

Caracterización del comportamiento agroforestal de doce genotipos de nogal (*Juglans* sp.) en dos localidades de Cataluña

N. Aletà*¹, A. Ninot¹ y J. Voltas²

¹ Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA). Departamento de Arboricultura Mediterrània. Centro de Mas Bové. Apdo. 415. 43280 Reus. España

² Universitat de Lleida. Departamento de Producción Vegetal y Ciencia Forestal. Avda. Rovira Roure, 191. 25198 Lleida. España

Resumen

El comportamiento agroforestal de 10 genotipos de *J. regia* y dos híbridos comerciales de *Juglans*, Ng23xRa y Mj209xRa, se ha evaluado desde 1995 a 2000 en dos localidades: Massanes (Girona) y Prades (Tarragona). Se establecen tres grupos de genotipos diferenciados de acuerdo a su tasa de crecimiento en altura: 1) crecimiento medio superior a 60 cm/año, que corresponde a los dos híbridos; 2) crecimiento medio de unos 50 cm/año, que corresponde a las progenies de *J. regia* con brotaciones anteriores al 20 de abril; y 3) crecimiento medio inferior a los 40 cm/año, que corresponde a los genotipos de *J. regia* con brotación posterior al 20 de abril. La evolución de las progenies en altura y diámetro está significativamente ligada a la localidad. El orden en la clasificación de las progenies por su crecimiento, en altura y en grosor, es prácticamente idéntico en ambas localidades. El diámetro a 2,50 m, al sexto período vegetativo, presenta una dependencia significativa de localidad y genotipo: en Massanes se alcanza un mayor crecimiento que en Prades y el diámetro a 2,50 m de los híbridos es el doble que el del mejor *J. regia*. La dominancia y la rectitud dependen de los genotipos. Sólo dos *J. regia* tienen una aptitud forestal aceptable, concretamente dos genotipos italianos, «Bleggiana» y «Boschi Maria Grazia». Los híbridos Ng23xRa y Mj209xRa presentan un mejor comportamiento agroforestal que los genotipos de *J. regia* estudiados: menor mortalidad en plantación, superiores crecimientos primario y secundario y buena dominancia apical y rectitud.

Palabras clave: *Juglans* sp., progenies, producción agroforestal.

Abstract

Characterisation of the agroforestry performance of 12 walnut (*Juglans* sp.) genotypes grown in two locations of Catalonia

The performance of 10 progenies of *J. regia* and two *Juglans* commercial hybrids (Ng23 x Ra and Mj209xRa) at two planting sites, Massanes (Girona) and Prades (Tarragona), which was monitored during 6 consecutive years starting in 1995, is here described. Based on differences in height growth rate, three well-defined genotypic groups could be established: 1) genotypes with an average growth of up to 60 cm per year, which comprises the two commercial hybrids; 2) genotypes with an average growth of about 50 cm per year, which includes those *J. regia* flushing before April 20; and 3) genotypes with an average growth less than 40 cm per year, which corresponds to *J. regia* progenies flushing after April 20. Growth evolution over time for height and diameter was significantly affected by the location, while progeny ranking was similar for both traits at both sites. Trunk diameter at 2,50 m at the sixth growing season depended on planting site and genotype. Thus, the largest diameters at 2,50 m always appeared in Massanes, regardless of the genotype, whereas the hybrid progenies showed an advantage in diameter of about twice the value for the best *J. regia* at both Massanes and Prades. Apical dominance and stem form were mostly dependent on genotype. Accordingly, only two *J. regia* showed an acceptable forest aptitude, that is, two Italian provenances namely «Bleggiana» and «Boschi Maria Grazia». Overall, the commercial hybrids Ng23xRa and Mj209xRa exhibited a better agroforestry behaviour than the *J. regia* genotypes studied: less orchard mortality, better primary and secondary growth, and more suitable apical dominance and stem form.

Key words: *Juglans* sp., progenies, agroforestry production

* Autor para la correspondencia: neus.aleta@irta.es

Recibido: 08-01-02; Aceptado: 27-09-02.

Introducción

La mayoría de las especies del género *Juglans* son explotables para uso maderero. Algunas son puramente forestales, mientras que otras han sido tradicionalmente cultivadas para la obtención de fruto. *Juglans regia* L. es el nogal de Europa. Esta especie, aunque originaria de Asia central, está naturalizada en Europa, donde existen registros polínicos de su presencia que datan de finales del Plioceno (Manchester, 1989; Rivera et al., 1997). En China se elogiaban las buenas propiedades de la nuez unos 6000 años antes de Cristo. En España se han hallado nueces carbonizadas en yacimientos arqueológicos de la Edad del Hierro (Comunidad de Murcia). Se atribuye su amplia difusión por toda la cuenca mediterránea a griegos y romanos, estos últimos la denominaban *Jovis glans*, la nuez de Jupiter. Este reconocido valor del fruto ha dirigido, desde la antigüedad, la selección antrópica del nogal hacia caracteres de producción de fruto (Rivera et al., 1997; Leslie y McGranahan, 1998; Barthélémy et al., 2002).

Cuando en el siglo XIV se inició la industria del mueble en Europa, una de las maderas más apreciadas por carpinteros y ebanistas era la de nogal. Sin embargo, aunque se talan árboles para el uso de su madera, el aprovechamiento forestal es siempre la segunda alternativa, siendo la primera la producción de nueces. Las poblaciones autóctonas diseminadas abastecen las necesidades del mercado, hasta que a principios del siglo XVIII se empieza a hablar de escasez de madera de nogal en Europa. Inglaterra, país con una floreciente industria de fabricación de muebles, se ve muy afectada cuando Francia establece, en 1720, la prohibición de exportar nogales para no empobrecer sus poblaciones. Este momento fue crucial ya que supuso la entrada en Europa de las maderas exóticas, como la caoba, para suplir la falta de madera de nogal (Reil y Leslie, 1998; Aletà y Ninot, 2002).

Actualmente, la situación no ha variado substancialmente. La especie *J. regia*, o nogal común, es muy apreciada para la fabricación de muebles de calidad, pero Europa no es capaz de abastecer las necesidades de su propia demanda. España fue, alrededor de los años 50, un proveedor importante de madera de nogal, ya que la situación socio-económica del momento favoreció una tala masiva de los árboles. Actualmente, en la UE sólo en Grecia existen amplias poblaciones de nogal todavía explotables, si bien por poco tiempo, ya que la superficie de nogal asilvestrado está disminuyendo muy rápidamente. Como consecuencia, la mayoría de la madera

utilizada en Italia, el primer procesador mundial de nogal común, procede de Irán y Turquía y, recientemente, de algunas repúblicas centroasiáticas como el Kirguistán (Rouskas et al., 1995; Jay-Allemand et al., 1996; Hemery, 1998; MAPA, 1999).

