificación fue basada en una escala cualitativa con cuatro categorías de rectitud, similar a la desarrollada por Balcorta Martínez y Vargas Hernandez (2004). Las categorías van de 1 (menor calidad) a 4 (mayor calidad) (Figura 7):

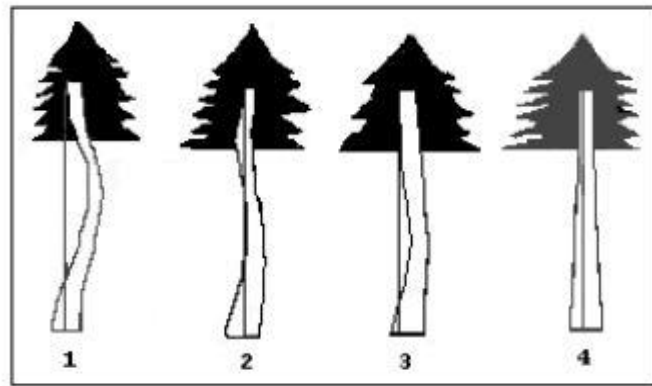


Figura 7: Categorías de rectitud del fuste.

Para comparar la frecuencia de esta variable en cada una de las especies bajo estudio, se usó la prueba de CHI Cuadrado.

4. La última operación de poda realizada en la plantación fue hace cinco años (en 2011). El rebrote luego de la operación de poda fue determinado mediante inspección visual, contabilizando el número de rebrotes. Para analizar los resultados obtenidos se hizo uso del ANAVA, utilizando el Test DGC (Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para comparación de medias (Di Rienzo *et.al.*, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sobrevivencia

Mediante el análisis ANOVA fue posible afirmar que existe evidencia estadísticamente significativa, de que la supervivencia varía con las especies ($p= 0,0387$), pero no con los marcos de plantación ($p= 0,67$). La existencia de diferencias en el porcentaje de supervivencia de acuerdo a las especies, en un mismo sitio, es debido a la variabilidad que ejerce el componente genético, la tasa de crecimiento y la distribución de biomasa y nutrientes (Valladares Ros, 2004). Sin embargo, es esperable que el marco de plantación aun no influya en la supervivencia y establecimiento de los individuos de una misma especie, ya que se trata de una plantación joven que no presenta signos de competencia intraespecífica. El éxito en el establecimiento de una plantación es definida por varios factores, entre los que se destacan: la calidad de la planta, las condiciones meteorológicas durante el establecimiento (principalmente relacionado con las precipitaciones), las condiciones edáficas, la fecha de plantación y el control de la vegetación herbácea (Navarro *et al.*, 2006). De todos estos, la disponibilidad de luz, agua y de nutrientes, tienen la mayor relevancia. Los diferentes niveles de dichos factores y su interacción, afectan diferencialmente al crecimiento y la supervivencia de las especies del género *Quercus* (Marañón *et al.*, 2004, Sánchez Gómez, 2007, Villar *et. al.*, 2014).

Dentro de las especies que se adaptaron al sitio, se encontró, evidencia estadísticamente significativa, de que existe un grupo (Gráfico 1) de especies con un nivel similar de supervivencia, y una especie con un nivel inferior. El grupo A, el cual tuvo el mayor porcentaje de supervivencia, está comprendido por *Q. pyrenaica*, *Q. robur* (SA), *Q. petraea* y *Q. robur* (Yac), mientras que *Q. cerris* fue la especie que presentó el menor porcentaje de supervivencia. La especie que demostró supervivencia nula a las condiciones del sitio fue *Q. palustris*, no habiéndose encontrado ningún individuo en las parcelas asignadas a esta especie.

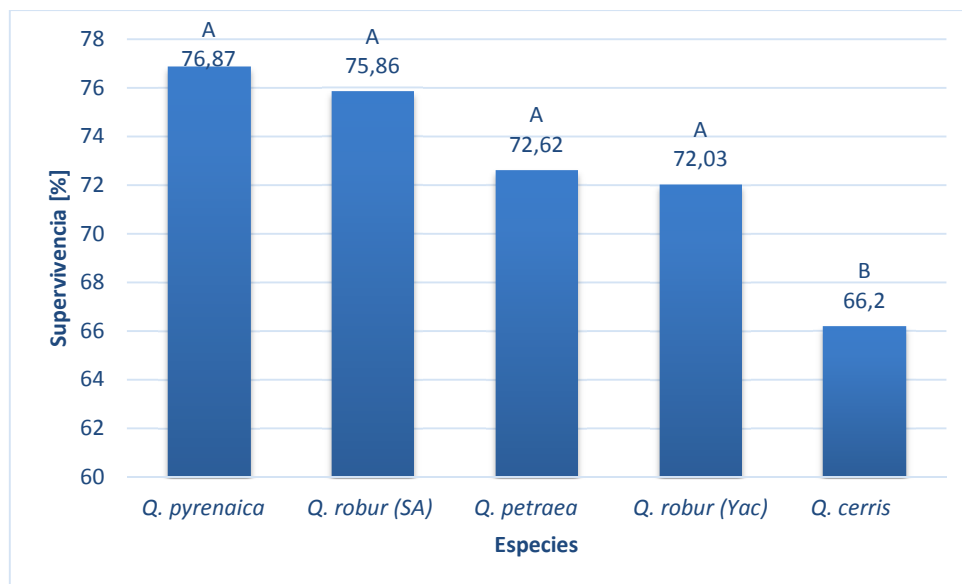


Gráfico 1: Porcentaje de supervivencia según especies, Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

El menor porcentaje de supervivencia de *Q. cerris*, conocido como roble turco, puede deberse a su baja adaptación a altitudes superiores a los 800 msnm (recordar que la plantación se encuentra a 950 msnm) y por otro lado es una especie asociada a temperaturas máximas estivales bajas (MAGRAMA, 2011).

Q. palustris, es la especie que posee los mayores requerimientos de humedad, de todas las especies estudiadas (prosperando generalmente en los sitios que se inundan intermitentemente). Las precipitaciones en su lugar de origen (Arkansas y Tennessee, EEUU) varían desde 810 mm a más de 1.270 mm (Burns y Honkala, 1990 ; Bussoni *et al.*, 2012). Si bien las precipitaciones medias en la región serrana son similares a las del lugar de origen de la especie, el suelo arenoso con drenaje que va desde bueno a excesivo contrasta con el tipo de suelos que prefiere esta especie, que son predominantemente suelos húmedos y arcillosos. Este hecho explicaría porque la especie no fue capaz de adaptarse al sitio bajo estudio, cuyas características edáficas difieren en gran medida con los suelos aluviales y fluviales (Orden Entisol) con alto contenido de arcilla y mal drenados, donde crece naturalmente (Bussoni *et al.*, 2012; Burns y Honkala, 1990; San Miguel Ayanz *et al.*, 2016 y Gilman y Watson, 1994).

Diámetro a la altura del pecho y altura media de los individuos

Se encontró evidencia estadísticamente significativa de que los diámetros a la altura del pecho, varían con la especie ($p < 0,0001$). Se diferenciaron tres grupos (A, B, C) de especies, cada uno con similar DAP promedio (Gráfico 2). Los mayores DAP promedios (0,125 m) los presentaron *Q. robur* (SA) y *Q. robur* (Yac) (grupo A), mientras que en una situación intermedia (grupo B) se encuentran *Q. petraea* y *Q. pyrenaica* con 0,1 m. Por último *Q. cerris* (grupo C), es la especie de menor DAP con 0,09 m.

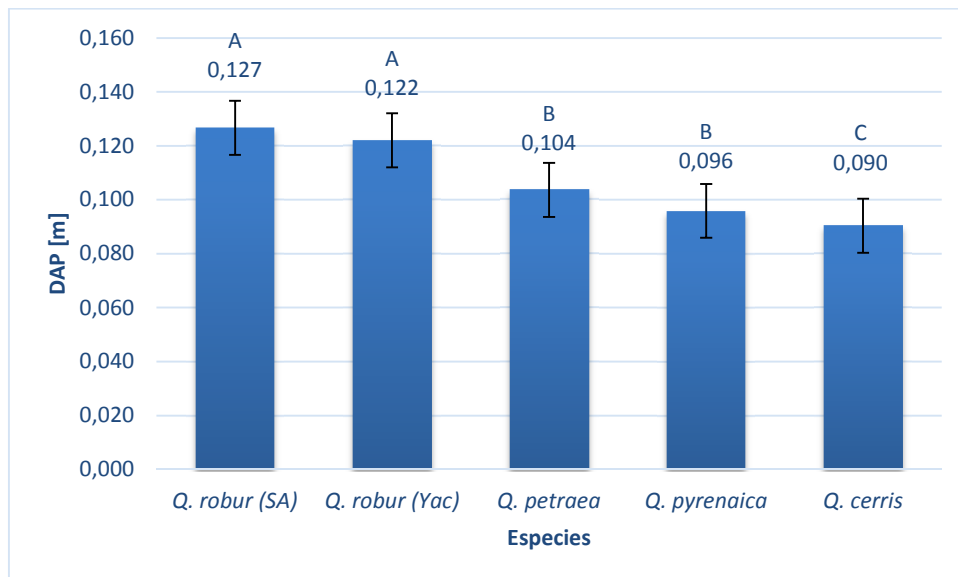


Gráfico 2: Diámetro a la altura del pecho [m] según especie. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Los individuos que pertenecen a la especie *Q. robur* presentan los mayores DAP, ya que en la madurez es esta especie la alcanza el mayor diámetro acumulado (más robustos) comparativamente con el resto de las especies. En este sentido, los individuos de la especie *Q. pyrenaica* son, característicamente, de menor tamaño que los de *Q. robur* (Costa *et al.*, 2005), al igual que *Q. petraea* (Díaz- Fernández *et al.*, 1995; Bravo Oviedo y Montero Gonzales, 2008). *Q. cerris* es la especie que menor crecimiento en diámetro ha alcanzado entre las que sobrevivieron.

Los resultados indican que existe una interacción entre la altura la especie y el marco de plantación ($p = 0,0002$). Esto coincide con lo encontrado por numerosos autores, que concuerdan

en que el aumento en la densidad de plantación influye (positivamente) en el incremento de la altura (Vignote Peña *et al.*, 2013; Espinosa Bancalari y Muñoz Saez, 2000).

En este trabajo se distinguieron cuatro grupos de especies y/o procedencias – marco de plantación (Gráfico 3), con árboles de diferente altura promedio, de entre los cuales, el grupo A (compuesto por *Q. robur* (SA) en el marco de plantación 3x3) presentó la máxima altura media de 11,23 m. El grupo B (con medias entre 10,2 m y 9,89 m) está integrado por *Q. robur* (Yac) con diseño 4x4, *Q. robur* (SA) con diseño 4x4 y *Q. robur* (Yac) con diseño 3x3. El grupo C, está formado por *Q. petraea* en sus dos marcos de plantación (con medias de 8,34 m y 8,13 m para los diseños 3x3 y 4x4 respectivamente), *Q. pyrenaica* en menor densidad (media 7,86 m) y *Q. cerris* con diseño 3x3 (media 7,76 m). Finalmente, el grupo D, está formado por *Q. pyrenaica* de mayor densidad y *Q. cerris* con diseño 4x4, los cuales presentan la menor altura de todas las combinaciones (medias entre 7,37 m y 7,16 m).

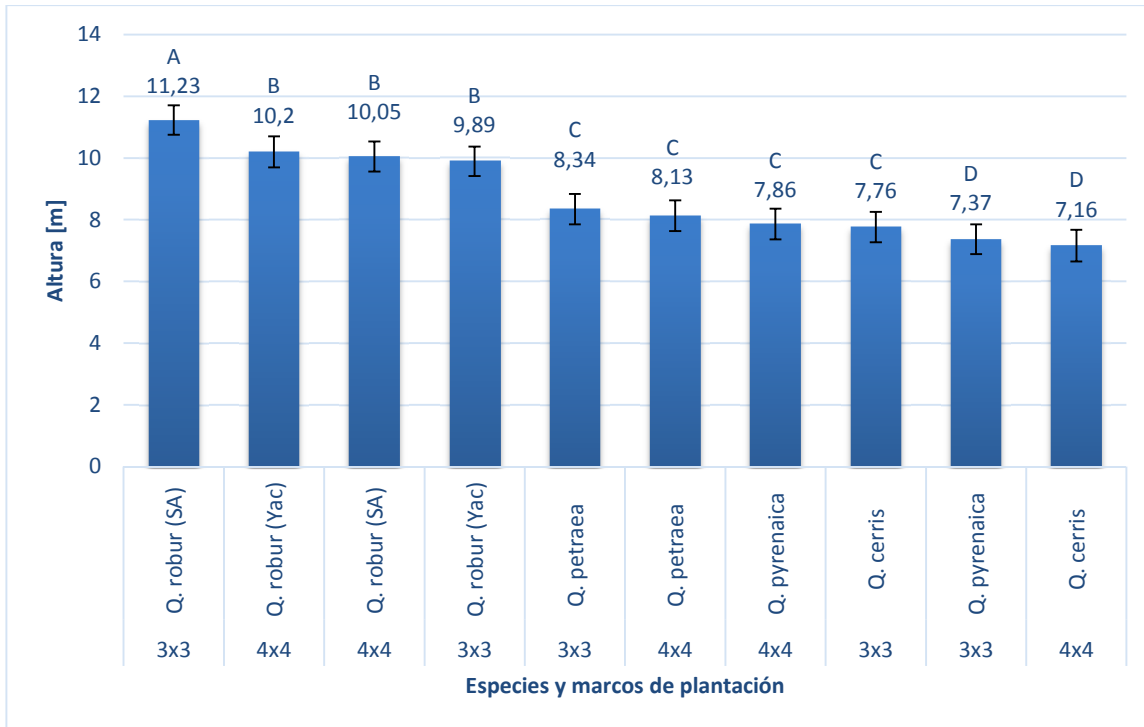


Gráfico 3: Alturas medias [m] según especie y marco de plantación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05).

Existe una leve tendencia que indica que cuando la densidad es mayor, la altura también lo es. Aunque solo en el caso de *Q. robur* (SA) esta diferencia entre las dos densidades, se manifiesta significativamente (grupo A). En este caso, se evidencian condiciones de competencia en la parcela, dado que hay superposición entre las copas de los individuos lo que

genera un sombreado intenso sobre el sotobosque y un grado de competencia importante entre raíces (Vita Alonso, 1978). En las demás especies, al haber escasa competencia entre individuos, la influencia del marco de plantación sobre la altura es inexistente o leve. A diferencia de las parcelas de *Q. robur*, en el resto de las parcelas hay abundante vegetación en el sotobosque y no hay superposición de copas (Figura 8).



Figura 8: Parcela de *Q. robur* (SA), donde se aprecia la escasa vegetación herbácea y el alto grado de sombreado (A). Parcela de *Q. cerris*, donde se aprecia la abundante vegetación herbácea y el bajo sombreado (B).

Finalmente, es preciso mencionar que la altura a madurez de los individuos es diferente de acuerdo a la especie, de acuerdo a la bibliografía, *Q. robur* es la que presenta la mayor altura, alcanzando 40 a 50 m (Díaz- Fernández *et al.*, 1995; Bravo Oviedo y Montero Gonzales, 2008, Miranda *et al.*, 2009 y Vignote Peña, 2014); seguido por *Q. petraea*, con una talla media de 18-35 m de altura, alcanzando excepcionalmente 40 m de altura con buenas condiciones sitio (Miranda *et al.*, 2009 y Vignote Peña, 2014); mientras que *Q. pyrenaica* ronda los 20 m, alcanzando 25 m en escenarios favorables (Bravo Oviedo y Montero Gonzales, 2008 ; Miranda *et al.*, 2009) y *Quercus cerris* normalmente presenta una talla media de 10 a 16 m de altura (Gilman y Watson, 1994).

Volumen real

El volumen real, varió de acuerdo a la asociación de los factores densidad y especie ($p < 0,0001$). Se diferenciaron cuatro grupos de diferentes combinaciones especie-densidad con volúmenes reales disimiles (Gráfico 4). El grupo A, posee el mayor volumen (0,09 m^3 /individuo), en este se encuentra *Q. robur* (SA) con diseño 3x3. En una situación intermedia se encuentra el grupo B, (con medias entre 0,07 y 0,06 m^3 /individuo) integrado por *Q. robur* (Yac) con diseño 4x4 y *Q. robur* (SA) en diseño 3x3. El grupo C, con promedios de 0,05 m^3 /individuo, está comprendido por *Q. robur* (Yac) con diseño 3x3 y *Q. petraea* en diseño 4x4. Finalmente, el grupo D, comprende a *Q. petraea* con diseño 3x3, y a *Q. pyrenaica* y *Q. cerris* en sus dos densidades, siendo este el grupo que posee menores volúmenes (medias de 0,04 m^3 /individuo y 0,03 m^3 /individuo).