La necesidad de realizar plantaciones de nogal en la UE, exclusivamente para uso forestal, se ha puesto de manifiesto en los últimos 20 años, y países tradicionalmente productores de madera como Francia e Italia instalan nuevas plantaciones (Aletà y Ninot, 2001). Sin embargo, pese a las ayudas públicas existentes en la mayoría de los países de la UE, cuesta incrementar las superficies de nogal (Buresti, 1996; Caruso, 1996). El freno principal ha sido la falta de materiales seleccionados de *J. regia* para uso forestal en los viveros. En Francia se recurre a progenies de algunas variedades que destacan por su rusticidad, como «Charentes» y «Lozeronne», y en Italia a las de «Malizia», o a las poblaciones naturales de «Feltrina» o «Bleggiana». Paralelamente, se ha aprovechado la facilidad de hibridación que presentan entre sí muchas de las especies de *Juglans* (McGranahan y Catlin, 1987) y algunos viveros franceses comercializan progenies híbridas (*Juglans intermedia*). Estos materiales, utilizados para uso agroforestal, proceden de progenies obtenidas de la polinización libre de individuos de distintas especies de nogales negros (sección *Rhizocaryon*), principalmente *J. nigra*, *J. major* y *J. hindsii*, por *J. regia*. Tres progenies de *Juglans intermedia* se comercializan actualmente: Ng23xRa y Ng38xRa (que corresponden a cruzamientos naturales de sendos clones de *J. nigra* con diversos ejemplares de *J. regia*) y Mj209xRa (que se asocia a un cruzamiento entre un supuesto clon de *J. major* con diversos ejemplares de *J. regia*). Todas ellas proceden de campos productores de semilla diseñados para tal fin. En la actualidad, la gran mayoría de las nuevas plantaciones de nogal forestal se están realizando con estos materiales (Ducci y Veracini, 1990; Ducci, 1996; Becquey 1997; Aletà y Ninot, 2001). En España, durante los últimos cinco años se han plantado más de 1500 ha con estas progenies comerciales de *J. intermedia*.

Las informaciones relativas a las propiedades físicas de la madera de *J. regia* son escasas, pero todavía son menos los datos que se tienen sobre la de los híbridos de *Juglans* utilizados en la producción forestal. Las propiedades físicas de su madera se consideran intermedias entre las de los respectivos parentales (Garavel, 1959; Jay-Allemand et al., 1996; Becquey, 1997).

En 1993 se inició un proyecto europeo (AIR3 CE/DG VI CT92-0142), uno de cuyos objetivos prin-

cipales fue la selección de materiales para uso forestal de *J. regia*. En este contexto, una de las primeras actividades que se efectuó fue la instalación de un ensayo de genotipos (progenies de polinización abierta) de *J. regia* de distintos orígenes en varias ubicaciones europeas. Se establecieron 16 plantaciones con un mismo diseño experimental y con un número parecido de genotipos. Las plantaciones se instalaron en Alemania, Grecia, Francia e Italia, así como en España en tres localidades: Massanes (La Selva-Girona), Prades (Baix Camp-Tarragona) y Ortigueira (Coruña).

El presente trabajo recoge los primeros resultados obtenidos de las dos parcelas instaladas en Cataluña. La elaboración de los datos tomados durante los seis primeros años de plantación tiene como objetivos: a) conocer el desarrollo de la especie *J. regia* en su período juvenil en comparación al de los híbridos comerciales Ng23xRa y Mj209xRa, y b) evaluar las posibilidades agroforestales de las 10 progenies de *J. regia* elegidas, en dos ambientes diferentes.

Material y métodos

Entre las dos localidades elegidas para la ubicación de estos ensayos en Cataluña existen importantes diferencias ecológicas. Massanes está a 90 m de altura sobre el nivel del mar y cercana a la costa, mientras que Prades está situada en el interior, en la Serra de Prades, a 960 m. El suelo es asimismo muy diferente: en Massanes es potencialmente fértil, pro-

fundo, de textura franco-arcillosa y con un pH básico; en Prades es superficial (a menos de 60 cm se encuentra la roca madre), presenta una textura franco-arenosa y el pH es ácido. Un resumen de la caracterización del medio donde se ubican los ensayos se recoge en la Tabla 1.

Las parcelas elegidas para las plantaciones habían sido ambas cultivadas anteriormente. En Massanes el cultivo anterior fue *Acer platanoides*, que fue talado y arrancado en 1992; en Prades no se recuerda la presencia de cultivos arbóreos y la campaña anterior a la plantación se había sembrado cebada. En marzo de 1995 se instalaron los ensayos en ambas localidades.

Material vegetal

Doce genotipos de *Juglans sp.* fueron llevados a plantación: diez progenies de *J. regia* y otros dos correspondientes a sendas progenies comerciales híbridas (Mj209xRa y Ng23xRa). Las procedencias de los plántones de nogal común fueron: cinco de Italia («Malizia», «Feltrina», «Bleggiana», «Plan del Ponte» y «Boschi Maria Grazia»), dos de Francia («Charentes» y «Lozeronne»), dos de Grecia («West Crete» y «Arcadia») y una de España («MBT-122»). Las particularidades de cada uno de estos genotipos se resumen en la Tabla 2.

Las semillas fueron recogidas en cada punto de origen en la cosecha de 1993: las procedentes de Italia por el Instituto per la Selvicoltura de Arezzo (ISSA),

Tabla 1. Caracterización ecológica de las localidades de Cataluña donde se ubican los ensayos de procedencias europeas de *J. regia*: Massanes (Girona) y Prades (Tarragona)

		Massanes	Prades
1. Localización	1.1. Provincia/Comarca	Girona /La Selva	Tarragona /Baix Camp
	1.2. Latitud/Longitud	41° 46'N/2°38'E	41° 17'N/0°59'E
	1.3. Altitud	90 m	960 m
2. Clima (1)	2.1. P media: anual/verano	680 mm/116 mm	735 mm/121 mm
	2.2. T media anual	13,9°	10,4°
	2.3. T media anual mínimas/máximas	7,7°/20,3°	5,5°/15,7°
	2.4. Última helada de primavera (1995-2000)	14 abril	20 abril
	2.5. Primera helada de otoño (1995-2000)	7 noviembre	7 noviembre
3. Suelo	3.1. Textura	Franco-arcillosa	Franco-arenosa
	3.2. Profundidad	>1 m	<0,60 m
	3.3. pH	Básico (>8)	Ácido (<6,5)
	3.4. Clasificación USDA	Lithic xerorthent rendoll	Umbrepts

P: pluviometría. T: temperatura. (1) Datos de las estaciones meteorológicas más cercanas Vilobí d'Onyar, a unos 15 km de Massanes, y Prades.