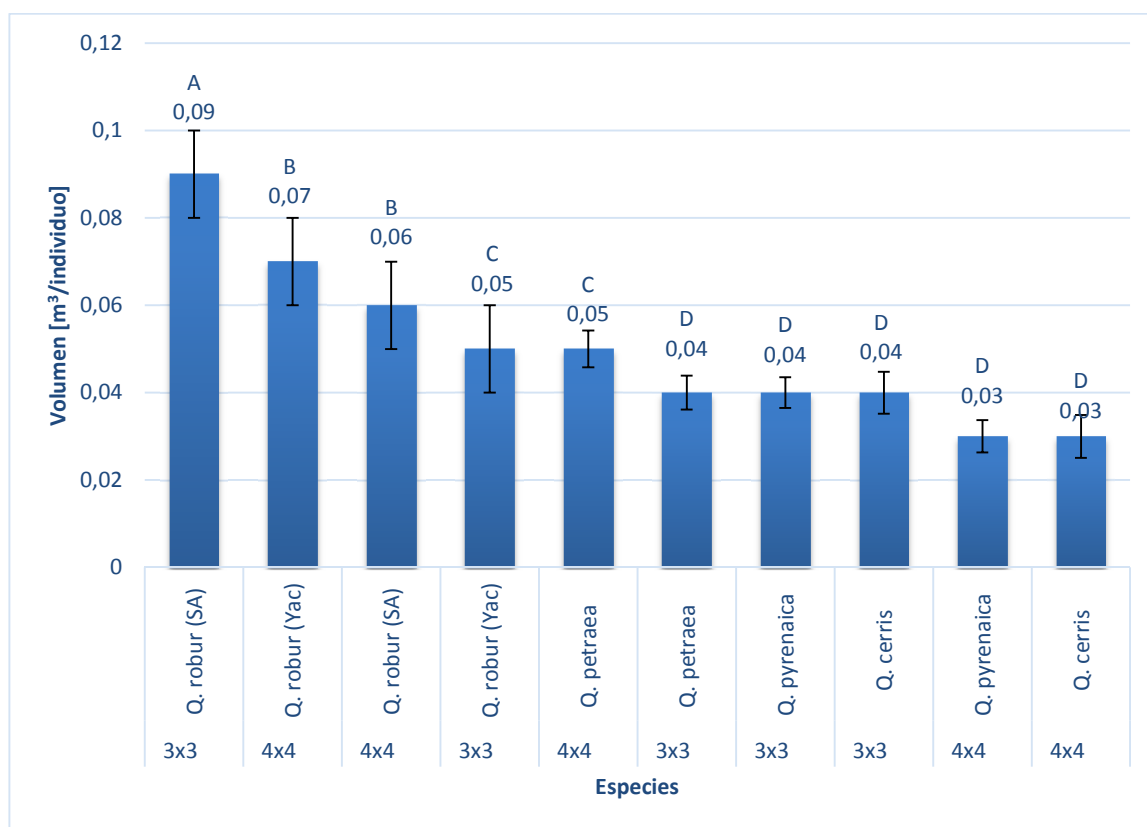


Gráfico 4: Volumen medio individual según las especies y marco de plantación.

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

El volumen promedio producido por individuo de cada especie, es una característica cuantitativa muy importante a la hora de decidir el genotipo que se implantará en una plantación.

En la plantación bajo estudio, *Q. robur* (SA) con diseño 3x3 posee el mayor volumen, lo que puede ser explicado por la mayor altura que poseen los individuos en comparación con los árboles de la misma especie plantados en el marco 4x4. Así, por ejemplo, *Q. robur* (SA) en diseño 3x3, produjo el triple de volumen unitario que la implantación de *Q. cerris* en diseño 4x4, esto es causa de la mejor adaptación y características genéticas del primero frente al segundo, tal como se explicó anteriormente. Las especies que poseen menor crecimiento acumulado son *Q. pyrenaica*, *Q. petraea* y *Q. cerris*, las cuales presentan una baja o nula respuesta al marco de plantación. Esto es debido a la baja competencia, en donde los individuos exhiben un crecimiento normal para la especie y el sitio, y es esperable que este comportamiento se mantenga hasta el momento en que los árboles empiecen a competir por los recursos (Wadsworth, 2000).

El volumen varía con las especies (Vignote Peña *et al.*, 2013), de la misma manera que lo hace el DAP, la altura y el Cf, ya que el mismo se encuentra definido por estos componentes (Espinosa Bancalari y Muñoz Saez, 2000). Es por ello que el orden en que se ubican las especies de acuerdo al volumen acumulado (de mayor a menor) es el mismo que para las características diámetro y altura. La densidad, actúa conjuntamente con la especie, generando cambios en el volumen de los árboles. Con una densidad mayor hay un volumen menor por árbol mientras que, con una densidad menor el volumen por árbol es mayor (Armando Vasquez, 2001). El crecimiento en volumen por unidad de superficie, incrementa a medida que aumenta la densidad, hasta un punto donde se alcanza un "plateau", luego del cual el crecimiento disminuye con la densidad (Espinosa Bancalari y Muñoz Saez, 2000). Con un espaciamiento adecuado, el incremento en la acumulación de volumen por unidad de superficie se da por un mayor número de árboles, cada uno de los cuales tiene un tamaño menor (gráfico 5); mientras que con menor densidad (espaciamiento amplio), el incremento de volumen por unidad de superficie, está concentrado en un menor número de árboles, cada uno de mayor tamaño (Armando Vasquez, 2001).

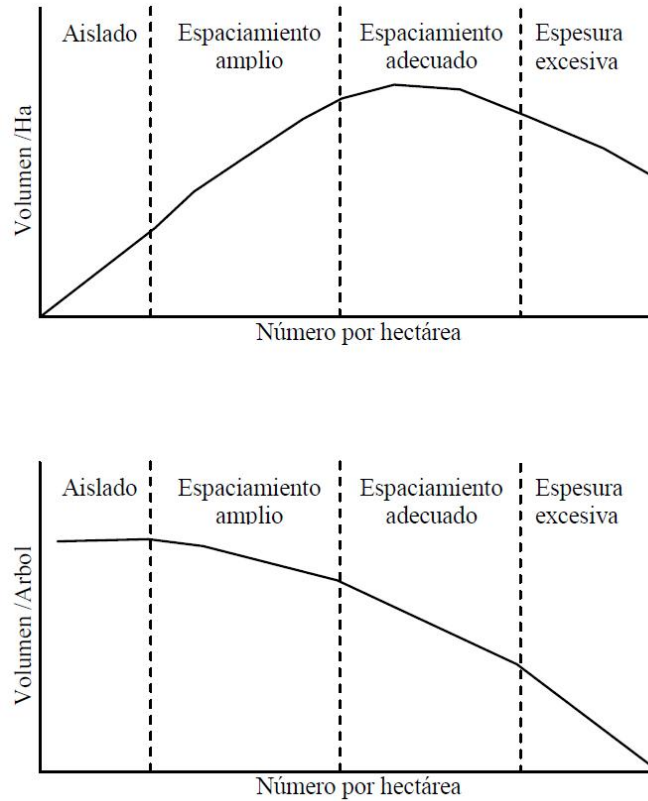


Gráfico 5: Volumen por hectárea (arriba) y volumen por árbol (abajo) con el aumento del número de árboles por unidad de superficie (Daniel *et al.*, 1984).

En el cuadro 2 se presenta el volumen total acumulado por hectárea y por especie. El mayor volumen por árbol, no compensa la menor cantidad de árboles (y por ende menor volumen total) en las subparcelas con un marco de plantación más amplio. A pesar que el crecimiento individual es similar en *Q. petraea*, *Q. cerris* y *Q. pyrenaica*, este último presenta mayor volumen por hectárea debido a su mayor porcentaje de supervivencia.

Cuadro 2: Volumen [m³/ha] producido por robles de 15 años de edad.

Densidad	<i>Q. robur</i> (SA)	<i>Q. robur</i> (Yac)	<i>Q. petraea</i>	<i>Q. pyrenaica</i>	<i>Q. cerris</i>
4x4	27,61	29,05	14,58	11,51	9,23
3x3	62,93	45,41	23,35	26,92	16,21
Volumen promedio por especie [m ³ /ha]	45,27	37,23	18,97	19,21	12,72

Incremento Medio del fuste de los árboles

Los incrementos medios anuales (IMA) calculados se compararon con los encontrados por otros autores (Cuadro 3).

Cuadro 3: IMA calculado y obtenido por otros autores.

Especies	IMA promedio por especie en la plantación	IMA de otros autores
<i>Q. robur</i> (SA)	3 m ³ /ha/año	3-9 m ³ /ha/año
<i>Q. robur</i> (Yac)	2,5 m ³ /ha/año	3-9 m ³ /ha/año
<i>Q. petraea</i>	1,26 m ³ /ha/año	3-6 m ³ /ha/año
<i>Q. pyrenaica</i>	1,28 m ³ /ha/año	2 m ³ /ha/año
<i>Q. cerris</i>	0,85 m ³ /ha/año	S/d

En todos los casos se observa que el crecimiento medio en el sitio bajo estudio es inferior a los de su lugar de procedencia (Europa), lo cual es debido a la que la plantación se encuentra en su fase juvenil, período en el cual las tasas de crecimiento son bajas, y por lo tanto el crecimiento acumulado también lo es (Gráfico 6). Luque (2008) encontró para las Sierras de Calamuchita, que el tiempo de rotación promedio en *Q. robur* es de 54 años, por lo que 15 años representan solo el 27% de la rotación. El tiempo de rotación en una plantación se encuentra definido por la tasa de crecimiento de la especie y por el manejo de la densidad. Las especies del género *Quercus* poseen una tasa de crecimiento baja ($14,6 \pm 2,0 \text{ mg g}^{-1} \times \text{día}^{-1}$), frente a otras especies leñosas (*Pistacia terebinthus*, *Pistacia lentiscus*, *Castanea sativa*, *Prunus dulcis* y *Prunus lusitanica*), en las que se observaron mayores tasas de crecimiento relativo ($32,2 \pm 4,5 \text{ mg g}^{-1} \times \text{día}^{-1}$), debido al bajo índice de área foliar y a la baja tasa de asimilación neta. Estas características, son consecuencia de que estas especies presentan una gran proporción de biomasa en las raíces ($45,0 \pm 3,0 \%$), frente a otras especies leñosas ($25,0 \pm 1,4 \%$), la cual le brinda ventajas en situaciones de sequía o limitación de nutrientes (Valladares Ros, 2004; Villar *et al.*, 2014).

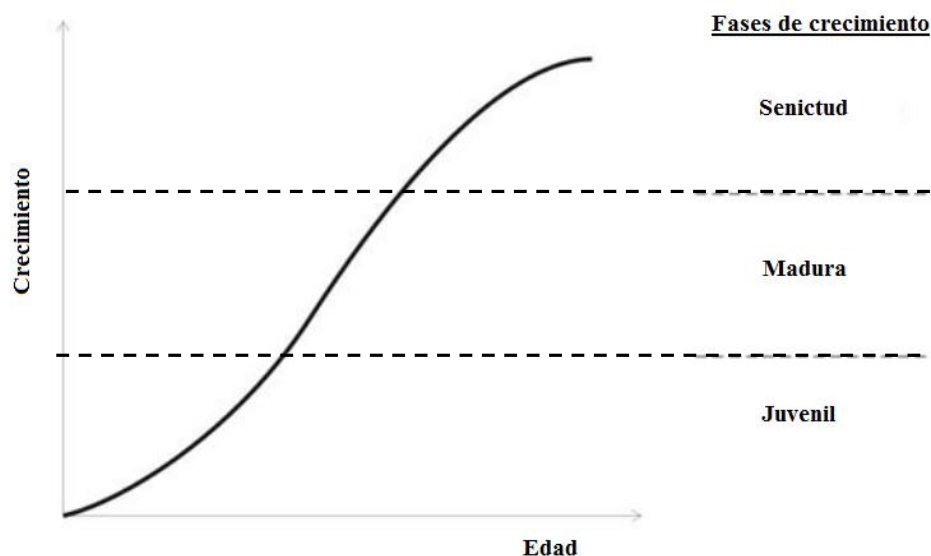


Gráfico 6: Forma típica de la curva de crecimiento en árboles (Imaña *et al.*, 2005).

Dado que los incrementos medios anuales (IMA) tienden a incrementarse a medida que avanza la rotación (Fiandino y Plevich, 2014), se podría esperar que los valores de IMA encontrados para la situación bajo estudio aumenten significativamente en los próximos años. Veiga *et al.*, 2001 encontró que el crecimiento medio anual individual en roble al final de la rotación (120 años) es de 0,013, mientras que a los 32 años (27% de la rotación) el crecimiento es de 0,004 m³/año, es decir, que el crecimiento al final de la rotación es 3,25 veces mayor que a una edad similar a la de la plantación bajo estudio, por lo tanto se espera que los IMA en esta plantación se incrementen de manera similar, si este fuera el caso los Incrementos Medios que se podrían esperar en la Sierra de Comechingones son los que se presentan el cuadro 4.

Cuadro 4: IMA esperable al final de la rotación.

Especies	IMA esperable al final de la rotación
<i>Q. robur</i> (SA)	9,75 m ³ /ha/año
<i>Q. robur</i> (Yac)	8,12 m ³ /ha/año
<i>Q. petraea</i>	4,09 m ³ /ha/año
<i>Q. pyrenaica</i>	4,16 m ³ /ha/año
<i>Q. cerris</i>	2,76 m ³ /ha/año

En el cuadro se observa que el IMA proyectado para *Q. robur*, es similar al observado en la bibliografía europea, la cual menciona crecimientos que varían de 3 a 7 m³/ha dependiendo la

calidad del sitio (URJC, 2010), hasta máximos de 9 m³/ha en Holanda y Gran Bretaña (Bravo Oviedo y Montero Gonzales, 2008). En México, Klepac (1983) indicó incrementos medios anuales que varían entre 7-16 m³/ha, dependiendo de la calidad de los sitios, el cual es menor al IMA proyectado para la plantación bajo estudio, de 9,75 m³/ha. En el caso de *Q. petraea*, se espera un incremento de 4,09 m³/ha por año, valor similar al reportado en España, que va de 3 a 6 m³/ha por año en sitios de buena calidad. Por su parte, para *Q. pyrenaica*, se espera un crecimiento similar al de *Q. petraea*, siendo este mayor que en su sitio de origen, que es de 2 m³/ha por año (URJC, 2010).

Caracterización fenotípica de las diferentes especies y procedencias implantadas en el establecimiento

1. Ángulo de inserción de las ramas

Se encontró evidencia estadísticamente significativa ($p < 0,0001$) de que el ángulo de inserción de las ramas varía con la especie. Se diferenciaron tres grupos: *Q. pyrenaica* y *Q. robur* (*Yac*) pertenecen a los grupos A y B respectivamente, con ángulos cercanos a 90°, mientras que *Q. robur* (*SA*), *Q. petraea* y *Q. cerris* poseen ángulos menores (71,16°, 62,7° y 58,8° respectivamente, grupo C) (Gráfico 7).

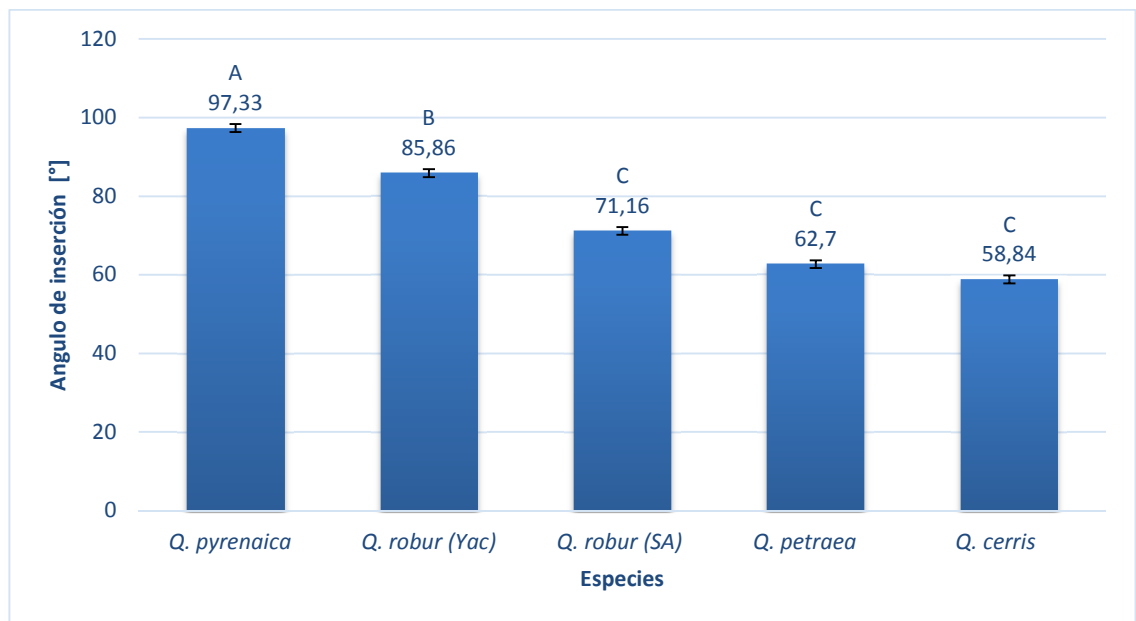


Gráfico 7: Ángulo de inserción de las ramas según las especie. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

El ángulo de inserción de las ramas afecta la arquitectura de la planta, la distribución de la luz y la apariencia de la misma (Alvarado Alvarado y Ochoa Fonseca, 2006). A menudo se relaciona el ángulo de inserción de las ramas con los nudos, esto es debido a que cuanto más alejado de 90° se presente el ángulo de la rama, mayor es la superficie del nudo (Vignote Peña *et al.*, 2013). Independientemente de la especie forestal, los genetistas, al trabajar con fenotipos, prefieren árboles que posean ramas delgadas con ángulos de inserción rectos debido a que no afectan la calidad de madera, ya que ramas finas y rectas dejan nudos más pequeños en comparación a ramas más gruesas y con menores ángulos de inserción. Si bien es una característica que depende de la especie, puede verse también influenciada por diversos factores como: 1- la densidad; 2- el hábito de ramificación, dado que árboles de tipo uninodal (forman un verticilo en un año de crecimiento) tienden a ramificar en ángulos más pequeños que los árboles multinodales (forman varios verticilos en un año de crecimiento); 3- el diámetro de las ramas, ya que las ramas más gruesas, en general, poseen un menor ángulo de inserción (Millar Ortiz, 2003) y 4- la altura de la planta, dado que las plantas de mayor altura tienen un menor ángulo de inserción de ramas y viceversa (Alvarado Alvarado y Ochoa Fonseca, 2006).