Tabla 2. Origen de las materiales de *Juglans* sp. evaluados en Massanes (Girona) y Prades (Tarragona)

Nombre	Identificación	Origen geográfico	Descripción	Origen genético	Lugar de procedencia
«Malizia»	IT2	Campania-Italia	Material utilizado para producción de madera y fruto en dicha zona	Polinización libre de la variedad «Malizia»	CNR-ISSA Italia
«Feltrina»	IT3	Veneto-Italia	Material utilizado para producción de madera y fruto en dicha zona	Polinización libre en la población silvestre de «Feltrina»	CNR-ISSA Italia
«Bleggiana»	IT4	Italia	Material utilizado para producción de madera y fruto en dicha zona	Polinización libre en la población silvestre de «Bleggiana»	CNR-ISSA Italia
«Boschi Maria Grazia»	IT5	Italia	Material seleccionado para producción de madera	Polinización libre del clon «Boschi Maria Grazia»	CNR-ISSA Italia
«Plan del Ponte»	IT6	Italia	Material seleccionado para producción de madera	Polinización libre del clon «Plan del Ponte»	CNR-ISSA Italia
«Lozeronne»	FR3	Francia	Material utilizado para producción de madera y como patrón en Francia	Polinización libre de la variedad «Lozeronne»	IDF-INRA-Francia
«Charentes»	FR4	Francia	Material utilizado para producción de madera en Francia	Polinización libre de la variedad «Charentes»	IDF-INRA-Francia
«Arcadia»	GR1	Grecia	Población autóctona que destaca por vigor	Polinización libre en la población silvestre de «Arcadia»	Univ. de Thesalonica
«West Crete»	GR2	Creta-Grecia	Población autóctona que destaca por vigor	Polinización libre en la población silvestre de «West Crete»	Univ. de Thesalonica
«MBT-122»	ES1	Cataluña-España	Material seleccionado para producción de madera y como patrón	Polinización libre del clon «MBT-122»	IRTA-España
Mj209xRa	FR1	Francia	Material comercial	Polinización libre del clon «Mj209» por J. regia	IDF-INRA-Francia
Ng23xRa	FR2	Francia	Material comercial	Polinización libre del clon «Ng23» por J. regia	IDF-INRA-Francia

las de Francia por el Institut pour le Développement Forestier (IDF), las de Grecia por la Aristotelian University of Thesaloniki (AUTH) y la de España por el Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA), y enviadas a dos viveros comerciales franceses (Pépinieres Lalanne, en la región del Périgord, y Pépinieres Payre, en el Dauphiné). Estos viveros fueron los encargados de producir las plantas para todas las parcelas de la red de evaluación. Se preparó la planta durante el año 1994 y se mandaron a cada destino, a raíz desnuda, en febrero 1995. Los distintos lotes fueron homogeneizados en los viveros por la altura de los

plantones antes de ser expedidos por técnicos del IDF, de manera que en cada plantación las progenies plantadas fueran comparables en desarrollo. Todos los plantones utilizados fueron plantas 1+0.

Plantación y cuidados culturales

En el otoño de 1994 se preparó el terreno en las dos parcelas. Se hizo una labor de subsolado cruzado para eliminar raíces, especialmente en Massanes, posteriormente se volteó el terreno y se niveló para la

plantación. Se abrieron los hoyos con barrena de 40 cm para plantar a un marco de 5 × 5 m. Después de realizar la plantación se regó para asentar el terreno con unos 50 L por planta y se repitió esta operación a los 15 días.

En 1996 se repusieron todas las marras, 111 árboles entre las dos parcelas, con plantas de la misma procedencia y edad que se cuidaron en los viveros de Mas Bové (IRTA-Reus). Se reservaron para tal fin 10 brinzales por procedencia.

En los años posteriores a la plantación se realizaron aportes hídricos esporádicos. Las intervenciones de poda para la formación fueron mínimas para que se pudiera expresar la tendencia natural de los árboles. Se eliminaron chupones y brotes del pie de los árboles y se cortaron los ejes cuando fue necesario recuperar la dominancia perdida por daños bióticos o abióticos. A partir del tercer año se procuró mantener un equilibrio vegetativo aplicando una poda «dinámica»: eliminación de los brotes cuando superaron los 3 cm de diámetro y conservación de la relación «1/3 sin vegetación, 2/3 de copa», como objetivo de un buen crecimiento forestal (Becquey, 1997). No se aplicaron tratamientos fitosanitarios para controlar plagas o enfermedades en ninguna de las dos parcelas.

Diseño del ensayo y toma de datos

El diseño establecido para todos los ensayos fue de 35 repeticiones monoárbol distribuidas en bloques completos al azar. Ello supone un total de 420 plantas a controlar en una superficie de 10.500 m² por ubicación.

El seguimiento de la plantación ha consistido en caracterizar los siguientes parámetros por árbol: 1) altura inicial de los plantones a la plantación, en cm (H_i); 2) mortalidad al año de plantación (M); 3) altura total anual en cm (H_n), desde 1995 hasta 2000; 4) diámetro a 1,30 m en mm (dbh_n), desde 1998 hasta 2000, $H_n < 1,30 \text{ m} \Rightarrow bh=0$; 5) diámetro a 2,50 m en mm ($d_{2,5}$), a finales de 2000, $H_n < 2,50 \text{ m} \Rightarrow d_{2,5}=0$; 6) período de brotación, fecha en la que se presenta el estado vegetativo C_r en cada árbol individualmente, según estados fenológicos del nogal revisados por Germain *et al.* (1999) (las brotaciones se anotaron durante tres años consecutivos: 1997, 1998 y 1999. Durante el período de desborre de los nogales, de finales de marzo a principios de mayo, los da-

tos se tomaron cada 15 días); 7) dominancia apical (D_a), tomada a finales de 2000 siguiendo la escala de tres niveles que se describe a continuación: puntuación 7, si hay claramente un solo eje; puntuación 4, si hay una bifurcación y se hace necesaria la eliminación de una de las ramas para recuperar la dominancia; puntuación 1, si varias ramas concurren distalmente y la eliminación de más de una se hace necesaria; 8) rectitud del tronco (S_r), tomada a finales de 2000 siguiendo la escala de tres niveles que se describe a continuación: puntuación 7, si el tronco es recto; puntuación 4, si el tronco sólo presenta una ligera curvatura que desaparecerá con los años; puntuación 1, si el tronco presenta más de una curvatura o una muy pronunciada que no desaparecerá con los años; 9) incidencias diversas: se anotaron las razones de mortalidad y los daños ocasionados por factores bióticos o abióticos, siempre que la causa fuera conocida y, también, las diversas incidencias climatológicas consultando los registros de las estaciones meteorológicas más cercanas (Vilobí d'Onyar, para Massanes, y Prades).