Millar Ortiz, (2003) al analizar el ángulo de inserción en *Pinus radiata* encontró que, en líneas generales, los árboles que presentan ramas con ángulos de inserción pequeños, tienden a producir fustes poco rectos y bajas tasas de crecimiento (tal es el caso de *Q. cerris* en el presente ensayo), esto es producto de poseer copas más abiertas y reducidas.

2. Diámetro y forma de la copa.

El diámetro medio de la copa (AC) y la altura al inicio de la copa pueden apreciarse en el cuadro 5. Los mayores diámetros de copa los presentaron los individuos de *Q. robur* (ambas procedencias) y *Q. pyrenaica*. En cuanto a la altura al inicio de la copa es mayor en *Q. robur* y menor en *Q. pyrenaica*.

Cuadro 5: Diámetro medio de la copa, y altura media al inicio de la misma.

Especie	Diámetro de copa promedio [m ²]	Altura al inicio de la copa promedio [m]
<i>Q. robur</i> (SA)	4,66	3,15
<i>Q. robur</i> (Yac)	4,22	3,33
<i>Q. petraea</i>	3,88	2,75
<i>Q. pyrenaica</i>	4,62	2,10
<i>Q. cerris</i>	3,36	2,45

A- Relación entre el diámetro de la copa y el diámetro normal

La relación entre el diámetro de la copa (AC) y el DAP varía con la especie ($p=0,0001$) y con la clase diamétrica ($p<0,0001$). Esta relación, propia para cada genotipo, puede ser modificada por condiciones como el sitio y la edad (Corvalán Vera y Hernández Palma, 2016). Se encontró que *Q. pyrenaica* presenta la mayor relación AC/DAP, lo que indica que para el mismo tamaño de copa, su DAP es menor. Por otro lado, se encuentran las cuatro especies restantes que presentan una relación promedio de 37, lo que indica que a igual diámetro de copa, estas especies presentan un mayor DAP que *Q. pyrenaica* (Gráfico 8).

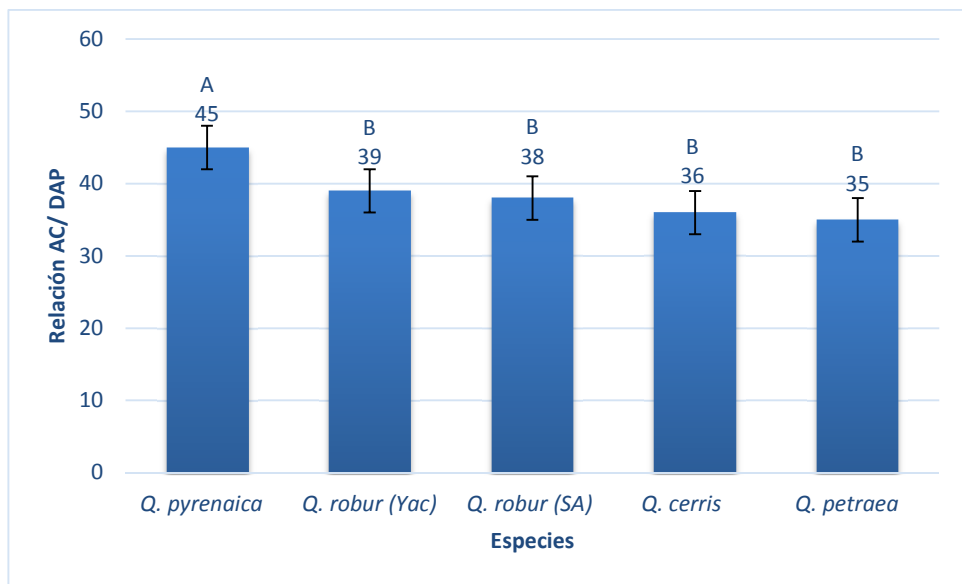


Gráfico 8: Variación de la relación alométrica entre el diámetro de la copa y el DAP, según las diferentes especies. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

La agrupación de especies muestra que *Q. pyrenaica* presenta una estructura diferente, ya que su DAP es pequeño en relación al tamaño de copa. En el caso de las especies pertenecientes al grupo B, son árboles que poseen proporcionalmente un DAP mayor con el mismo diámetro de copa (Figura 9). En este caso, se considera al ancho de copa constante ya que su tamaño está definido por el marco de plantación, por lo que árboles del tipo de *Q. pyrenaica* (grupo A) comenzarían a competir de manera más temprana (en relación a su crecimiento en área basimétrica) que aquellos que pertenecen al grupo B.

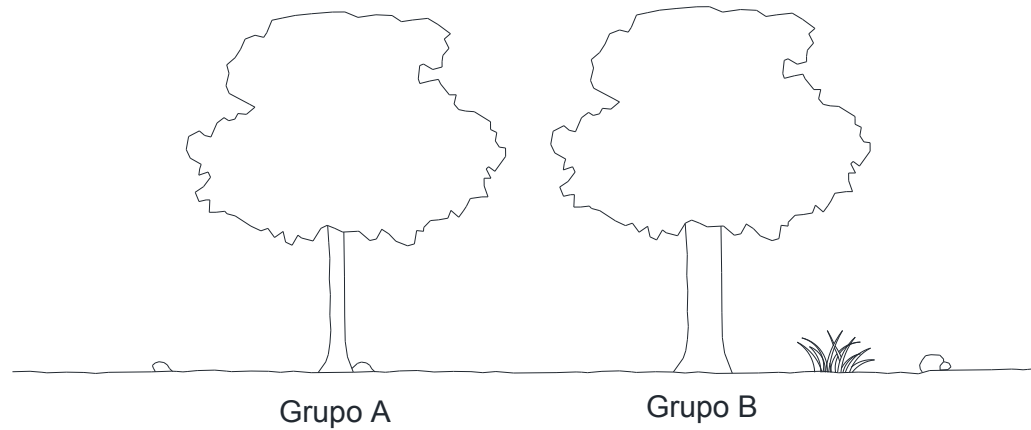


Figura 9: Representación gráfica de la relación entre el Diámetro de copa y el DAP. El grupo A, se encuentra representado por *Q. pyrenaica*, mientras que el grupo B, por *Q. robur* (Yacanto y San Ambrosio), *Q. petraea* y *Q. cerris*.

Por otra parte se encontraron diferencias significativas entre las distintas clases diamétricas, presentando cada clase una relación AC/DAP específica (Gráfico 9).

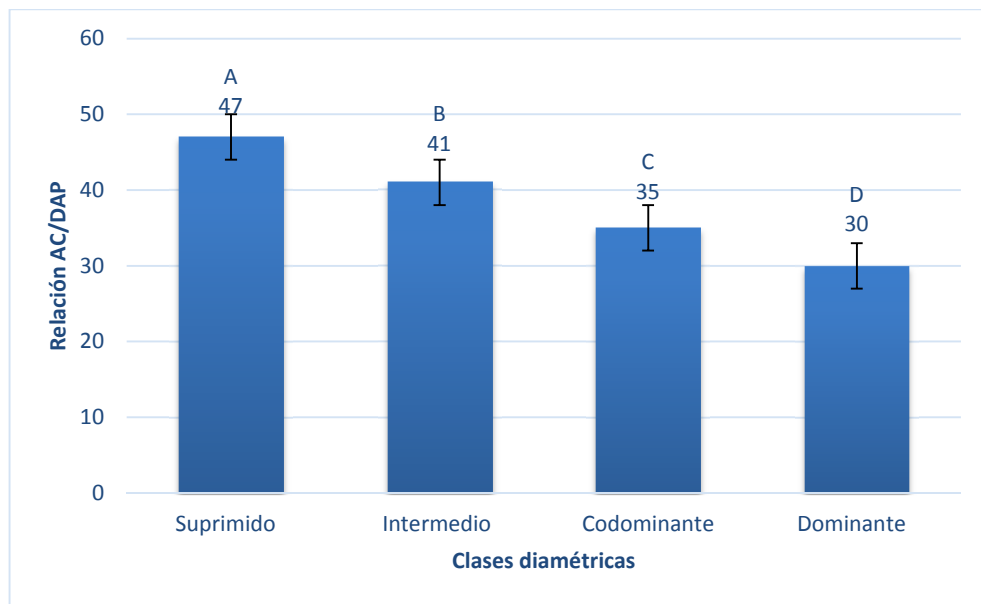


Gráfico 9: Variación de la relación alométrica entre el diámetro de la copa y el DAP, según las clases diamétricas. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

La relación disminuye a medida que aumenta el diámetro de los árboles (suprimidos poseen la mayor relación y dominantes la menor).

B- Relación entre el diámetro de copa y la altura total del árbol

La relación AC y la altura del árbol (h) varía entre las especies ($p < 0.0001$), y al igual que en la relación AC/DAP, *Q. pyrenaica* se caracteriza por presentar el valor más alto, mientras que el resto de las especies (*Q. petraea*, *Q. robur* (Yac), *Q. robur* (SA), y *Q. cerris*) conforman un grupo que presenta una relación menor (Gráfico 10).

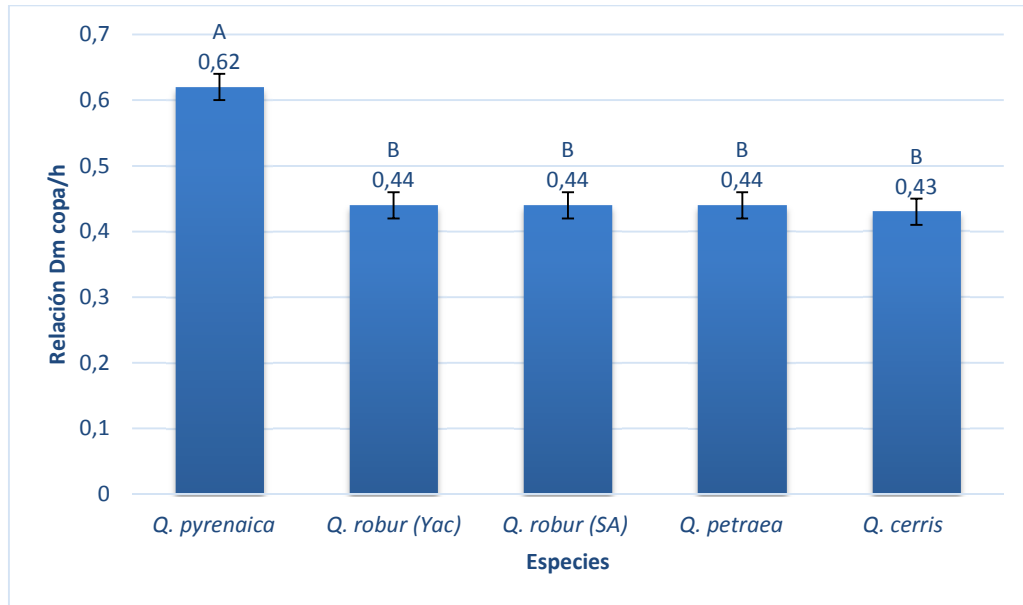


Gráfico 10: Variación de la relación alométrica entre el diámetro de la copa y la altura, según las diferentes especies. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

La mayor relación de *Q. pyrenaica* indica que son árboles que presentan una estructura diferente a las demás especies, estos son bajos en relación al tamaño de su copa, al contrario de las demás especies que se identifican por ser árboles altos para el mismo diámetro de copa (Figura 10). Como se dijo anteriormente, estas relaciones son, en general, explicadas por las diferencias genéticas, propias de cada especie.

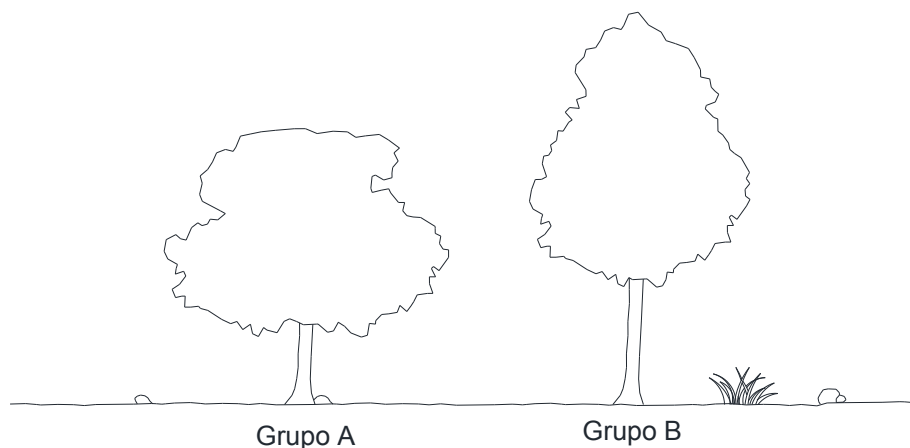


Figura 10: Representación gráfica de la relación entre el Diámetro de copa y la altura. El grupo A, se encuentra representado por *Q. pyrenaica*, mientras que el grupo B, por *Q. robur* (Yacanto y San Ambrosio), *Q. petraea* y *Q. cerris*.

Las especies que pertenecen al grupo B, presentan mejor valoración fenotípica, ya que cuando la relación AC/h es menor, los individuos se caracterizan por ser más esbeltos, con mayor longitud del fuste para el mismo tamaño de copa. Contrariamente, al aumentar el valor de la relación AC/h, los árboles se tornan menos esbeltos, con fustes de menor longitud.

3. Tortuosidad y malformación.

Al contrastar las frecuencias de los grados de tortuosidad de cada especie, contra la especie utilizada como testigo (*Q. robur* (SA)), *Q. robur* (Yac) fue la única especie que se diferenció, mostrando una mejor rectitud de fuste en los individuos. Las demás especies no pudieron diferenciarse del testigo. La tortuosidad responde a características genéticas, en donde cada especie responde acorde a su carga genética, y las condiciones de crecimiento, como la densidad.

En el gráfico 11 es posible apreciar que las especies *Q. robur* (Yac), *Q. robur* (SA) y *Q. petraea* presentan mayor proporción de individuos con tortuosidad 3 y 4 (más derechas), mientras que *Q. pyrenaica* y *Q. cerris* son las especies con mayor porcentaje de árboles tortuosos (clases 1 y 2).

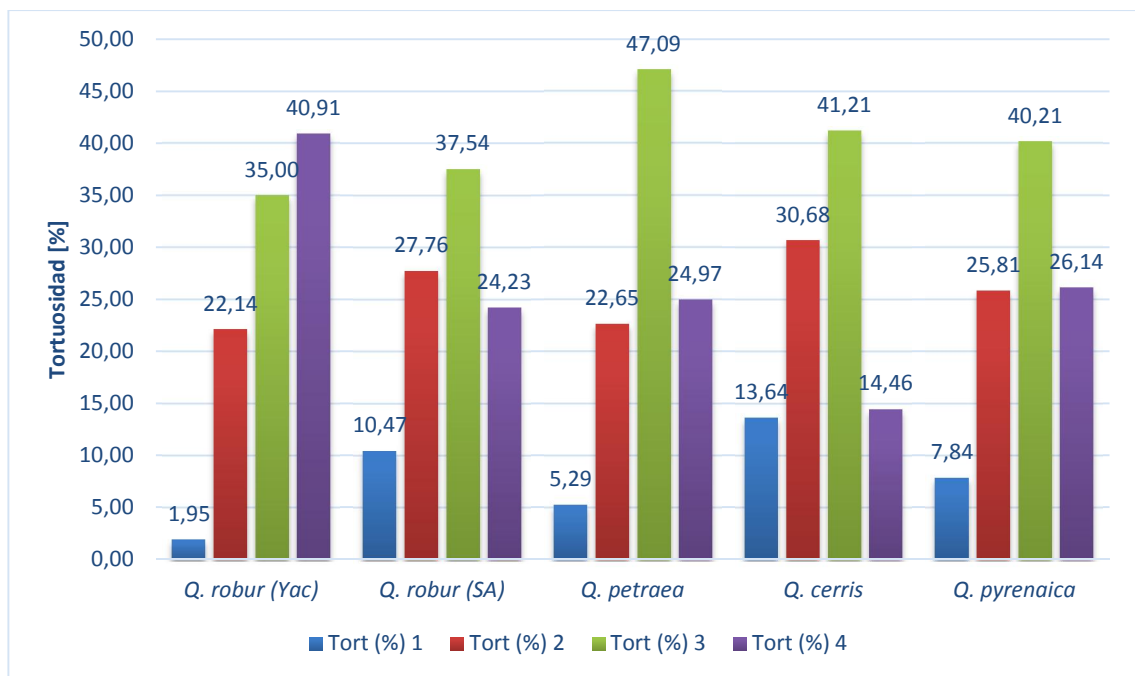


Gráfico 11: Variación de la tortuosidad con las especies.