VARIABLES ANALIZADAS Y ESTUDIO ESTADÍSTICO

Las variables analizadas han sido: M , H_n , dbh_n , $d_{2,5}$, cilindridad del tronco ($T_c = dbh_{2000}/d_{2,5}$), S_r , D_a y C_r .

H_n , dbh_n , $d_{2,5}$ y T_c son variables continuas. Para su análisis estadístico se ha utilizado un modelo de parcelas divididas en el que la localidad se ha asignado a la parcela principal y el genotipo a la subparcela, si bien el efecto bloque se ha considerado como factor jerarquizado a cada localidad (Gómez y Gómez, 1984). Sobre los datos se ha aplicado un análisis de varianza (ANOVA). En los casos particulares de H_n y dbh_n se ha realizado un estudio de la evolución del crecimiento acumulado en el tiempo, incorporando el factor tiempo en un análisis de medidas repetidas. En todos los casos se ha utilizado el procedimiento GLM de SAS (SAS Inst., 2000), con la opción «Repeated» para el estudio de la evolución en el tiempo. En este último caso, se comprobó si la matriz de varianzas-covarianzas de las medidas repetidas satisfacía la condición de Huynh-Feldt aplicando un test de esfericidad a los datos. En caso contrario, se efectuó una corrección de los grados de libertad de numerador y denominador de los factores implicados en el test F de acuerdo al valor q de Box (Miliken y Jonson, 1992). La naturaleza de la función de crecimiento de los 12 genotipos se investigó poste-

riormente mediante un análisis de tendencias (lineal, cuadrática, y sucesivas) para el factor tiempo y sus interacciones mediante la utilización de contrastes ortogonales. Para aquellos contrastes de interés, se aplicó un análisis de varianza y posterior separación de medias (test Duncan) sobre los valores del contraste para cada individuo (Miliken y Johnson, 1992). Con ello se pretendió caracterizar las posibles diferencias en funciones de crecimiento entre genotipos.

M es una variable respuesta binaria, y S_f y D_a son también variables discretas o categóricas, ambas de 3 niveles. C_f también se ha considerado como variable discreta, con cuatro valores establecidos según los períodos de desborre, siguiendo la escala usada habitualmente en la caracterización de materiales de *J. regia* (IPGRI, 1994). Una brotación anterior al 1 de abril corresponde a un desborre tipo I (muy precoz), del 1 al 10 de abril a uno tipo II (precoz), del 10 al 20 de abril al tipo III (medio) y posterior al 20 de abril al tipo IV (tardío). El análisis estadístico utilizado en el caso de la variable binaria M ha consistido en una transformación logit aplicada a la proporción de individuos supervivientes, con posterior análisis de varianza y estimación de parámetros por máxima verosimilitud (Agresti, 1996). Para las variables categóricas S_f , D_a y C_f se ajustaron modelos multinomiales de respuesta media mediante análisis de varianza y estimación de parámetros por mínimos cuadrados (Agresti, 1996). En ambos casos se utilizaron modelos estadís-

ticos de parcelas divididas en los que, al igual que para las variables continuas ya comentadas, la localidad se asignó a la parcela principal y el genotipo a la subparcela. Los análisis se realizaron mediante el procedimiento CATMOD de SAS (SAS Inst., 2000), utilizándose la instrucción Contrast para construir funciones lineales de los genotipos y así disponer de un test de separación de medias (test χ^2 de Wald) (Bowley, 1999).

Resultados

Crecimiento anual

La evolución del crecimiento anual primario y secundario se obtuvo acumulando incrementos en altura (Hn) y en grosor (dbh), respectivamente, a lo largo de los años. Los resultados del análisis del crecimiento en el tiempo se reflejan en la Tabla 3. Se observa que el factor tiempo (T) presenta una interacción significativa tanto con la localidad (L) como con el genotipo (G), y tanto para el crecimiento en altura como en el crecimiento secundario. En cambio, la interacción triple TxLxG no es significativa en el caso de la altura, pero sí para el crecimiento en diámetro.

El crecimiento en altura de los distintos genotipos presentó una tendencia claramente lineal, ya que el

Tabla 3. Evolución de la altura y del Dbh desde la plantación hasta el año 2000 de los genotipos evaluados en Massanes y Padres. Resultados del análisis de varianza

Fuente de variación	Altura (H en cm)					Dbh (mm)				
	gl	gl $\times \theta^{(1)}$	SC $\times 10^3$	CM $\times 10^3$	F _{ratio}	gl	gl $\times \theta^{(1)}$	SC $\times 10^3$	CM $\times 10^3$	F _{ratio}
Localidad	1	0,38	2380,3	2380,3	78,7**	1	1	80,1	80,1	62,4**
Error a										
(Localidad \times Bloque)	65	24,7	1966,7	30,2		65	65	83,4	1,3	
Genotipo	11	4,2	3896,1	354,1	37,6**	11	11	130,5	11,9	29,9**
Localidad \times Genotipo	11	4,2	376,0	34,2	3,63**	11	11	10,6	1	2,4**
Error b										
(Localidad \times Bloque \times Genotipo)	592	225	5576,7	9,4		592	592	235,0	0,4	
Tiempo	6	2,3	52645,5	8774,9	5284**	2	2	160,7	80,4	2120,5**
Tiempo \times Localidad	6	2,3	1571,5	261,9	163,68**	2	2	12,7	6,4	908,6**
Tiempo \times Genotipo	66	25,1	1071,5	16,2	9,8**	22	22	6,2	0,3	7,4**
Tiempo \times Localidad \times Genotipo	66	25,1	200,0	3,0	1,8NS	22	22	1,6	0,1	1,9**
Residuo	3942	1498	6545,8	1,6		1314	1314	49,8	37,9	
			$\theta=0,38$					$\theta=1$		

** $P \leq 0,01$. NS: no significativo. ⁽¹⁾ θ : Factor de corrección de los grados de libertad (valor θ de Box).

Tabla 4. Análisis de tendencias mediante partición ortogonal de la evolución temporal en altura de los genotipos de *Juglans sp.* evaluados desde 1995 a 2000

Fuente de variación	gl	gl × $\theta^{(1)}$	SC × 10 ³	Variabilidad explicada (%)	CM × 10 ³	F _{ratio}
Genotipo × Tiempo	66	5,5	1071,5		16,2	9,8**
Genotipo × Lineal	11	4,25	946	88	86	12,3**
Genotipo × Cuadrática	11	4,25	31,9	2,9	2,9	2,9**
Genotipo × Cúbica	11	4,25	28,0	2,6	2,5	4,1**
Genotipo × Cuártica	11	4,25	28,8	2,7	2,6	4,3**
Genotipo × Quinta	11	4,25	9,4	<1	0,8	2,1**
Genotipo × Sexta	11	4,25	26,9	2,5	2,4	7,2**
		$\theta=0,38$				

** P≤0,01. ⁽¹⁾ θ : Factor de corrección de los grados de libertad (valor θ de Box).

ajuste de los datos a este modelo permite explicar más del 88% de las variaciones en altura entre genotipos (Tabla 4). Las funciones de crecimiento en altura de cada uno de los genotipos se representan en la Figura 1. Las bondades de estos ajustes (R^2) varían entre el 58% de FR3 y el 78% de IT3, todas ellas con $P<0,001$. Las pendientes de las rectas genotípicas de crecimiento ($\Delta\text{cm/año}$) se agrupan en tres categorías significativamente diferentes (Tabla 5): Mj209xRa y

Ng23xRa superaron los 60 cm anuales de crecimiento, ocho genotipos de *J. regia* situaron su crecimiento alrededor de los 50 cm anuales (entre 49,4 cm y 55,4 cm), mientras que los dos restantes, FR4 y FR3, presentaron un crecimiento de prácticamente 40 cm anuales.

Respecto a la evolución del crecimiento en grosor, medida por la del dbh, se aprecia como las progenies en Massanes presentaron un crecimiento siempre superior al de Prades (Tabla 6). La evolución del dbh por localidad se puede ver en las Figuras 2A y 2B.

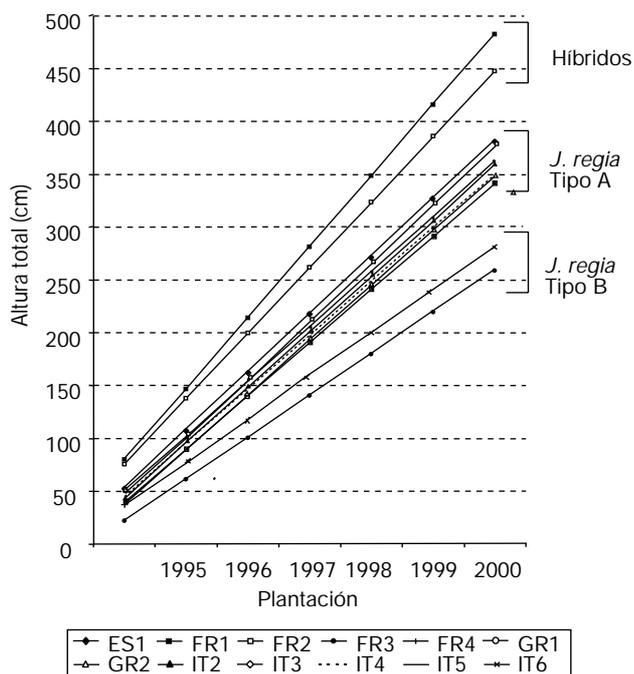


Figura 1. Representación de las funciones de crecimiento en altura de los distintos genotipos de *Juglans sp.* en las parcelas de Massanes (Girona) y Prades (Tarragona). Híbridos: > 60 cm de crecimiento anual. *J. regia* Tipo A: \approx 50 cm de crecimiento anual. *J. regia* Tipo B: \leq 40 cm de crecimiento anual.

Diámetro a 2,50 m y cilindridad del tronco

El grosor de los troncos a 2,50 m ($d_{2,5}$) a la sexta vegetación, y la cilindridad (T_c), dependieron muy significativamente de la localidad y del genotipo; por el contrario la interacción entre ambos factores no fue significativa (Tabla 7). La separación de medias, cuyos resultados se muestran en la Tabla 5, indica una superioridad muy marcada de los híbridos, con valores de $d_{2,5}$ superiores a los 30 mm. Al considerar T_c , observamos que los híbridos mostraron una cilindridad de tronco significativamente superior frente a los genotipos de *J. regia*.

Mortalidad

La mortalidad durante el primer año alcanzó el 12% en Massanes y el 15% en Prades. El análisis de varianza no detectó diferencias significativas para el factor localidad, mientras que el genotipo sí fue significativamente responsable del grado de mortalidad alcanzado en el primer año de plantación. Las medias

Tabla 5. Mortalidad de los plantones de nogal durante el primer año de plantación, crecimiento anual en altura (1995-2000), diámetro a 2,50 m y cilindricidad del tronco al final del sexto período vegetativo y escala de dominancia y rectitud del tronco de los genotipos de *Juglans* sp. en evaluación en Massanes y Prades (Cataluña)

Genotipo	% de marras ¹	H ₂₀₀₀ media (cm) ²	Altura Δcm/año ²	d _{2,50} (mm) ²	d _{2,50} /dbh ₂₀₀₀ ²	Da ¹	Sf ¹
FR1	3 a	421,3 a	67,2 a	34,0 a	0,52 a	5,5 ab	6,0 a
FR2	3 a	404,4 a	62,0 a	30,5 a	0,50 a	6,1 a	6,2 a
ES1	6 ab	331,4 b	54,7 b	15,1 b	0,33 b	4,6 cde	3,6 e
IT2	8,5 abc	308,6 b	51,9 b	13,0 b	0,26 bc	5,2 bc	3,5 e
GR2	10 abc	308,5 b	49,4 b	12,9 b	0,28 b	3,8 e	2,6 f
IT5	11 abc	305,4 b	52,0 b	14,0 b	0,35 b	4,8 cd	5,2 bc
IT4	14 bc	312,1 b	51,0 b	15,1 b	0,32 b	5,3 bc	5,1 c
IT3	16,5 bc	327,4 b	55,4 b	16,0 b	0,30 b	4,4 de	4,1 de
IT6	16,5 bc	305,4 b	50,2 b	12,4 b	0,26 bc	4,9 bcd	4,4 d
FR4	17 c	249,7 c	40,4 c	6,8 c	0,18 c	4,9 bcd	5,8 ab
GR1	18,5 c	312,7 b	52,4 b	15,1 b	0,30 b	3,8 e	3,8 de
FR3	35 d	233,1 c	39,6 c	6,2 c	0,17 c	5,7 ab	6,1 a

¹ Resultados del test χ^2 de Wald. Letras iguales suponen tratamientos no significativamente diferentes ($\alpha=0,05$). ² Letras iguales suponen tratamientos no significativamente diferentes. Test Duncan ($\alpha=0,05$).

genotípicas se resumen en la Tabla 5. Destaca por su mal comportamiento el genotipo «Lozeronne» (FR3), que alcanzó un porcentaje medio de marras del 35%. Cabe destacar que la altura media de los árboles de esta procedencia a la plantación fue sólo de 16,8 cm en Massanes y de 17,2 cm en Prades, diez centímetros por debajo de la media del genotipo que le sigue en altura. Los dos híbridos de *Juglans* presentaron la menor mortalidad, un 3%; sin embargo, no se separan significativamente de algunos *J. regia*, entre ellos la selección española, que sufrió un 6% de marras durante el primer año.