La tortuosidad es máxima en *Q. pyrenaica* y mínima en *Q. robur* (Yac) (Cuadro 6). Por lo que es posible concluir que *Q. robur* y *Q. petraea* son las especies que poseen mejor rectitud de fuste. Mientras que *Q. cerris* y *Q. pyrenaica* son las especies más tortuosas (Figura 11).

Cuadro 6: Tortuosidad promedio en las especies estudiadas.

Especie	Promedio tortuosidad
<i>Q. robur</i> (Yac)	3,16
<i>Q. robur</i> (SA)	2,74
<i>Q. petraea</i>	2,89
<i>Q. cerris</i>	2,55
<i>Q. pyrenaica</i>	2,15

De manera semejante a lo encontrado en bibliografía, los individuos de la especie *Q. robur* se caracterizan por poseer un tronco derecho y limpio que alcanza grandes diámetros (Vignote Peña, 2014; URJC, 2010; Miranda *et al.*, 2009 y Luque, 2008). Por su parte, *Q. petraea* se identifica por ser tan esbelto como el anterior o incluso más perfecto y menos tortuoso (Vignote Peña, 2014; URJC, 2010 y Miranda *et al.*, 2009). En cambio, *Q. pyrenaica* presenta normalmente un tronco tortuoso con abundantes ramificación (Vignote Peña, 2014; Miranda *et al.*, 2009).



*Figura 11: Plantación de robles en el campo “Las Guindas”, se observan los fustes de ***Q. robur*** (A), ***Q. pyrenaica*** (B), ***Q. petraea*** (C) y ***Q. cerris*** (D).*

En cuanto a la variación según el marco de plantación, no es posible observar ninguna tendencia (gráfico 12), esto podría ser debido a que no existe un marcado efecto de competencia, por tratarse de una plantación joven. Por otro lado se observa que el mayor porcentaje de árboles, se encuentran en la tortuosidad 3 independientemente del marco de plantación.

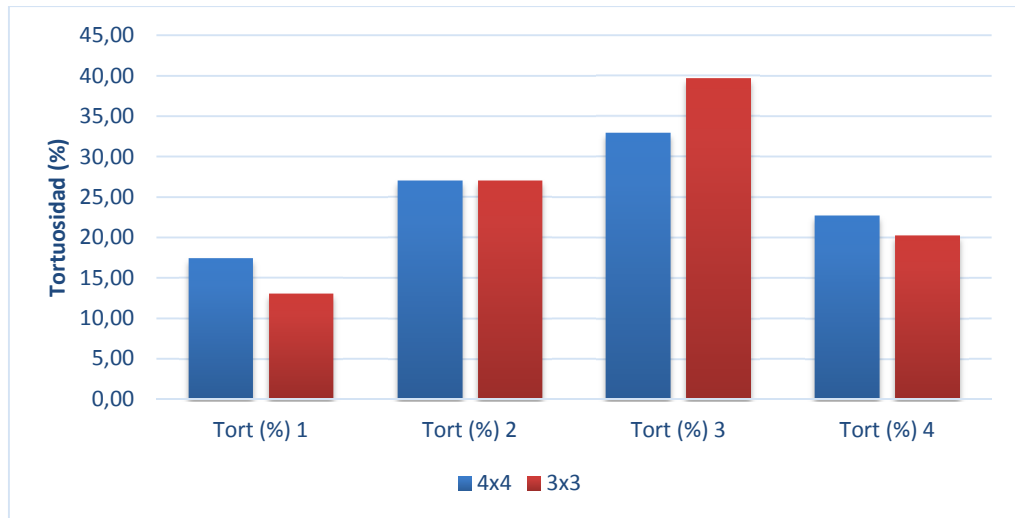


Gráfico 12: Variación de la tortuosidad con el marco de plantación.

4. Rebrote luego de la poda

Se determinó que esta característica responde a los factores especie ($p= 0,0473$) y marco de plantación ($p= 0,0254$). Para el factor especie, las mismas se distribuyen en dos categorías (Gráfico 13). La primera se encuentra compuesta por *Q. cerris* y *Q. pyrenaica* con el mayor número de rebrotes (14,75 y 12,75 respectivamente), y la segunda por *Q. petraea* y *Q. robur* (Yac), *Q. robur* (SA), que presentan los menores porcentajes de rebrotes, siendo los valores de estos 10,25, 8,25 y 6,25 respectivamente.

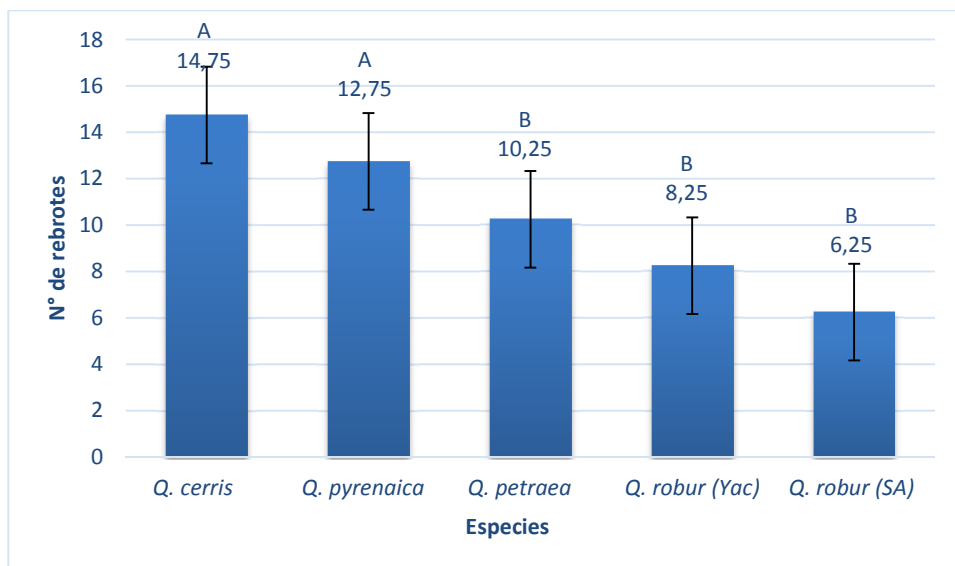


Gráfico 13: Variación del número de rebrotes en relación con las especies. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Las características genéticas influyen en la cantidad de rebrotes que genera una planta luego de la poda. Así por ejemplo, *Q. robur* se caracteriza por poseer un tronco libre de ramas y rebrote hasta la altura de la copa (URJC, 2010; Vignote Peña, 2014), coincidiendo con lo hallado en este estudio (menor cantidad de rebrotes). *Q. pyrenaica* y *Q. cerris* con las especies que poseen el mayor número de rebotes, lo que concuerda con numerosos autores que sostienen que estas especies se caracterizan por producir abundante ramificación (URJC, 2010 y García y Jiménez Mejías, 2009).

Aquellas especies que presentan mayor rebrote luego de ser podadas tienen la desventaja de poseer mayores gastos de repaso. Es interesante observar el cuadro 7, en el cual se observan los diferentes porcentajes de rebrotes, donde por ejemplo, eligiendo a *Q. cerris* en lugar de *Q. robur* (SA), se generaría un aumento de 136% en la tarea de eliminación de rebrotes, y por lo tanto, mayores gastos operativos.

Cuadro 7: Diferentes porcentaje de rebrotes (considerando 100% a *Q. robur* (SA) que posee el menor % de rebrote), de las especies estudiadas.

Especie	N° de rebrotes	Rebrotes (%)
<i>Q. cerris</i>	14,75	236
<i>Q. pyrenaica</i>	12,75	204
<i>Q. petraea</i>	10,25	164
<i>Q. robur</i> (Yac)	8,25	132
<i>Q. robur</i> (SA)	6,25	100

Para el factor densidad se encontró que a medida que esta aumenta (marco de plantación 3x3 m) se contabilizan menos rebrotes (gráfico 14). Esto puede deberse a que a mayor densidad llega menos luz al fuste, por lo que se induce un menor número de yemas. Por el contrario, con la mayor exposición a la luz (arreglo 4x4 m), se activan las yemas durmientes del fuste, que son las que producen los brotes epicórmicos (Hevia Cabal, 2008; Loewe, 2003 y Vignote Peña, 2014).

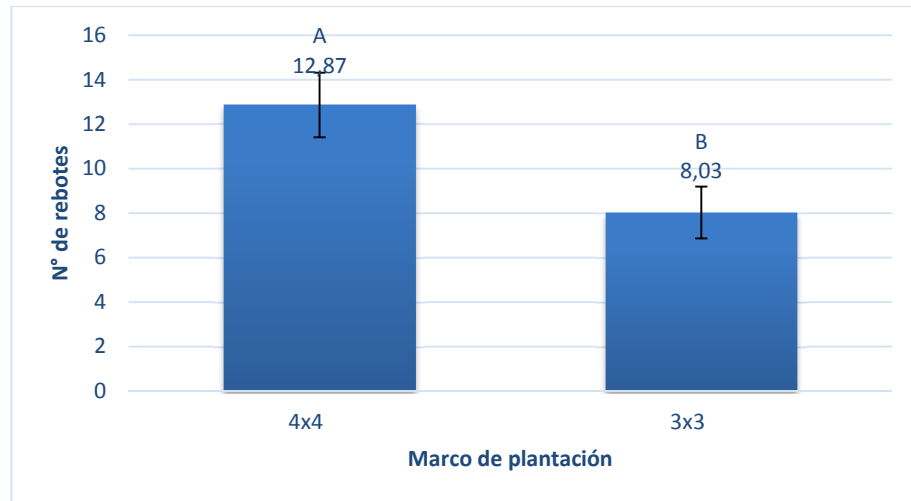


Gráfico 14: Variación del número de rebrotes en relación al marco de plantación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

La disposición de los árboles en marco de plantación mayor, produce un activo crecimiento de los brotes, follaje y raíces debido a la mayor penetración de luz y movimiento de aire debajo del dosel. Consecuentemente aumentan la cantidad de rebrotes y la población de malezas en el sotobosque (Armando Vásquez, 2001).

CONCLUSIONES

Se puede concluir que las especies evaluadas del género *Quercus* pueden ser cultivadas en la sierra de Comechingones, en sitios con características ambiente-suelo semejantes a las del sitio bajo estudio, exceptuando a *Q. palustris* que no se adaptó a las condiciones del sitio. La supervivencia del conjunto de las especies fue similar, diferenciándose en mayor medida con respecto al crecimiento (DAP, altura y volumen), donde *Q. robur* (ambas procedencias) presentó mayores DAP y altura, y por lo tanto, mayor volumen acumulado. En contraposición, las especies *Q. pyrenaica* y *Q. cerris* presentaron los menores valores de DAP y altura, y consecuentemente sus volúmenes fueron los menores.

En relación a las características fenotípicas, es posible concluir que *Q. robur* (Yac) fue la especie que expresó las mejores características, los individuos presentaron el ángulo de inserción más cercano a 90°, la menor cantidad de rebrotes y los fustes más esbeltos. Fue seguido por *Q. robur* (SA) y *Q. petraea*, que presentaron ángulos de inserción lejanos al ángulo recto y además el primero presentaba el fuste algo más tortuoso, mientras que el segundo se caracterizó por una mayor cantidad de rebrotes. *Q. cerris* y *Q. pyrenaica*, fueron las especies que mostraron la menor calidad fenotípica, con fustes tortuosos y abundante rebrote, características que desvalorizan la calidad de la madera. Por su parte *Q. pyrenaica*, fue la única especie que se diferenció en las relaciones AC/DAP y AC/h, presentando relaciones altas, las cuales indican que para el mismo tamaño de copa presentan un bajo crecimiento de diámetro y altura.

En cuanto al marco de plantación, este no ejerció efecto en gran parte de las variables, por tratarse de una plantación joven, con baja competencia. En el caso de la variable volumen, solo ejerció influencia en las parcelas en donde los individuos tocaban sus copas, como lo fue en aquellas pertenecientes a *Q. robur* (SA). El rebrote y la tortuosidad, fueron las otras características que se vieron afectadas por el marco de plantación, donde para la primera se contabilizó un menor número de rebrotes cuando la distancia entre individuos disminuía (marco de plantación 3x3), de la misma manera, con el menor arreglo los fustes tendían a ser más rectos.

En conclusión, es posible afirmar que la especie que reunió los mejores requisitos fue *Q. robur*, en donde, la procedencia Yacanto se caracterizó por presentar las mejores características fenotípicas, mientras que la procedencia San Ambrosio obtuvo el mayor volumen.

BIBLIOGRAFIA

ACEDO C. 2004. Taxonomía del género *Quercus* L. Especies presentes en la Península Ibérica. Dpto. Biología Vegetal. Área de Botánica. Universidad de León. Sp. Pl. 994. 1 Mai 1753. España.

ALVARADO ALVARADO G. y H. E. OCHOA FONSECA. 2006. Características fenotípicas de componentes de variedad Castillo en dos ambientes. *Cenicafé* 57(2):100-121.

AMO Del. R., C. y J. NIETO De P. 1983. *Aplicación de ecuaciones y modelos matemáticos en la evaluación en las tasas de crecimiento y determinación de la edad en árboles tropicales*. In: F. H. Bormann y G. Berlyn (Ed.). Edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales. Ed. Continental, Xalapa, Veracruz. México. Pp. 133-138.

ARIZAGA S., J. MARTÍNEZ-CRUZ, M. SALCEDO-CABRALES, M. Á. BELLO-GONZÁLEZ. 2009. *Manual de la Biodiversidad de encinos michoacanos*. 1^{ra} edición. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). México. ISBN: 978-968-817-921-5.

ARMANDO VASQUEZ V. 2001. *Silvicultura de plantaciones forestales en Colombia*. Universidad del Tolima. Facultad de Ingeniería Forestal. Ibagué, Tolima.

BAHILL, J., J.A. GORGAS, E. ZAMORA, H. BOSNERO, E. LOVERA, A. RAVELO Y J.L. TASSILE. 2006. *Recursos naturales de la provincia de Córdoba: Los Suelos*. Agencia Córdoba Ambiente y EEA INTA Manfredi. 590 p.

BALCORTA MARTÍNEZ, H. C. Y J. J. VARGAS HERNÁNDEZ. 2004. Variación fenotípica y selección de árboles en una plantación de melina (*Gmelina arborea* Linn., Roxb.) de tres años de edad. *Revista Chapingo, Serie ciencias forestales y del ambiente*, 10(1), 13-19.

BIANCO, C. A., T. A. KRAUS y C. O. NUÑEZ. 2006. *Botánica Agrícola*. Segunda edición actualizada. UNRC. 137p.

BRAVO OVIEDO A. y G. MONTERO GONZALES. 2008. Descripción de los caracteres culturales de las principales especies forestales de España. Ed: Serrada R, Montero G, Reque Ja. 102 p.

BURLEY, J. y P. WOOD. 1979. *Manual sobre investigaciones de especies y procedencias con referencia especial a los trópicos*. A manual on species and provenance research with particular reference to the tropics. Commonwealth Forestry Institute, Oxford (RU).

BURNS, R. M. y B. H. HONKALA. 1990. *Silvics of North America: Volume 2. Hardwoods*. United State United States Department of Agriculture (USDA), Forest Service, Agriculture Handbook 654.

BUSSONI A., M. BOSCANO, G. JOLOCHIN, G. ROMERO. 2012. Posibilidades de especies no tradicionales en predios familiares. Agroforestería en Montevideo Rural. Unidad de Montevideo Rural.

CABIDO, M.R. y M. R. ZAK. 1999. Vegetación del Norte de Córdoba. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables de la Provincia de Córdoba, Córdoba.

CALDERÓN, A. D. 2014. Cuadernos de Dasonomía. Serie Didáctica N° 18. Mensura Forestal Dasometría. En: http://campus.fca.uncu.edu.ar/pluginfile.php/19953/mod_resource/content/1/Mensura%20Forestal%205.pdf . Visto el: 2/10/2015.

CANTERO, J.J., M. PÄRTEL y M. ZOBEL. 1999. Is species richness dependent on the neighbouring stands. An analysis of the community patterns in mountain grasslands of central Argentina. *Oikos* 87: 346-354.

CANTERO, J.J. y R. J. C. LEÓN. 1999. The vegetation of saltmarshes in central Argentina. *Beiträge zur Biologie der Pflanzen* 71: 203-242.

CATANIA C. y S. AVAGNINA. 2007. Curso Superior de degustación de vinos. La Madera y el Vino. EEA Mendoza. INTA. Cap. 24.

CORVALÁN VERA P. y J. HERNÁNDEZ PALMA. 2016. Medición de copas y raíces. U. de Chile Apuntes de Dendrometría, Capítulo 3: Medición de copas y raíces. En: https://www.u-cursos.cl/forestal/2009/2/EF024/1/material_docente/bajar?id_material=481438. Visto el: 16/05/2016.

COSTAS, R., P. MAC DONAGH, E. WEBER, S. FIGUEREDO y P. IRSCHICK. 2005. Influencias de la densidad y podas sobre la producción de *Pinus taeda* L. a los 7 años de edad.

CRESPO A. y R. I. GARCÍA QUINTANA. 2013. *Manual de tipificación, inventario y gestión de rebollares*. Junta de Castilla y León. Soria, España. 151p.

DANIEL P. W., V. E. HELMS, F. S. BAKER. 1982. Principios de silvicultura. McGraw-Hill. USA.

DÍAZ- FERNANDEZ P. M., M. P. JIMENEZ SANCHO, S. MARTIN ALBERTOS, M. DE TUERO y REYNA, L. GIL SANCHEZ. 1995. Regiones de procedencia de *Quercus robur* L., *Quercus petraea* (Matt) Liebl. y *Quercus humulis* Miller. ICONA. España.

DÍAZ-MAROTO, I. J. y F. J. SILVA-PANDO. 1995. Ordenación de masas de *Quercus robur* L. en el noroeste peninsular. Centro de Investigaciones Forestais de Lourizan. Apdo. 127.36080 PONTEVEDRA. Cuadernos de la S.E.C.F., N° 1, pp. 21 1-219.

DI RENZO, J. A., F. CASANOVES, M. G. BALZARIN, L. GONZALEZ, M. TABLADA Y C. W. ROBLEDO. 2011. Infostat versión 2011, Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

ESPINOSA BANCALARI M. y F. MUÑOZ SAEZ. 2000. Silvicultura Aplicada I. Apuntes de Clase. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento Silvicultura.

FAO, 2012. El Estado de los Bosques del Mundo.

FIANDINO, S. I. Y PLEVICH J. O. 2014. Parametrización de funciones de crecimiento para *Pinus elliottii* del bosque comunal de la localidad de San Basilio, Córdoba, Argentina. En Libro de Resúmenes de las **XVI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales**. FCF, UNAM, El Dorado, Misiones. Pág.: 156-164.

GARCÍA I. Y P. JIMÉNEZ MEJÍAS. 2009. *Robledales de Quercus pyrenaica y Robledales de Quercus robur y Quercus pyrenaica del Noroeste Ibérico*. Primera edición. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. España.

GILMAN E. F. Y D. G. WATSON. 1994. *Quercus cerris*, Turkey Oak. Forest Service. Department of Agriculture. Southern Group of State Foresters. Fact Sheet ST-544. EUA.

GOOGLE EARTH. 2015. Imágenes de 24/9/2013. Visto 19/12/2015.

HEVIA CABAL, A. 2008. Ensayos de podas en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, *Pinus pinaster* Aiton y *Eucalyptus nitens* (Deane And Maiden) maiden en el noroeste de España. **III Jornada de difusión de resultados de Investigación**. Subdirección Xeral de montes e industrias Forestales, Consellería de medio rural grupo de investigación de Gestión Forestal Sostenible. Escuela politécnica superior de Lugo. Forestal, Feria forestal de Galicia, Palacio de Ferias y Exposiciones de Lugo.

IMAÑA, J., G. F. DA SILVA y J. R. R. PINTO. 2005. *Idade e crescimento das árvores*. Brasilia, Universidade de Brasilia, Depto. Engenharia Florestal. 47 p. (série Comunicacaciones Tecnicas Florestais 7(1)).

IMAÑA, E. y B. ENCINAS. 2008. *Edometría Forestal*. Brasilia: Universidad de Brasil, Departamento de Engenharia Florestal Merida: Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales.

JIMENEZ SANCHO, M. P., P. M. DÍAZ- FERNANDEZ, S. MARTIN ALBERTOS y L. GIL SANCHEZ. 1998. Regiones de Procedencia *Quercus pyrenaica* Willd. *Quercus faginea* Lam. *Quercus canariensis* Willd. Servicio de material genético. Dirección general de conservación de la naturaleza. Dpto. de Mejora y Biotecnología. CIFOR-INIA. Unidad de Anatomía, Fisiología y Genética. ETSI de Montes. UPM. Organismo Autónomo PARQUES NACIONALES. España.

KLEPAC D. 1983. *Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales*. Segunda edición. Universidad Autónoma de Chapingo. Dpto. de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Chapingo, México.

LAURIE, M. V. 1975. Prácticas de plantación de árboles en la sabana africana. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

LOEWE, M. V. 2003. *Arboricultura para producción de madera de alto valor, una nueva alternativa productiva para el sector silvoagropecuario Chileno*. Registro Propiedad Intelectual. Ed. Pacifico. 130.280 ISBN: 956-7727-97-X. Chile.

LUQUE E. L. 2008. *El cultivo de Fresno (Fraxinus pennsylvanica Marshall) y Roble (Quercus robur L.) en el Valle de Calamuchita, Córdoba, Argentina*. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

MAGRAMA. 2011. Inventario forestal: *Quercus cerris*. Pag 162-163. En: http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/Quercus_cerris_tcm7-175347.pdf. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente de España. Visto el: 06/05/2016.

MARAÑÓN T., R. VILLAR, J.L. QUERO Y I.M. PÉREZ-RAMOS. 2004. Actas de la I Reunión sobre Ecología, Ecofisiología y Suelos Forestales. Análisis del crecimiento de plántulas de *Quercus suber* y *Q. Canariensis*: Experimentos de campo y de invernadero. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 20: 87-92.

METRO, A. 1967. Silvicultura. Simposio mundial de la FAO sobre bosques artificiales. *Unasyva* 21 (86-87): 23-45.

MELO CRUZ O. A. Y R. VARGAS RÍOS. 2003. *Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos*. Primera edición. Universidad de Tolima. Ibagué. CRQ, CARDER, CORPOCALDAS, CORTOLIMA. ISBN 956-9243-03-07. Cap. 2.

MEYER, H., A. RECKNAGEL, D. STEVENSON y R. BARTOO. 1961. *Forest Management*. Ed. Ronald Press, Nueva York. 282 p.

MILLAR ORTIZ J. A. 2003. *Análisis del crecimiento diametral de ramas de Pinus radiata D. en distintos sitios, entre las regiones VII y IX*. Trabajo de Titulación presentado como parte de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Forestal. Valdivia, Chile.

MIRANDA R. A., J. M. GARCÍA DEL BARRIO, S. IGLESIAS SAUCE, J. A. MANCHA NÚÑEZ, J. DE MIGUEL Y DEL ÁNGEL, J. L. NICOLÁS PERAGÓN, F. PÉREZ MARTÍN y D. SÁNCHEZ DE RON. 2009. *Regiones de procedencia de especies forestales en*

España. Ed: Organismo Autónomo Parques Nacionales. ISBN: 978-84-8014-759-0. P. ° de la Castellana, 121. 28046 Madrid.

NARANJO, J. B., M. R. VEGA, J. R. RODRIGUEZ, R. A. RIVERA y A. V. CORONA. 2003. Estimación del diámetro de copa a partir del diámetro normal (d 1, 3) en plantaciones de Casuarina equisetifolia Forst. *Forest Systems*, 12(2), 37-41.

NAVARRO, R.M., DEL CAMPO, A.D. y CORTINA, J. 2006. *Factores que afectan al éxito de una repoblación y su relación con la calidad de la planta*. Cap. 2. In Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes Mediterráneos. Organismo autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.

OGGERO A., N. DE LUCA, E. NATALE Y M. ARANA. 2014. Caracterización y situación actual de los bosques nativos en el centro sur de Córdoba. *Voces del Fenix*. Año 5, numero 35. ISSN 1853-8819. Pág. 142-152.

OVIEDO, F. B., M. D. DOMÍNGUEZ Y M. DEL RÍO GAZTELURRUTIA. 2006. Modelos del tamaño de copa de *Pinus sylvestris* L. en bosques del centro de España. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 31(3), 168-175.

PLEVICH J. O. Y O. M. BAROTTO. 2001. Resultados y avances para la Región Central. Introducción de especies y procedencias de robles (*Quercus* sp.) en la región ecológica de sierras del S-O de la provincia de Córdoba. PIA 32/98. Investigación forestal al servicio de la producción II. Bloque 5. Pag. 239-260.

RAMÍREZ, M. H. y B. ZEPEDA. 1994. Rendimientos maderables de especies forestales; actualidades en México. **IV Reunión Nacional de Plantaciones Forestales**. SF y de FS/INIFAP, México.

RIVAROLA, A., R. SEILER Y M. VINOCUR. 2015. Datos climáticos de Las Guindas: serie de 15 años. Servicio de agrometeorología. FAV, UNRC.

SAN MIGUEL AYANZ, J., D. DE RIGO, G. CAUDULLO, T. HOUSTON DURRANT, A. MAURI, W. TINNER, D. BALLIAN, P. BECK, H.J.B. BIRKS, E. EATON, C.M. ENESCU, S. PASTA, I. POPESCU, C. RAVAZZI, E. WELK, R. ABAD VIÑAS, J.C. AZEVEDO, A. BARBATI, J.I. BARREDO, S.E. BENHAM, R. BOCA, C. BOSCO, M.C. CALDEIRA, S. CERASOLI, G. CHIRICI, A. CIERJACKS, M. CONEDERA, F. DA RONCH, M. DI LEO, J.I.

GARCÍA-VIÑAS, A. GASTÓN GONZÁLEZ, F. GIANNETTI, N. GUERRERO HUE, N. GUERRERO MALDONADO, M.J. LÓPEZ, R. JONSSON, P. KREBS, D. MAGNI, D. MUBAREKA, G. MULHERN, P. NIETO QUINTANO, S. OLIVEIRA, J.S. PEREIRA, M. PIVIDORI, M. RÄTY, F. RINALDI, S. SAURA, R. SIKKEMA, T. SITZIA, G. STRONA, C. VIDAL, L. VILAR, B. ZECCHIN. 2016. European Atlas of Forest Tree Species. *Quercus palustris in Europe: distribution, habitat, usage and threats*, por C. M. Enescu, T. Houston Durrant. European Commission.

SÁNCHEZ GÓMEZ D. 2007. *Respuesta de plántulas leñosas mediterráneas a la disponibilidad de luz y agua en condiciones experimentales*. Departamento de Ecología. Universidad de Alcalá, 28871. Alcalá de Henares. Madrid. España. *Ecosistemas* 16 (1): 119-123.

UGALDE, L. A. 1981. Conceptos básicos de dasometría. Programa de Recursos naturales Renovables, Turrialba. *INFORAT*. Costa Rica.

UNNE, 2010. *Core Eudicotiledoneas Clado Rosides. Biotaxonomía de Spermatofitas. Diversidad Vegetal*. Universidad Nacional del Nordeste. Facultad de ciencias Exactas, Naturales y Agrimensura. Corrientes, Argentina.

URJC, 2010. Planificación ambiental y desarrollo. Escuela superior de ciencias experimentales y tecnología. Botánica Forestal. Universidad Rey Juan Carlos. En: [http://www.escet.urjc.es/~pad/WEB2005/DOCENCIA/FAGS/5_BOTANICA%20FORESTAL%20\(I\).pdf](http://www.escet.urjc.es/~pad/WEB2005/DOCENCIA/FAGS/5_BOTANICA%20FORESTAL%20(I).pdf). Visto el: 13/11/2015.

VALLADARES ROS, F. 2004. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Capítulo 7: Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas de Villar R., J. Ruiz-Robledo, J. L. Quero, H. Poorter, F. Valladares y T. Marañón. Páginas 191-227. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. ISBN: 84-8014-552-8.

VEIGA, E. D., A. R GONZÁLEZ y M. B. ANTA. 2001. Crecimiento en volumen de árbol individual de *Quercus robur* L. en el norte de la provincia de Lugo. En **Congresos-CARGA FINAL**.

VERZINO, G.; J. JOSEAU, M. DORADO, E. GELLERT, S. RODRIGUEZ REARTES Y R. NÓBILE. 2005. Impacto de los incendios sobre la diversidad vegetal, Sierras de Córdoba, Argentina. *Ecología Aplicada* 4: 25-34.

VIGNOTE PEÑA S. 2014. Principales maderas de frondosas de España. Características, tecnología y aplicaciones. Archivo Digital UPM. Universidad Politécnica de Madrid. España.

VIGNOTE PEÑA S., I. MARTÍNEZ ROJAS, A. VILLASANTE PLAGARO. 2013. La silvicultura y la calidad de la madera. Curso inaugural de la ETSI de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. España.

VILLAR R., B. LOPEZ-IGLESIAS, P. RUIZ-BENITO, E.G DE LA RIVA y M.A. ZAVALA. 2014. Crecimiento de plántulas y árboles de seis especies de *Quercus*. Ecosistemas, revista científica de ecología y medio ambiente ISSN 1 697-2473. *Ecosistemas* 23(2): 64-72. Doi.: 1 0.781 8/ECOS.201 4.23-2.09.

VISCHI, N. B., A. J. OGGERO Y M. D. ARANA. 1999. Reserva florística "Las Guindas". Estudio previo a su establecimiento. *Revista Universidad Nacional de Río Cuarto* 19: 37-55.

VITA ALONSO, A. 1978. Los tratamientos silviculturales. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. 234 p.

WADSWORTH, F. H. 2000. *Producción Forestal para América Tropical*. Capítulo 7: Prácticas de manejo en Plantaciones. Departamento de Agricultura de los EE.UU. Servicio Forestal Manual de Agricultura 710-S. ISBN Number: 3-901347-28-3.

ANEXO

Anexo I: Número de especies en cada estado sanitario y porcentaje de sobrevivencia.

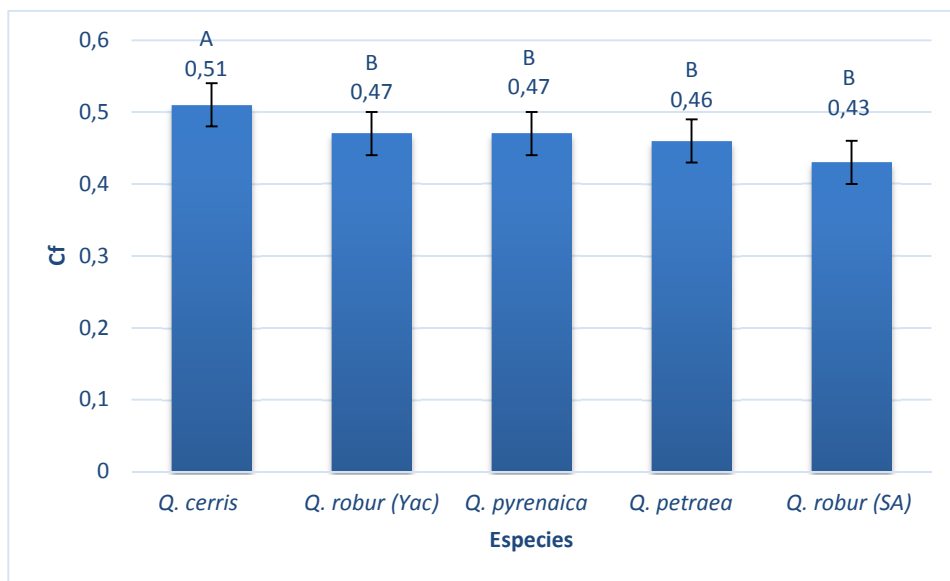
Especie	Parcela	Densidad	ES 1	ES 2	ES 3	ES 4	Sobrevivencia (%)
<i>Q. petraea</i>	1	4x4	18	3	7	0	75
<i>Q. petraea</i>	1	3x3	20	7	8	1	77,78
<i>Q. pyrenaica</i>	2	4x4	17	4	6	1	78,57
<i>Q. pyrenaica</i>	2	3x3	25	1	9	1	75
<i>Q. robur</i> (SA)	4	4x4	20	0	6	2	78,57
<i>Q. robur</i> (SA)	4	3x3	22	2	11	0	66,67
<i>Q. cerris</i>	5	4x4	12	4	9	2	64,29
<i>Q. cerris</i>	5	3x3	14	8	11	1	63,89
<i>Q. robur</i> (Yac)	6	4x4	22	0	6	0	78,57
<i>Q. robur</i> (Yac)	6	3x3	28	0	8	0	77,78
<i>Q. pyrenaica</i>	7	4x4	17	2	6	3	78,57
<i>Q. pyrenaica</i>	7	3x3	24	1	8	3	77,78
<i>Q. pyrenaica</i>	8	4x4	19	0	8	0	67,86
<i>Q. pyrenaica</i>	8	3x3	22	2	10	2	72,22
<i>Q. cerris</i>	9	4x4	21	0	7	0	75
<i>Q. cerris</i>	9	3x3	22	4	8	1	75
<i>Q. robur</i> (SA)	10	4x4	21	0	6	1	78,57
<i>Q. robur</i> (SA)	10	3x3	27	0	8	1	77,78
<i>Q. petraea</i>	11	4x4	18	4	6	0	78,57
<i>Q. petraea</i>	11	3x3	21	5	10	0	72,22
<i>Q. cerris</i>	12	4x4	9	8	10	0	60,71
<i>Q. cerris</i>	12	3x3	16	5	15	0	58,33
<i>Q. robur</i> (Yac)	13	4x4	16	2	10	0	64,29
<i>Q. robur</i> (Yac)	13	3x3	26	1	9	0	75
<i>Q. robur</i> (SA)	14	4x4	22	0	6	0	78,57
<i>Q. robur</i> (SA)	14	3x3	27	0	9	0	75
<i>Q. robur</i> (Yac)	15	4x4	15	3	8	0	64,29
<i>Q. robur</i> (Yac)	15	3x3	22	4	9	0	72,22
<i>Q. petraea</i>	16	4x4	16	0	12	0	57,14
<i>Q. petraea</i>	16	3x3	24	3	8	0	75
<i>Q. palustris</i>	3	4x4	0	0	0	0	0
<i>Q. palustris</i>	3	3x3	0	0	0	0	0
<i>Q. palustris</i>	17	4x4	0	0	0	0	0
<i>Q. palustris</i>	17	3x3	0	0	0	0	0
<i>Q. palustris</i>	18	4x4	0	0	0	0	0
<i>Q. palustris</i>	18	3x3	0	0	0	0	0

Referencias	
ES	Estado Sanitario
1	Sano
2	Poco desarrollo
3	Muerto
4	Queb/bif

Anexo 2: Resultados del cálculo del coeficiente de forma (Cf).