Epoca de brotación

El correspondiente análisis de varianza muestra que sobre el período de brotación influyeron de forma significativa el genotipo, la localidad y el año, así como la interacción LxG ($P<0,001$, datos no mostrados). De acuerdo a la época de brotación, los genotipos pueden clasificarse en tres grupos: muy precoces (grupo I), que corresponden a los de origen griego (GR2 y GR1); de brotación precoz y media (que incluirían los grupos definidos como II y III en el apartado 2), entre los que se encuentran todos los genotipos italianos (IT2,

Tabla 6. Crecimiento en dbh de los genotipos de *Juglans* sp. en evaluación

Genotipo	Massanes			Genotipo	Prades		
	dbh ₂₀₀₀ (mm)	dbh medio (mm)	Δdbh medio (mm/año)		dbh ₂₀₀₀ (mm)	dbh medio (mm)	Δdbh medio (mm/año)
FR1	72 a	24 a	11,1	FR1	49 a	18 a	8,3
FR2	67 a	25 a	11,4	FR2	46 a	16 ab	7,0
IT3	54 b	22 ab	10,2	IT3	35 b	13 bcd	6,0
GR1	53 b	22 ab	10,5	GR1	34 b	12 cd	5,7
IT2	53 b	20 abc	9,5	IT4	32 cb	14 bc	5,4
GR2	53 b	20 abc	9,5	IT5	32 cb	13 bcd	6,4
ES1	52 b	21 abc	9,5	ES1	31 cb	10 cdef	4,4
IT4	48 cb	21 abc	8,6	IT6	29 cb	14 bc	5,4
IT6	46 cb	20 abc	9,5	FR4	28 cb	7 f	4,8
IT5	45 cb	19 bc	8,9	IT2	26 c	11 cde	3,5
FR3	39 cd	17 cd	7,0	GR2	26 c	9 def	4,4
FR4	32 d	13 d	6,0	FR3	17 d	10 cdef	2,9

Letras iguales suponen tratamientos no significativamente diferentes. Test Duncan ($\alpha=0,05$).

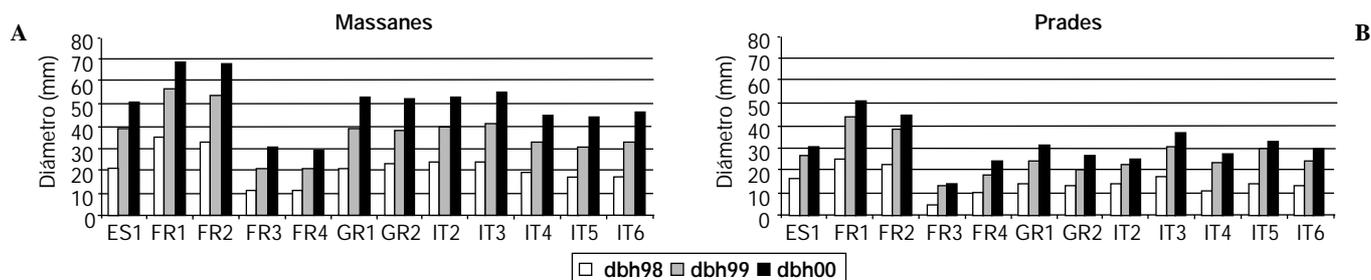


Figura 2. Dbh medio desde 1998 a 2000 de los genotipos de *Juglans sp.* evaluados en Cataluña.

IT3, IT4, IT5 e IT6) y el español (ES1); y de brotación tardía, formado por los dos híbridos (FR1 y FR2) y los genotipos franceses de *J. regia* (FR3 y FR4).

Si consideramos las dos localidades independientemente, las agrupaciones por tipo de brotación, previamente establecidas, se respetaron en Prades, mientras que en Massanes se separaron significativamente hasta 5 grupos de brotación (Tabla 8). No obstante, la

clasificación de las progenies se mantuvo similar en ambas localidades.

Las diferencias climatológicas influyen muy directamente sobre el desborre y, si bien tres años de datos son insuficientes para caracterizar fenológicamente una progenie (McGranahan y Forde, 1985), sí parecen suficientes para establecer un ranking de brotaciones entre genotipos. Así, el orden de brotación se mantu-

Tabla 7. Dámetro a 2,50 m (mm) y cilindridad del tronco al finalizar el sexto período vegetativo de los genotipos de *Juglans sp.* en evaluación

Fuente de variación	Dámetro ($d_{2,50}$)				Cilindridad ($T_c 0 dbh_{2000}/d_{2,50}$)			
	gl	SC $\times 10^3$	CM $\times 10^3$	F _{ratio}	gl	SC	CM	F _{ratio}
Localidad	1	29,4	29,4	75,5**	1	5,1	5,1	60,2**
Error a (Localidad \times Bloque)	65	26,1	0,4		65	5,6	0,01	
Genotipo	11	42,8	3,9	25,1**	11	7,4	0,7	12,5**
Localidad \times Genotipo	11	3,4	0,3	1,99NS	11	1,2	0,1	2,10NS
Residuo	592	91,7	0,1		636	34,0	0,05	

** $P \leq 0,01$. NS: no significativo.

Tabla 8. Agrupación de los genotipos de *Juglans sp.* por período de desborre según la localidad y el año de estudio