Se encontraron evidencias estadísticamente significativa de que el Cf difiere de acuerdo a la especie ($p = 0.0355$) y la clase diamétrica ($p < 0.0001$). Estos resultados coinciden con los encontrados por otros autores, quienes indican que la conicidad de los árboles varía ampliamente de acuerdo a la especie, edad y tamaño de los árboles, a los factores asociados al manejo del rodal y a las condiciones de sitio (Cancino, 2006; Cellini, 2004 y Wadsworth, 2000). Así por ejemplo, aquellos manejos que favorezcan el crecimiento del diámetro o la altura modificaran el Cf. Tal es el caso de los fertilizantes, los cuales aumentan el DAP del árbol más que la altura y por consiguiente aumentan el ahusamiento del fuste, reduciendo el factor de forma (Wadsworth, 2000).

Se encontró un grupo de especies con similares valores de conicidad (B) integrado por *Q. robur* (Yac), *Q. pyrenaica*, *Q. petraea* y *Q. robur* (SA) y una especie (*Q. Cerris*) con valores superiores a los del resto de las especies ensayadas (A). En el siguiente gráfico se observan los resultados encontrados.

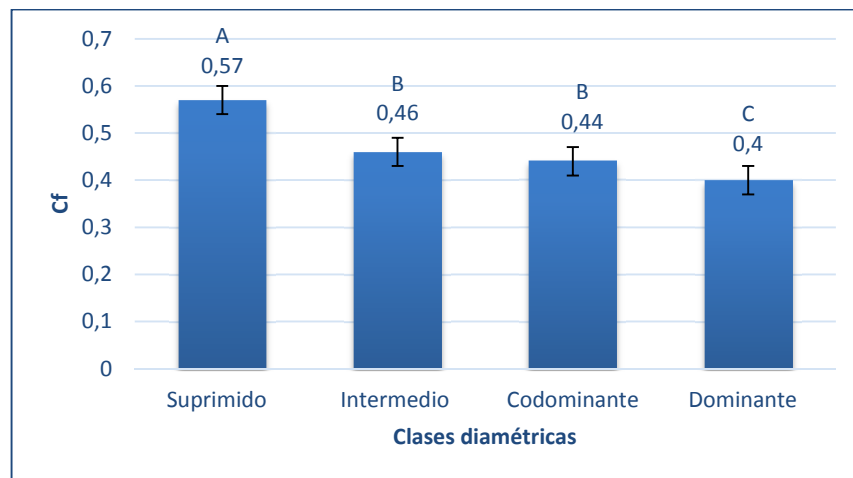


Variación del coeficiente de forma de acuerdo a la especie. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

La forma del tronco, está muy asociada a la especie, la cual posee una tendencia hacia una determinada forma característica (Armijos Guzman, 2013; Cellini, 2004). Para las condiciones del sitio bajo estudio, en general, el género *Quercus*, presenta un Cf entre 0,43 y 0,47, exceptuando a *Q. cerris* que posee un Cf mayor (0,51). Esto podría deberse a la baja densidad en

las parcelas de esta especie (por su menor porcentaje de supervivencia), en donde los diámetros medios de los árboles aumentan en mayor medida que su altura, a diferencia de lo que ocurre en casos con una mayor densidad de árboles.

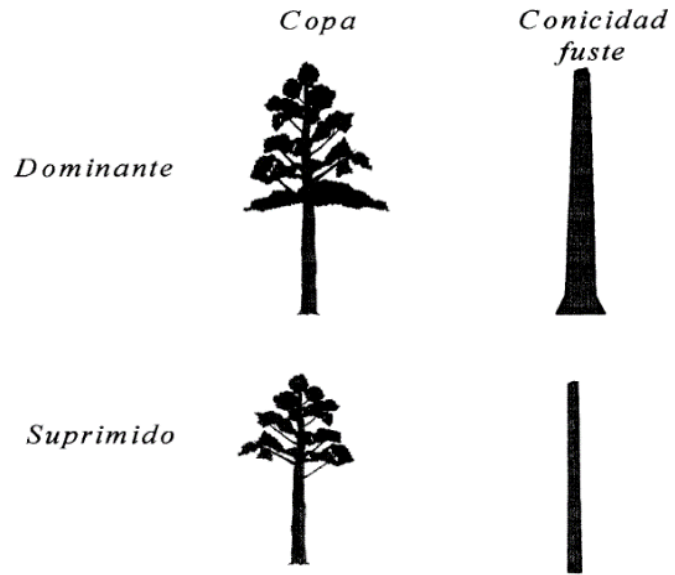
En cuanto a la variación de Cf con las clases diamétricas, se encontraron tres grupos estadísticamente diferentes, los cuales se observan en el siguiente gráfico. Los individuos suprimidos poseen el mayor Cf (grupo A), mientras que los individuos dominantes el menor (grupo C). Los árboles intermedios y codominantes se encuentran en una situación intermedia (grupo B), no siendo estos significativamente diferentes entre sí.



Variación del coeficiente de forma de acuerdo a la clase. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

El Cf es inversamente proporcional al diámetro del árbol, esto quiere decir, que disminuye a medida que aumenta el DAP; es por esto que la clase diamétrica Suprimidos presenta el mayor valor de Cf, mientras que la clase Dominantes presenta el menor valor (Cantero Amiano, 2013; Cellini, 2004; Corrales Solís; 2012 y Toledo Castelo, 2011). Cantero Amiano (2013), en distintos inventarios forestales realizados en Álava, encontró que el Cf de haya (*Fagus sylvatica*), disminuye en la medida que aumenta el DAP de los árboles.

Los árboles de la clase suprimidos se caracterizan por presentar menor conicidad (Armijos Guzman, 2013), esto es debido a que concentran el crecimiento en la zona superior del fuste (Espinosa Bancalari y Muñoz Saez, 2000). Mientras que los dominantes, crecen proporcionalmente más en altura que en diámetro, creando un fuste más ahusado (Cellini, 2004). En la siguiente figura es posible apreciar la diferencia en la forma del fuste, entre árboles dominantes y suprimidos (Wilson, 1970).



Características de conicidad de árboles dominantes y suprimidos (Wilson, 1970).

Anexo 3: Diámetros del fuste [cm] medidos a diferentes alturas, a todos los árboles representativos de cada clase diamétrica.

Especie	Clases diamétricas	Código	0,3 m	1,3 m	2,3 m	3,3 m	4 m
<i>Q. petraea</i>	Suprimido	P01A10	10,82	7,64	7,96	3,98	s/d
<i>Q. petraea</i>	Intermedio	P01A04	14,96	9,55	9,87	7,64	4,62
<i>Q. petraea</i>	Codominante	P01A18	17,19	12,41	10,82	9,71	s/d
<i>Q. petraea</i>	Dominante	P01A02	21,00	16,87	13,37	9,23	8,91
<i>Q. petraea</i>	Suprimido	P01B33	12,41	7,32	6,53	5,73	5,41
<i>Q. petraea</i>	Intermedio	P01B29	14,96	9,55	6,68	6,84	6,21
<i>Q. petraea</i>	Codominante	P01B39	18,14	11,14	10,50	8,59	7,16
<i>Q. petraea</i>	Dominante	P01B57	21,33	14,96	14,01	11,78	10,66
<i>Q. pyrenaica</i>	Suprimido	P02A27	11,46	6,53	4,98	3,50	s/d
<i>Q. pyrenaica</i>	Intermedio	P02A11	13,69	9,23	7,32	5,09	s/d
<i>Q. pyrenaica</i>	Codominante	P02A09	17,83	12,73	12,30	10,98	9,23
<i>Q. pyrenaica</i>	Dominante	P02A25	21,46	14,96	11,71	8,59	6,37
<i>Q. pyrenaica</i>	Suprimido	P02B32	10,18	6,52	4,83	2,55	s/d
<i>Q. pyrenaica</i>	Intermedio	P02B60	14,64	10,18	9,37	8,28	5,73
<i>Q. pyrenaica</i>	Codominante	P02B42	19,74	13,36	12,30	7,16	4,93
<i>Q. pyrenaica</i>	Dominante	P02B59	24,51	20,05	17,27	15,60	14,32
<i>Q. robur</i> (SA)	Suprimido	P04A16	10,50	6,68	6,15	5,73	4,87
<i>Q. robur</i> (SA)	Intermedio	P04A15	16,55	11,45	9,22	s/d	s/d
<i>Q. robur</i> (SA)	Codominante	P04A03	17,82	14,16	12,73	10,03	8,59
<i>Q. robur</i> (SA)	Dominante	P04A23	24,16	17,34	14,93	14,01	13,37
<i>Q. robur</i> (SA)	Suprimido	P04B46	10,82	6,84	6,73	6,21	5,41
<i>Q. robur</i> (SA)	Intermedio	P04B32	13,37	10,50	7,90	7,80	7,16
<i>Q. robur</i> (SA)	Codominante	P04B62	17,19	12,73	10,83	9,55	8,91
<i>Q. robur</i> (SA)	Dominante	P04B39	20,37	17,19	13,76	12,73	13,05
<i>Q. cerris</i>	Suprimido	P05A11	7,93	4,77	3,22	s/d	s/d
<i>Q. cerris</i>	Intermedio	P05A23	11,78	7,63	6,44	6,05	5,41
<i>Q. cerris</i>	Codominante	P05A17	17,50	10,50	8,78	7,96	6,05
<i>Q. cerris</i>	Dominante	P05A12	21,32	14,96	11,86	11,14	7,32
<i>Q. cerris</i>	Suprimido	P05B40	7,63	4,77	2,49	s/d	s/d
<i>Q. cerris</i>	Intermedio	P05B31	15,60	9,55	8,49	8,59	7,64
<i>Q. cerris</i>	Codominante	P05B42	15,60	11,14	7,76	5,57	3,98
<i>Q. cerris</i>	Dominante	P05B35	23,87	18,62	16,39	17,83	12,73
<i>Q. robur</i> (Yac)	Suprimido	P06A16	17,83	11,46	13,47	11,78	11,46
<i>Q. robur</i> (Yac)	Intermedio	P06A24	18,46	14,64	12,59	12,73	11,78
<i>Q. robur</i> (Yac)	Codominante	P06A22	25,46	17,19	18,74	19,10	17,83
<i>Q. robur</i> (Yac)	Dominante	P06A23	22,92	19,42	16,98	17,35	17,19

<i>Q. robur</i> (Yac)	Suprimido	P06B33	12,10	9,23	7,90	7,96	7,32
<i>Q. robur</i> (Yac)	Intermedio	P06B42	14,64	11,30	10,25	10,50	9,55
<i>Q. robur</i> (Yac)	Codominante	P06B44	19,42	14,32	13,17	13,69	12,73
<i>Q. robur</i> (Yac)	Dominante	P06B43	20,69	16,55	13,76	14,16	13,21
<i>Q. pyrenaica</i>	Suprimido	P07A17	10,18	5,73	5,85	3,50	s/d
<i>Q. pyrenaica</i>	Intermedio	P07A25	13,69	8,91	8,20	6,05	5,73
<i>Q. pyrenaica</i>	Codominante	P07A08	17,19	11,46	8,49	6,84	6,37
<i>Q. pyrenaica</i>	Dominante	P07A23	21,96	18,14	12,88	8,28	7,00
<i>Q. pyrenaica</i>	Suprimido	P07B49	9,23	6,04	s/d	s/d	s/d
<i>Q. pyrenaica</i>	Intermedio	P07B64	11,45	8,27	5,41	3,98	s/d
<i>Q. pyrenaica</i>	Codominante	P07B44	14,64	10,18	6,73	5,09	4,30
<i>Q. pyrenaica</i>	Dominante	P07B48	17,19	12,41	11,71	10,98	10,19
<i>Q. pyrenaica</i>	Suprimido	P08A17	11,14	6,37	6,44	3,82	s/d
<i>Q. pyrenaica</i>	Intermedio	P08A25	12,74	8,59	6,44	6,68	s/d
<i>Q. pyrenaica</i>	Codominante	P08A09	15,92	10,18	10,10	7,64	6,05
<i>Q. pyrenaica</i>	Dominante	P08A12	14,69	11,46	10,10	8,59	5,73
<i>Q. pyrenaica</i>	Suprimido	P08B32	10,18	5,89	5,27	4,46	s/d
<i>Q. pyrenaica</i>	Intermedio	P08B57	11,14	8,27	5,71	4,30	s/d
<i>Q. pyrenaica</i>	Codominante	P08B60	15,92	10,50	10,39	8,28	s/d
<i>Q. pyrenaica</i>	Dominante	P08B64	15,59	13,05	12,41	12,10	7,00
<i>Q. cerris</i>	Suprimido	P09A11	12,73	8,91	7,76	5,41	s/d
<i>Q. cerris</i>	Intermedio	P09A25	16,55	12,41	10,39	8,28	7,32
<i>Q. cerris</i>	Codominante	P09A08	21,00	15,28	12,44	12,89	9,71
<i>Q. cerris</i>	Dominante	P09A17	21,96	20,37	19,03	15,12	13,53
<i>Q. cerris</i>	Suprimido	P09B51	8,59	6,36	5,42	4,14	s/d
<i>Q. cerris</i>	Intermedio	P09B63	14,00	10,50	7,90	5,09	7,16
<i>Q. cerris</i>	Codominante	P09B33	15,91	13,53	10,25	6,53	8,28
<i>Q. cerris</i>	Dominante	P09B41	27,07	19,86	16,69	14,96	12,73
<i>Q. robur</i> (SA)	Suprimido	P10A22	9,23	6,05	5,71	5,25	4,30
<i>Q. robur</i> (SA)	Intermedio	P10A28	14,64	10,34	9,37	8,75	7,96
<i>Q. robur</i> (SA)	Codominante	P10A26	19,42	13,36	13,32	12,10	11,46
<i>Q. robur</i> (SA)	Dominante	P10A25	23,55	17,18	15,66	15,76	14,96
<i>Q. robur</i> (SA)	Suprimido	P10B30	11,46	8,11	8,05	7,32	7,64
<i>Q. robur</i> (SA)	Intermedio	P10B57	17,50	12,57	21,66	13,05	10,19
<i>Q. robur</i> (SA)	Codominante	P1B051	22,92	16,39	15,22	15,92	15,92
<i>Q. robur</i> (SA)	Dominante	P10B46	30,55	22,28	12,00	21,80	21,17
<i>Q. petraea</i>	Suprimido	P11A26	11,14	7,32	7,61	4,30	3,50
<i>Q. petraea</i>	Intermedio	P11A22	16,55	11,78	9,37	8,44	7,48
<i>Q. petraea</i>	Codominante	P11A17	18,78	15,60	12,59	12,10	9,87
<i>Q. petraea</i>	Dominante	P11A24	30,88	24,51	6,15	23,24	13,21

<i>Q. petraea</i>	Suprimido	P11B63	10,82	7,63	7,46	4,93	3,50
<i>Q. petraea</i>	Intermedio	P11B38	14,32	11,14	7,76	6,68	6,37
<i>Q. petraea</i>	Codominante	P11B46	19,09	14,00	12,00	11,14	10,19
<i>Q. petraea</i>	Dominante	P11B31	25,46	16,23	12,44	12,57	9,55
<i>Q. cerris</i>	Suprimido	P12A18	7,00	3,98	3,51	2,55	s/d
<i>Q. cerris</i>	Intermedio	P12A11	7,32	4,13	s/d	s/d	s/d
<i>Q. cerris</i>	Codominante	P12A14	11,14	6,37	5,56	3,82	s/d
<i>Q. cerris</i>	Dominante	P12A27	10,82	7,00	6,15	5,41	s/d
<i>Q. cerris</i>	Suprimido	P12B30	8,59	4,56	4,10	3,18	s/d
<i>Q. cerris</i>	Intermedio	P12B49	10,50	5,73	s/d	s/d	s/d
<i>Q. cerris</i>	Codominante	P12B44	13,37	8,91	6,44	3,50	s/d
<i>Q. cerris</i>	Dominante	P12B58	16,55	10,82	9,66	9,55	7,48
<i>Q. robur</i> (Yac)	Suprimido	P13A14	8,59	5,09	4,68	3,50	s/d
<i>Q. robur</i> (Yac)	Intermedio	P13A11	12,09	9,23	8,49	8,28	6,53
<i>Q. robur</i> (Yac)	Codominante	P13A09	14,32	11,14	9,81	9,71	9,23
<i>Q. robur</i> (Yac)	Dominante	P13A15	15,60	12,73	11,12	9,71	9,23
<i>Q. robur</i> (Yac)	Suprimido	P13B43	8,28	5,41	4,98	4,30	s/d
<i>Q. robur</i> (Yac)	Intermedio	P13B64	11,14	9,55	7,03	6,68	6,21
<i>Q. robur</i> (Yac)	Codominante	P13B51	15,28	12,41	9,51	10,82	8,59
<i>Q. robur</i> (Yac)	Dominante	P13B59	21,96	16,87	15,08	15,44	14,80
<i>Q. robur</i> (SA)	Suprimido	P14A25	10,50	6,37	5,27	3,34	s/d
<i>Q. robur</i> (SA)	Intermedio	P14A13	15,28	11,78	10,25	9,71	9,71
<i>Q. robur</i> (SA)	Codominante	P14A02	19,42	17,35	15,22	14,32	13,85
<i>Q. robur</i> (SA)	Dominante	P14A01	29,92	25,15	21,66	19,89	11,94
<i>Q. robur</i> (SA)	Suprimido	P14B41	14,32	10,50	9,07	9,07	7,96
<i>Q. robur</i> (SA)	Intermedio	P14B50	13,05	14,00	15,22	13,37	14,16
<i>Q. robur</i> (SA)	Codominante	P14B56	19,10	16,23	12,88	11,94	11,46
<i>Q. robur</i> (SA)	Dominante	P14B38	25,78	20,53	17,86	17,35	16,71
<i>Q. robur</i> (Yac)	Suprimido	P15A13	10,82	6,68	6,73	5,89	4,77
<i>Q. robur</i> (Yac)	Intermedio	P15A24	14,64	10,18	9,66	7,96	7,00
<i>Q. robur</i> (Yac)	Codominante	P15A10	18,46	12,09	11,42	10,66	9,87
<i>Q. robur</i> (Yac)	Dominante	P15A04	24,19	17,51	16,98	15,44	12,10
<i>Q. robur</i> (Yac)	Suprimido	P15B51	9,87	5,73	5,27	3,66	3,02
<i>Q. robur</i> (Yac)	Intermedio	P15B40	13,37	8,27	8,05	6,84	6,21
<i>Q. robur</i> (Yac)	Codominante	P15B56	15,28	10,98	9,37	10,19	7,32
<i>Q. robur</i> (Yac)	Dominante	P15B50	21,00	14,32	13,17	12,89	9,87
<i>Q. petraea</i>	Suprimido	P16A24	9,87	6,68	6,29	4,14	s/d
<i>Q. petraea</i>	Intermedio	P16A08	14,64	9,71	9,07	8,59	6,37
<i>Q. petraea</i>	Codominante	P16A23	17,83	13,36	11,12	8,28	5,41
<i>Q. petraea</i>	Dominante	P16A26	31,19	16,55	19,32	19,89	18,14

<i>Q. petraea</i>	Suprimido	P16B40	11,14	5,73	5,85	3,18	s/d
<i>Q. petraea</i>	Intermedio	P16B45	13,37	8,59	8,78	6,53	5,57
<i>Q. petraea</i>	Codominante	P16B48	17,83	11,78	10,83	11,30	8,75
<i>Q. petraea</i>	Dominante	P16B31	17,19	14,64	11,42	11,94	10,50

Códigos		Ejemplo código: P01A10
P	Parcela	Parcela
Nº	Número de parcela	1
A	Arreglo 4x4	Arreglo 4x4
B	Arreglo 3x3	
Nº	Número de árbol	Árbol 10

Anexo 4: Volumen real y volumen aparente de los árboles representativos de cada clase diamétrica.

Especie	Clases diamétricas	Código	Vap [m ³]	V real [m ³]	Cf
<i>Q. petraea</i>	Suprimido	P01A10	0,0287	0,0160	0,5584
<i>Q. petraea</i>	Intermedio	P01A04	0,0537	0,0300	0,5590
<i>Q. petraea</i>	Codominante	P01A18	0,1077	0,0504	0,4683
<i>Q. petraea</i>	Dominante	P01A02	0,1900	0,0709	0,3734
<i>Q. petraea</i>	Suprimido	P01B33	0,0332	0,0196	0,5891
<i>Q. petraea</i>	Intermedio	P01B29	0,0566	0,0266	0,4708
<i>Q. petraea</i>	Codominante	P01B39	0,0828	0,0430	0,5191
<i>Q. petraea</i>	Dominante	P01B57	0,1758	0,0790	0,4495
<i>Q. pyrenaica</i>	Suprimido	P02A27	0,0251	0,0123	0,4889
<i>Q. pyrenaica</i>	Intermedio	P02A11	0,0552	0,0193	0,3492
<i>Q. pyrenaica</i>	Codominante	P02A09	0,1082	0,0563	0,5208
<i>Q. pyrenaica</i>	Dominante	P02A25	0,1494	0,0573	0,3832
<i>Q. pyrenaica</i>	Suprimido	P02B32	0,0150	0,0097	0,6456
<i>Q. pyrenaica</i>	Intermedio	P02B60	0,0570	0,0315	0,5529
<i>Q. pyrenaica</i>	Codominante	P02B42	0,1086	0,0477	0,4388
<i>Q. pyrenaica</i>	Dominante	P02B59	0,3473	0,1344	0,3870
<i>Q. robur</i> (SA)	Suprimido	P04A16	0,0272	0,0157	0,5764
<i>Q. robur</i> (SA)	Intermedio	P04A15	0,0849	0,0376	0,4431
<i>Q. robur</i> (SA)	Codominante	P04A03	0,1496	0,0603	0,4033
<i>Q. robur</i> (SA)	Dominante	P04A23	0,2834	0,1195	0,4216
<i>Q. robur</i> (SA)	Suprimido	P04B46	0,0312	0,0181	0,5792
<i>Q. robur</i> (SA)	Intermedio	P04B32	0,0823	0,0334	0,4065
<i>Q. robur</i> (SA)	Codominante	P04B62	0,1177	0,0527	0,4479
<i>Q. robur</i> (SA)	Dominante	P04B39	0,2901	0,1078	0,3715
<i>Q. cerris</i>	Suprimido	P05A11	0,0089	0,0054	0,6040
<i>Q. cerris</i>	Intermedio	P05A23	0,0366	0,0196	0,5356
<i>Q. cerris</i>	Codominante	P05A17	0,0758	0,0365	0,4821
<i>Q. cerris</i>	Dominante	P05A12	0,1582	0,0632	0,3998
<i>Q. cerris</i>	Suprimido	P05B40	0,0094	0,0048	0,5110
<i>Q. cerris</i>	Intermedio	P05B31	0,0623	0,0361	0,5792
<i>Q. cerris</i>	Codominante	P05B42	0,0731	0,0280	0,3829
<i>Q. cerris</i>	Dominante	P05B35	0,2859	0,1240	0,4336
<i>Q. robur</i> (Yac)	Suprimido	P06A16	0,1227	0,0771	0,6279
<i>Q. robur</i> (Yac)	Intermedio	P06A24	0,2062	0,0873	0,4231
<i>Q. robur</i> (Yac)	Codominante	P06A22	0,3133	0,1883	0,6011
<i>Q. robur</i> (Yac)	Dominante	P06A23	0,3406	0,1591	0,4671

<i>Q. robur</i> (Yac)	Suprimido	P06B33	0,0736	0,0329	0,4466
<i>Q. robur</i> (Yac)	Intermedio	P06B42	0,1254	0,0569	0,4535
<i>Q. robur</i> (Yac)	Codominante	P06B44	0,1892	0,0944	0,4988
<i>Q. robur</i> (Yac)	Dominante	P06B43	0,2474	0,1056	0,4270
<i>Q. pyrenaica</i>	Suprimido	P07A17	0,0174	0,0109	0,6279
<i>Q. pyrenaica</i>	Intermedio	P07A25	0,0514	0,0259	0,5029
<i>Q. pyrenaica</i>	Codominante	P07A08	0,0748	0,0353	0,4716
<i>Q. pyrenaica</i>	Dominante	P07A23	0,2326	0,0702	0,3016
<i>Q. pyrenaica</i>	Suprimido	P07B49	0,0090	0,0065	0,7252
<i>Q. pyrenaica</i>	Intermedio	P07B64	0,0376	0,0150	0,3983
<i>Q. pyrenaica</i>	Codominante	P07B44	0,0631	0,0242	0,3831
<i>Q. pyrenaica</i>	Dominante	P07B48	0,1149	0,0603	0,5249
<i>Q. pyrenaica</i>	Suprimido	P08A17	0,0191	0,0129	0,6758
<i>Q. pyrenaica</i>	Intermedio	P08A25	0,0435	0,0221	0,5083
<i>Q. pyrenaica</i>	Codominante	P08A09	0,0610	0,0344	0,5628
<i>Q. pyrenaica</i>	Dominante	P08A12	0,0825	0,0361	0,4371
<i>Q. pyrenaica</i>	Suprimido	P08B32	0,0198	0,0118	0,5978
<i>Q. pyrenaica</i>	Intermedio	P08B57	0,0282	0,0145	0,5132
<i>Q. pyrenaica</i>	Codominante	P08B60	0,0714	0,0387	0,5411
<i>Q. pyrenaica</i>	Dominante	P08B64	0,1070	0,0513	0,4792
<i>Q. cerris</i>	Suprimido	P09A11	0,0452	0,0215	0,4757
<i>Q. cerris</i>	Intermedio	P09A25	0,1028	0,0437	0,4250
<i>Q. cerris</i>	Codominante	P09A08	0,1650	0,0738	0,4474
<i>Q. cerris</i>	Dominante	P09A17	0,3748	0,1362	0,3634
<i>Q. cerris</i>	Suprimido	P09B51	0,0214	0,0106	0,4942
<i>Q. cerris</i>	Intermedio	P09B63	0,0888	0,0328	0,3695
<i>Q. cerris</i>	Codominante	P09B33	0,1330	0,0467	0,3512
<i>Q. cerris</i>	Dominante	P09B41	0,3330	0,1297	0,3894
<i>Q. robur</i> (SA)	Suprimido	P10A22	0,0230	0,0131	0,5680
<i>Q. robur</i> (SA)	Intermedio	P10A28	0,0882	0,0413	0,4688
<i>Q. robur</i> (SA)	Codominante	P10A26	0,1682	0,0836	0,4972
<i>Q. robur</i> (SA)	Dominante	P10A25	0,2782	0,1338	0,4811
<i>Q. robur</i> (SA)	Suprimido	P10B30	0,0478	0,0286	0,5989
<i>Q. robur</i> (SA)	Intermedio	P10B57	0,1489	0,0972	0,6530
<i>Q. robur</i> (SA)	Codominante	P1B051	0,3112	0,1551	0,4984
<i>Q. robur</i> (SA)	Dominante	P10B46	0,5848	0,2600	0,4447
<i>Q. petraea</i>	Suprimido	P11A26	0,0295	0,0162	0,5487
<i>Q. petraea</i>	Intermedio	P11A22	0,1035	0,0429	0,4143
<i>Q. petraea</i>	Codominante	P11A17	0,1911	0,0731	0,3827
<i>Q. petraea</i>	Dominante	P11A24	0,5426	0,1627	0,2999

<i>Q. petraea</i>	Suprimido	P11B63	0,0361	0,0168	0,4640
<i>Q. petraea</i>	Intermedio	P11B38	0,0853	0,0317	0,3713
<i>Q. petraea</i>	Codominante	P11B46	0,1616	0,0698	0,4319
<i>Q. petraea</i>	Dominante	P11B31	0,2172	0,0869	0,3999
<i>Q. cerris</i>	Suprimido	P12A18	0,0068	0,0048	0,6965
<i>Q. cerris</i>	Intermedio	P12A11	0,0057	0,0041	0,7186
<i>Q. cerris</i>	Codominante	P12A14	0,0183	0,0120	0,6548
<i>Q. cerris</i>	Dominante	P12A27	0,0269	0,0154	0,5717
<i>Q. cerris</i>	Suprimido	P12B30	0,0110	0,0072	0,6498
<i>Q. cerris</i>	Intermedio	P12B49	0,0116	0,0084	0,7212
<i>Q. cerris</i>	Codominante	P12B44	0,0421	0,0181	0,4301
<i>Q. cerris</i>	Dominante	P12B58	0,0690	0,0400	0,5805
<i>Q. robur</i> (Yac)	Suprimido	P13A14	0,0127	0,0081	0,6356
<i>Q. robur</i> (Yac)	Intermedio	P13A11	0,0485	0,0275	0,5660
<i>Q. robur</i> (Yac)	Codominante	P13A09	0,0902	0,0457	0,5069
<i>Q. robur</i> (Yac)	Dominante	P13A15	0,1145	0,0518	0,4521
<i>Q. robur</i> (Yac)	Suprimido	P13B43	0,0144	0,0091	0,6325
<i>Q. robur</i> (Yac)	Intermedio	P13B64	0,0663	0,0253	0,3811
<i>Q. robur</i> (Yac)	Codominante	P13B51	0,1240	0,0503	0,4058
<i>Q. robur</i> (Yac)	Dominante	P13B59	0,2235	0,1155	0,5167
<i>Q. robur</i> (SA)	Suprimido	P14A25	0,0207	0,0111	0,5345
<i>Q. robur</i> (SA)	Intermedio	P14A13	0,1144	0,0339	0,2959
<i>Q. robur</i> (SA)	Codominante	P14A02	0,2837	0,0704	0,2480
<i>Q. robur</i> (SA)	Dominante	P14A01	0,6905	0,1435	0,2077
<i>Q. robur</i> (SA)	Suprimido	P14B41	0,0823	0,0287	0,3486
<i>Q. robur</i> (SA)	Intermedio	P14B50	0,1770	0,0522	0,2950
<i>Q. robur</i> (SA)	Codominante	P14B56	0,2172	0,0576	0,2650
<i>Q. robur</i> (SA)	Dominante	P14B38	0,3559	0,1043	0,2932
<i>Q. robur</i> (Yac)	Suprimido	P15A13	0,0272	0,0140	0,5146
<i>Q. robur</i> (Yac)	Intermedio	P15A24	0,0814	0,0281	0,3454
<i>Q. robur</i> (Yac)	Codominante	P15A10	0,1062	0,0427	0,4020
<i>Q. robur</i> (Yac)	Dominante	P15A04	0,2649	0,0856	0,3232
<i>Q. robur</i> (Yac)	Suprimido	P15B51	0,0174	0,0095	0,5446
<i>Q. robur</i> (Yac)	Intermedio	P15B40	0,0430	0,0206	0,4796
<i>Q. robur</i> (Yac)	Codominante	P15B56	0,0781	0,0325	0,4155
<i>Q. robur</i> (Yac)	Dominante	P15B50	0,1772	0,0581	0,3282
<i>Q. petraea</i>	Suprimido	P16A24	0,0237	0,0127	0,5352
<i>Q. petraea</i>	Intermedio	P16A08	0,0592	0,0272	0,4595
<i>Q. petraea</i>	Codominante	P16A23	0,1157	0,0408	0,3527
<i>Q. petraea</i>	Dominante	P16A26	0,2259	0,1077	0,4768

<i>Q. petraea</i>	Suprimido	P16B40	0,0155	0,0113	0,7277
<i>Q. petraea</i>	Intermedio	P16B45	0,0478	0,0217	0,4542
<i>Q. petraea</i>	Codominante	P16B48	0,1063	0,0411	0,3870
<i>Q. petraea</i>	Dominante	P16B31	0,1515	0,0482	0,3181

Anexo 5: Radio de la copa [m] de las especies estudiadas del género *Quercus*, medido hacia los distintos puntos cardinales.