Genotipo	Estimación media de Cf / Separación de medias ¹				
	Localidad		Años		
	Massanes	Prades	1997	1998	1999
GR2	1,2 a	2,2 a	1,8 a	2,4 a	1,7 a
GR1	1,3 b	2,3 a	1,9 ab	3,1 b	1,9 b
IT3	1,5 bc	2,6 b	2,1 bc	3,5 c	2,4 c
ES1	1,5 bc	2,7 b	2,1 bc	3,5 c	2,4 c
IT6	1,6 c	2,7 b	2,2 c	3,7 d	2,5 c
IT5	2,0 d	2,8 bc	2,1 bc	3,7 d	3,2 e
IT2	2,0 d	2,8 bc	2,1 bc	3,7 d	2,8 d
IT4	2,8 e	2,8 bc	2,8 d	3,7 d	3,4 e
FR3	3,7 f	3,0 d	3,4 e	4,0 e	3,5 f
FR1	3,7 f	2,9 d	3,4 e	4,0 e	3,6 f
FR2	3,7 f	2,9 d	3,4 e	4,0 e	3,5 f
FR4	3,7 f	2,9 d	3,7 f	4,0 e	3,6 f

¹ De acuerdo a los resultados del test χ^2 de Wald. Letras iguales suponen tratamientos no significativamente diferentes ($\alpha=0,05$).

vo prácticamente igual todos los años, y únicamente el genotipo IT5 lo alteró: aún permaneciendo como promedio de los tres años en el grupo que correspondería a las brotaciones medias, en 1998 y 1999 se encontró en la banda más baja de esta misma zona, cercana a los genotipos tardíos (Tabla 8).

Dominancia y rectitud

El análisis de varianza para estos dos caracteres de aptitud forestal ha puesto en evidencia la gran importancia del genotipo en su expresión, con probabilidades asociadas inferiores a 0,001, no viéndose por el contrario tan afectados por la localidad ($P > 0,01$ en ambos casos, datos no mostrados).

En la Tabla 5 observamos que los híbridos sobresalen por su dominancia apical. En el otro extremo se sitúan los nogales de origen griego que presentan muy poca dominancia apical. Entre los genotipos de *J. regia* destacan FR3, IT4 e IT2.

La rectitud es también una característica destacable de los híbridos Ng23xRa (FR2) y Mj209xRa (FR1). Entre los genotipos de *J. regia* sobresalen los dos genotipos franceses (FR3 y FR4) y las progenies IT4 e IT5.

Discusión

Aún considerando la dificultad al trasplante característica del nogal (Becquey, 1997; Sibbett *et al.*, 1998), la mortalidad alcanzada resultó ser bastante elevada. Los cuidados culturales durante el primer año fueron parecidos en ambas parcelas, lo que explicaría la similitud en el nivel de marras en ambas ubicaciones. En referencia a las diferencias significativas observadas entre genotipos, éstas deben interpretarse con precaución. La calidad del plantón influye sin duda sobre su capacidad de supervivencia en plantación, como bien se ha demostrado en otras especies forestales, algunas de ellas ya sujetas a la normativa nacional de calidad de especies forestales (R.D. 1356/1998 de 26 de junio/ B.O.E nº153 de 27 de junio). Por ejemplo, las plantas de la progenie FR3 eran de las más pequeñas y este genotipo fue el que presentó un mayor número de marras (Aletà, 1994; Becquey, 1997; Reil and Leslie, 1998).

Las distintas interacciones estudiadas para las variables H y dbh, y que incluyen el genotipo y la localidad con el tiempo, son todas de tipo cuantitativo. La

influencia de la localidad es patente: en las condiciones de Massanes los nogales crecieron más que en Prades. En la Tabla 1 se observa que las características edáficas de Massanes son claramente mejores que las de Prades. Si a esta realidad añadimos que en Prades los cuidados culturales en plantación, en particular el soporte hídrico y la eliminación de malas hierbas en verano, fueron más limitados durante los seis años considerados, estos resultados se justifican perfectamente. Asimismo los crecimientos anuales de los híbridos se separan significativamente de aquéllos relativos a las progenies de *J. regia*. El incremento anual en dbh de Mj209xRa y de Ng23xRa en Massanes se corresponde con incrementos anuales de perímetro de 35 mm, que son los valores esperados en la fase juvenil de una plantación de nogales para uso forestal en las condiciones del sur de Europa (Becquey, 1997; Vidal, *et al.*, 1999). El crecimiento en grosor de la mayoría de los *J. regia*, en la misma parcela de Massanes, se situó alrededor de los 30 mm, mientras que los genotipos franceses FR3 y FR4 aumentaron sólo 20 mm anuales en circunferencia. En Prades, los crecimientos estuvieron muy por debajo de las expectativas, siendo las diferencias entre las dos localidades tanto más marcadas cuanto más precoz es la progenie (Tabla 6).

El diámetro a 2,50 m de los híbridos comerciales fue muy superior al de los *J. regia* más destacados. La cilindridad, establecida como el ratio $d_{2,5\ 2000}/dbh_{2000}$, no aporta información relevante al estudio, tan sólo que los troncos de *J. regia* son menos cilíndricos que los de los híbridos, lo cual viene directamente influenciado por la falta de crecimiento que presentaron estos genotipos en altura (Tabla 5). Es por lo tanto un parámetro sin interés en la fase juvenil de la plantación. En su conjunto, todos estos resultados demuestran que el vigor híbrido ya se expresa plenamente en las progenies de *Juglans intermedia* durante los primeros años de plantación.

Los períodos de brotación de los genotipos de *J. regia* estudiados comprenden desde progenies muy precoces (grupo I), hasta muy tardías (grupo IV). Todas las procedencias mediterráneas (española, griegas e italianas) son de brotación precoz y a lo sumo de tipo medio. En Prades los genotipos más precoces (GR2, GR1, IT3, ES1, IT6 e IT2) sufrieron daños por heladas durante los tres años considerados en el estudio fenológico, lo que sin duda afectó al crecimiento de los plantones, en particular al incremento en grosor. En estos genotipos el dbh_{2000} era entre un tercio y la mitad inferior en Prades que en Massanes (Tabla 6). Los

reiterados daños por heladas provocaron la necesidad de intervenir para recuperar las guías, lo que no siempre se efectuó oportunamente, e incidió negativamente sobre la rectitud de los fustes.

En la Figura 1 se observa que la agrupación de los genotipos de *J. regia* por su crecimiento anual se corresponde con la precocidad de brotación: brotaciones de tipo precoz y medio crecieron a razón de unos 50 cm/año (Tipo A en el gráfico), mientras que los genotipos tardíos presentaron un crecimiento de unos 40 cm/año (Tipo B en el gráfico).