Especie	Clase diamétrica	Código	Sur	Norte	Este	Oeste
<i>Q. petraea</i>	Suprimido	P01A10	1,07	1,8	1,03	0,73
<i>Q. petraea</i>	Intermedio	P01A04	1,6	1,1	1,38	1,37
<i>Q. petraea</i>	Codominante	P01A18	1,05	1,64	1,46	1,16
<i>Q. petraea</i>	Dominante	P01A02	2,59	3,55	1,88	2,9
<i>Q. petraea</i>	Suprimido	P01B33	1,28	1,34	1,02	1,39
<i>Q. petraea</i>	Intermedio	P01B29	1,5	2,37	1,71	1,34
<i>Q. petraea</i>	Codominante	P01B39	1,85	2,6	2,4	1,87
<i>Q. petraea</i>	Dominante	P01B57	2,98	2,96	1,7	1,96
<i>Q. pyrenaica</i>	Suprimido	P02A27	1,84	2,27	1,78	1,57
<i>Q. pyrenaica</i>	Intermedio	P02A11	2,2	1,85	2,22	1,9
<i>Q. pyrenaica</i>	Codominante	P02A09	2,4	2,26	2,33	2,07
<i>Q. pyrenaica</i>	Dominante	P02A25	2,52	3,25	2,45	3,53
<i>Q. pyrenaica</i>	Suprimido	P02B32	1,04	1,76	1,58	1,23
<i>Q. pyrenaica</i>	Intermedio	P02B60	2,74	3,2	2,8	2,06
<i>Q. pyrenaica</i>	Codominante	P02B42	2,12	2,37	2,54	2,38
<i>Q. pyrenaica</i>	Dominante	P02B59	2,8	2,9	2,64	3,84
<i>Q. robur</i> (SA)	Suprimido	P04A16	1,33	2	1,9	1,82
<i>Q. robur</i> (SA)	Intermedio	P04A15	2,7	2,9	2,44	2,73
<i>Q. robur</i> (SA)	Codominante	P04A03	1,98	1,92	1,9	1,42
<i>Q. robur</i> (SA)	Dominante	P04A23	1,72	2,37	2,42	1,74
<i>Q. robur</i> (SA)	Suprimido	P04B46	1,74	1,52	2,5	1,53
<i>Q. robur</i> (SA)	Intermedio	P04B32	1,86	2,09	1,27	2,16
<i>Q. robur</i> (SA)	Codominante	P04B62	2,17	2,08	1,49	1,84
<i>Q. robur</i> (SA)	Dominante	P04B39	2,5	1,94	2,22	2,24
<i>Q. cerris</i>	Suprimido	P05A11	0,88	0,65	1	0,33
<i>Q. cerris</i>	Intermedio	P05A23	1,76	1,41	1,37	1,34
<i>Q. cerris</i>	Codominante	P05A17	1,53	1,85	1,84	1,215
<i>Q. cerris</i>	Dominante	P05A12	1,88	1,88	2,08	2,16
<i>Q. cerris</i>	Suprimido	P05B40	1,83	0,35	1,05	1
<i>Q. cerris</i>	Intermedio	P05B31	1,24	1,65	1,8	1,02
<i>Q. cerris</i>	Codominante	P05B42	2,97	1,3	3	2,44
<i>Q. cerris</i>	Dominante	P05B35	3,07	3,2	2,65	2,02
<i>Q. robur</i> (Yac)	Suprimido	P06A16	2,05	1,3	2,04	1,8
<i>Q. robur</i> (Yac)	Intermedio	P06A24	1,21	2,1	1,74	2,1
<i>Q. robur</i> (Yac)	Codominante	P06A22	2,47	2,26	2,8	3,04
<i>Q. robur</i> (Yac)	Dominante	P06A23	1,74	2,4	3,25	2,49
<i>Q. robur</i> (Yac)	Suprimido	P06B33	0,8	1,15	1,5	1,1

<i>Q. robur</i> (Yac)	Intermedio	P06B42	1,1	2,55	1,4	1,7
<i>Q. robur</i> (Yac)	Codominante	P06B44	1,69	2,5	2,48	2,84
<i>Q. robur</i> (Yac)	Dominante	P06B43	1,85	2,1	2,24	2,25
<i>Q. pyrenaica</i>	Suprimido	P07A17	1,8	1,47	2,27	1,1
<i>Q. pyrenaica</i>	Intermedio	P07A25	2,94	1,7	2,94	1,53
<i>Q. pyrenaica</i>	Codominante	P07A08	2,83	3,5	2,63	2,7
<i>Q. pyrenaica</i>	Dominante	P07A23	4,47	3,45	2,84	2,68
<i>Q. pyrenaica</i>	Suprimido	P07B49	1,57	1,5	1,6	2,04
<i>Q. pyrenaica</i>	Intermedio	P07B64	1,37	3,37	1,8	2,47
<i>Q. pyrenaica</i>	Codominante	P07B44	2,09	2,5	2,1	2,25
<i>Q. pyrenaica</i>	Dominante	P07B48	2,6	1,58	2,1	2
<i>Q. pyrenaica</i>	Suprimido	P08A17	1,65	1,85	2,07	1,95
<i>Q. pyrenaica</i>	Intermedio	P08A25	1,7	1,85	1,85	1,9
<i>Q. pyrenaica</i>	Codominante	P08A09	2,6	2,5	2,45	2,55
<i>Q. pyrenaica</i>	Dominante	P08A12	1,99	3	2,9	1,8
<i>Q. pyrenaica</i>	Suprimido	P08B32	2,55	1,85	1,5	2,05
<i>Q. pyrenaica</i>	Intermedio	P08B57	2,35	2	2,6	2
<i>Q. pyrenaica</i>	Codominante	P08B60	2,35	1,9	2,3	2,45
<i>Q. pyrenaica</i>	Dominante	P08B64	2,15	2,7	2	2,4
<i>Q. cerris</i>	Suprimido	P09A11	1	3	2	2,15
<i>Q. cerris</i>	Intermedio	P09A25	1,7	1,7	2,3	2,35
<i>Q. cerris</i>	Codominante	P09A08	2,45	2,4	2,5	1,45
<i>Q. cerris</i>	Dominante	P09A17	2,5	4,3	3,4	2,3
<i>Q. cerris</i>	Suprimido	P09B51	0,7	1,5	1,2	0,95
<i>Q. cerris</i>	Intermedio	P09B63	0,7	2,4	1,5	1,8
<i>Q. cerris</i>	Codominante	P09B33	1,5	2,37	2,7	1,9
<i>Q. cerris</i>	Dominante	P09B41	2,4	2,9	3,4	3
<i>Q. robur</i> (SA)	Suprimido	P10A22	2,5	1,25	2,07	1,9
<i>Q. robur</i> (SA)	Intermedio	P10A28	2,5	1,75	1,7	1,85
<i>Q. robur</i> (SA)	Codominante	P10A26	3,5	1,9	3	2,2
<i>Q. robur</i> (SA)	Dominante	P10A25	2,8	2,8	3,4	2,15
<i>Q. robur</i> (SA)	Suprimido	P10B30	2,43	1,85	1,8	1,25
<i>Q. robur</i> (SA)	Intermedio	P10B57	4,7	2,5	5,3	2,6
<i>Q. robur</i> (SA)	Codominante	P1B051	2,31	2,6	3,05	1,6
<i>Q. robur</i> (SA)	Dominante	P10B46	1,5	3,3	3	1,95
<i>Q. petraea</i>	Suprimido	P11A26	2,95	3,3	2,65	2,4
<i>Q. petraea</i>	Intermedio	P11A22	2,76	2,46	2,76	1,95
<i>Q. petraea</i>	Codominante	P11A17	2,2	2,35	2,6	1,6
<i>Q. petraea</i>	Dominante	P11A24	1,2	1,4	1,45	1,25
<i>Q. petraea</i>	Suprimido	P11B63	1,3	1,9	1,35	1,1

<i>Q. petraea</i>	Intermedio	P11B38	2,55	2,22	1,8	1,4
<i>Q. petraea</i>	Codominante	P11B46	1,75	2,75	2,8	2
<i>Q. petraea</i>	Dominante	P11B31	2,1	2,5	3,3	1,5
<i>Q. cerris</i>	Suprimido	P12A18	0,95	1,1	0,85	0,6
<i>Q. cerris</i>	Intermedio	P12A11	0,7	0,67	0,95	1,7
<i>Q. cerris</i>	Codominante	P12A14	1,15	0,96	2,28	1,9
<i>Q. cerris</i>	Dominante	P12A27	1,3	0,8	1,2	0,75
<i>Q. cerris</i>	Suprimido	P12B30	0,7	0,65	0,8	0,95
<i>Q. cerris</i>	Intermedio	P12B49	0,95	1,25	1,55	0,9
<i>Q. cerris</i>	Codominante	P12B44	2	1,65	2,25	1,95
<i>Q. cerris</i>	Dominante	P12B58	1,6	1,48	1,6	1,1
<i>Q. robur</i> (Yac)	Suprimido	P13A14	1,35	1,8	2,78	0,72
<i>Q. robur</i> (Yac)	Intermedio	P13A11	2,4	2,75	2,95	2,55
<i>Q. robur</i> (Yac)	Codominante	P13A09	1,9	2,8	2,15	2,7
<i>Q. robur</i> (Yac)	Dominante	P13A15	2,3	2,15	2,45	2,8
<i>Q. robur</i> (Yac)	Suprimido	P13B43	1,3	1,25	1,38	1,05
<i>Q. robur</i> (Yac)	Intermedio	P13B64	1,65	1,6	2,25	1,5
<i>Q. robur</i> (Yac)	Codominante	P13B51	2,25	1,7	3,3	1,68
<i>Q. robur</i> (Yac)	Dominante	P13B59	2,8	1,9	3,8	2
<i>Q. robur</i> (SA)	Suprimido	P14A25	1,58	1,67	2,2	1,45
<i>Q. robur</i> (SA)	Intermedio	P14A13	1,7	2,6	2,2	2,25
<i>Q. robur</i> (SA)	Codominante	P14A02	2,35	2,75	2,2	3
<i>Q. robur</i> (SA)	Dominante	P14A01	2,5	4,9	4,95	3,1
<i>Q. robur</i> (SA)	Suprimido	P14B41	1,8	1,9	2,25	0,85
<i>Q. robur</i> (SA)	Intermedio	P14B50	3,1	2,8	3,1	2,1
<i>Q. robur</i> (SA)	Codominante	P14B56	2,15	2,7	1,9	2,3
<i>Q. robur</i> (SA)	Dominante	P14B38	2,25	3,6	2,4	3,8
<i>Q. robur</i> (Yac)	Suprimido	P15A13	2,15	2,13	1,5	1,9
<i>Q. robur</i> (Yac)	Intermedio	P15A24	2,25	2,8	3,4	1,5
<i>Q. robur</i> (Yac)	Codominante	P15A10	3,1	2,4	2,6	2,6
<i>Q. robur</i> (Yac)	Dominante	P15A04	3,35	2,6	2,6	2,4
<i>Q. robur</i> (Yac)	Suprimido	P15B51	1,9	1,3	1,95	1
<i>Q. robur</i> (Yac)	Intermedio	P15B40	1,85	2,4	2,1	1,7
<i>Q. robur</i> (Yac)	Codominante	P15B56	1,2	2,4	1,7	1,8
<i>Q. robur</i> (Yac)	Dominante	P15B50	3,1	1,7	2,3	2,9
<i>Q. petraea</i>	Suprimido	P16A24	1,2	2,25	1,4	1,75
<i>Q. petraea</i>	Intermedio	P16A08	1,3	1,35	1,8	1,35
<i>Q. petraea</i>	Codominante	P16A23	2,3	2,7	2,1	2,1
<i>Q. petraea</i>	Dominante	P16A26	3,2	2,65	2,8	2,6
<i>Q. petraea</i>	Suprimido	P16B40	1,34	1,5	2	1,25

<i>Q. petraea</i>	Intermedio	P16B45	1,95	1,65	2,05	1,7
<i>Q. petraea</i>	Codominante	P16B48	2	2,1	1,8	1,45
<i>Q. petraea</i>	Dominante	P16B31	1,9	2,8	2,6	1,1

Anexo 6: Comparación de las características estudiadas entre las diferentes especies de género Quercus evaluadas

A modo de síntesis, se realizó un cuadro en donde se le asignó a cada especie un puntaje numérico (de 1 a 3, siendo tres el mejor puntaje) en función a la respuesta que presenta a cada característica estudiada. Así fue posible comparar cuantitativamente todos los parámetros y seleccionar las mejores especies.

Comparación entre las especies, para las características estudiadas. Donde el valor 1 (uno) representa una mala respuesta para la característica y 3 (tres) la mejor.

Especie	<i>Q. robur</i> (SA)	<i>Q. robur</i> (Yac)	<i>Q. petraea</i>	<i>Q. pyrenaica</i>	<i>Q. cerris</i>
Supervivencia	3	3	3	3	2
DAP	3	3	2	2	1
Altura	3	2	2	1	1
Cf	2	2	2	2	3
Volumen	3	2	2	1	1
Ang. de inserción	2	3	2	3	2
Dc/DAP	3	3	3	2	3
Dc/altura	3	3	3	2	3
Tortuosidad	2	3	3	1	1
Rebrote	3	3	2	1	1
Total puntajes	27	27	24	18	18

Como resultado, se obtuvo que *Q. robur* (de ambas procedencias) logró el máximo puntaje (27). Si bien los individuos de la procedencia San Ambrosio presentan el mayor volumen individual, los árboles de la procedencia Yacanto se caracterizan por ser más esbeltos, y poseer un ángulo de inserción de las ramas cercano a 90°, esta especie, es la que mejor se ha adaptado al sitio bajo estudio. *Q. petraea*, presenta una menor puntuación que *Q. robur* por poseer un menor volumen (genéticamente es menos robusto), pero es una especie con buenas características cualitativas al ser menos tortuosa y presentar baja cantidad de rebrotes luego de la poda. *Q. pyrenaica* y *Q. cerris* presentaron los puntajes más bajos. En el caso de la primera especie, a pesar de lograr una buena supervivencia (la mayor), no presentó un buen crecimiento en diámetro y altura, y en consecuencia produjo un bajo volumen de madera, sumado a ello los árboles de esta especie se caracterizan por ser tortuosos y presentan una gran cantidad de rebrotes luego de la poda, por otro lado presentaron una alta relación AC/DAP y AC/h, relaciones que indican que para el mismo tamaño de copa presentan un bajo crecimiento de diámetro y altura. Por último, *Q. cerris*, con un valor de 18 puntos, es una especie que

posiblemente no se halla adaptado de la mejor manera al sitio, dado que ha mostrado bajos niveles de supervivencia, una baja producción de madera, gran número de rebrotes luego de la poda, árboles tortuosos y con un ángulo de inserción de las ramas alejado del ángulo recto, una de las causas de este mal comportamiento puede ser que se trata de una especie con dificultades para adaptarse a la altitud, dado que no se recomienda su establecimiento en sitios a más de 800 msnm (MAGRAMA, 2011).

Anexo 6: Bibliografía del anexo

ARMIJOS GUZMAN, D. D. 2013. *Construcción de tablas volumétricas y cálculo de factor de forma (ff.) Para dos especies, Teca (Tectona grandis) y Melina (Gmelina arborea) en tres plantaciones de la empresa Reybanpac Ca. En la provincia de Los Ríos.* Tesis para obtener el título de Ingeniero forestal. Escuela Superior politécnica de Chimborazo. Facultad de Recursos Naturales. Escuela de Ingeniería Forestal. Riobamba-Ecuador.

CANCINO J. 2006. *Dendrometría básica.* Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento manejo de Bosques y Medio Ambiente. ISBN 9568029672, 9789568029678. 171 pp.

CANTERO AMIANO, A. 2013. Variación de la relación altura-diámetro a lo largo del tiempo en un macizo forestal. **6º congreso Forestal Español.** 6CFE01-480. Ed: Sociedad Española de Ciencias Forestales. ISBN 978-84-937964-9-5.

CELLINI, J. M. 2004. Forma del tronco. Curso de Ingeniería Forestal. UNLP. En: https://www.google.com.ar/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&ved=0ahUKEwiUOvbodLMAhVBIJAKHS8tDQ4QFgg0MAG&url=http%3A%2F%2Faulavirtual.agro.unlp.edu.ar%2Fpluginfile.php%2F7410%2Fmod_folder%2Fcontent%2F0%2FBiometria%2520Forestal%2520-%2520Practico%252004%2520-Forma%2520del%2520Tronco.ppt%3Fforcedownload%3D1&usg=AFQjCNHhqqDrVF1mCYTRN98nuP5SCI78WA&sig2=XxovUIuk9pGV4YsU0bEHqg&cad=rja. Visto el: 11/05/2016.

CORRALES SOLIS, J. 2012. *Determinación de ecuaciones de volumen y coeficiente mórfico para la especie Dalbergia retusa, en la zona de Parrita, Puntarenas. Costa Rica.* Proyecto de graduación para optar por el grado de licenciatura. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica.

ESPINOSA BANCALARI M. y F. MUÑOZ SAEZ. 2000. *Silvicultura Aplicada I.* Apuntes de Clase. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento Silvicultura.

MAGRAMA. 2011. Inventario forestal: *Quercus cerris*. Pag 162-163. En: http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/Quercus_cerris_tcm7-175347.pdf. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente de España. Visto el: 06/05/2016.

TOLEDO CASTELO, P. A. 2011. *Determinación del factor de forma de Gmelina (Gmelina arborea Roxb), en la hacienda forestal Libertad Agr, de la empresa agrícola-ganadera REYSAHIWAL AGR SA*. Tesis para obtener el título de Ingeniero forestal. Escuela Superior politécnica de Chimborazo. Facultad de Recursos Naturales. Escuela de Ingeniería Forestal. Riobamba-Ecuador.

WADSWORTH, F. H. 2000. *Producción Forestal para América Tropical*. Capítulo 7: Prácticas de manejo en Plantaciones. Departamento de Agricultura de los EE.UU. Servicio Forestal Manual de Agricultura 710-S. ISBN Number: 3-901347-28-3.

Wilson, B. 1970. *The growing tree*. Univ. Massachusetts Press. Amherst, MA, USA.