Los híbridos presentan una marcada dominancia apical mientras que los genotipos de *J. regia* estudiados parecen carecer en general de esta buena característica para el uso forestal. Sólo un genotipo de nogal, el FR3, fue comparable a los dos híbridos para este carácter. Sin embargo, este resultado pudo estar muy desvirtuado por la falta de crecimiento de esta procedencia francesa, cuya altura media total al final de 2000 fue la menor de todos los genotipos estudiados (233 cm) (Tabla 5). En contrapartida, las procedencias griegas estudiadas no tuvieron un buen comportamiento forestal, más bien recordaban a materiales para uso frutal. Las intervenciones de formación para mantener la supremacía de la guía terminal fueron imprescindibles en estos casos.

La rectitud va estrechamente ligada al carácter anterior, siendo una consecuencia directa de una buena dominancia apical. No obstante, con una apropiada formación juvenil se puede forzar la dominancia del eje, pero difícilmente se mejorará la rectitud del tronco si no es utilizando tutores para guiar adecuadamente los árboles. «Lozeronne» y «Charentes» mostraron una rectitud equiparable a la de Ng23xRa y Mj209xRa; sin embargo, como en el caso de la dominancia, el menor crecimiento de estas progenies condicionó sin duda los resultados.

Sólo dos progenies italianas, «Bleggiana» y «Boschi Maria Grazia», podrían considerarse aptas forestalmente si combinamos rectitud, dominancia y crecimiento, mientras que los híbridos comerciales estudiados presentaron ambos una buena conformación forestal.

Conclusiones

Las dificultades al trasplante, características de *J. regia*, se han hecho patentes en el presente estudio. El genotipo influye sobre la mortalidad en el primer año

de plantación, pero sin olvidar que la calidad de los plantones es decisiva para conseguir una buena supervivencia.

La función de crecimiento en altura presenta una fuerte componente lineal en la fase juvenil de las plantaciones estudiadas. Se forman tres grupos significativamente diferentes por su crecimiento en altura: los híbridos FR1 y FR2 (>60 cm/año), los *J. regia* ES1, GR1, GR2, IT2, IT3, IT4, IT5 e IT6 (alrededor de 50cm/año) y los *J. regia* franceses, FR3 y FR4 (40 cm/año).

En Massanes, los crecimientos anuales medios en perímetro alcanzados por los dos híbridos están dentro de las expectativas en este tipo de plantaciones (3,5 cm/año). Prades se presenta como una ubicación menos adecuada para la plantación de nogales forestales con turnos medios de corta (30 años).

Al sexto período vegetativo sólo los dos híbridos evaluados alcanzan diámetros importantes a 2,50 m, siendo la diferencia con los genotipos de *J. regia* que les siguen en la escala de doble/mitad.

La rectitud y la dominancia no son características inherentes a las progenies de *J. regia* estudiadas. Los dos genotipos griegos son desechables como productores forestales en las condiciones experimentales de estos ensayos por su poca dominancia y su deficiente rectitud.

Las procedencias francesas «Lozeronne» y «Charentes» presentan un ciclo vegetativo demasiado corto para su explotación en el área mediterránea.

El comportamiento agroforestal de los dos híbridos comerciales utilizados, Ng23xRa y Mj209xRa, es claramente superior al de los genotipos de *J. regia* estudiados a pesar de su brotación tardía.

Los materiales de *J. regia* ensayados no parecen los más adecuados para ser utilizados en la producción forestal. Por tanto la selección de materiales de nogal común para producción de madera debe avanzar todavía mucho para conseguir materiales que pudieran compararse en crecimiento y conformación a los *Juglans intermedia* actualmente comercializados.

Agradecimientos

Este trabajo se inició en el marco del proyecto europeo AIR3 CE/DG VI CT92-0142 (1993-1995) y ha tenido su continuidad en el FAIRIII CE/DG XII PL96-1887 (1996-2000) y en el INIA CS00-006-C2 (2000-2003).

Referencias bibliográficas

- AGRESTI A., 1996. An introduction to categorical data analysis. John Wiley & Sons, Inc., New York. 209 pp.
- ALETÀ N., 1994. La multiplicación del nogal. Postgraduate FAO Course on Production and Economy of Nuts. 7-18 Noviembre. Reus, España.
- ALETÀ N., NINOT A., 2001. Aprofitament forestal dels *Juglans*. Catalunya Rural i Agrària 75, 29-30.
- ALETÀ N., NINOT A., 2002. Walnut for both Nut and High Quality Timber Production. En: Walnut Trees for High Quality Wood in Europe. Jay-Allemand, C., ed. CE DGVI (Agriculture)(en prensa).
- BARTHÉLÉMY D., ALETÀ N., MALVOLTI M.E., JAY-ALLEMAND C., 2002. The origin of walnut species and evolution. En: Walnut Trees for High Quality Wood in Europe. Jay-Allemand, C., ed. CE DGVI (Agriculture)(en prensa).
- BECQUEY J., 1997. Les noyers à bois. Ed. Institut pour le Développement Forestier. Paris. 144 pp.
- BOWLEY S.R., 1999. A hitchhiker's guide to statistics in plant biology. Ed. Plants *et al.*, Inc. Guelph, Canada. 250 pp.
- BURESTI E., 1996. Modelli culturali per il noce da legno. Sherwood-foreste e Alberi Oggi 15, 27-32.
- CARUSO C., 1996. Rimboschimento con Latifoglie di Pregio nella Politica Forestale Italiana. Sherwood - Foreste e Alberi Oggi 15, 43 -45.
- DUCCI F., 1996. Materiale di propagazione e vivaismo. Sherwood-Foreste e Alberi Oggi 15, 19-25.
- DUCCI F., VERACINI A., 1990. Criteri di scelta e sistema di valutazione di fenotipi superiori nel miglioramento genetico di latifoglie a legname pregiato. Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura XXI. Arezzo.
- GARAVEL L., 1959. La culture du noyer. Ed.. J.B. Bailliè-re et fils. Paris. 295 pp.
- GERMAIN E., PRUNET J.P., GARCIN A., 1999. Le Noyer. Ed CTIFL. 279 pp.
- GOMEZ K.A., GOMEZ A.A., 1984. Statistical procedures for agricultural research. Ed. John Wiley & Sons. New York. 680 pp.
- HEMERY G.E., 1998. Walnut (*Juglans regia*) seed-collecting expedition to Kyrgyzstan in Central Asia. Quarterly Journal of Forestry 92(2), 152 - 157.
- IPGRI., 1994. Descriptors for Walnut. Ed. International Plant Genetic Resources Institute. Roma. 51 pp.
- JAY-ALLEMAND C., FADY B., BECQUEY J., 1996. Walnut tree for woodland use in Mediterranean countries: current situation and prospects. Nucis FAO-Newsletter 5, 10-13.
- LESLIE C.E., MCGRANAHAN G. H., 1998. The origin of the walnut. En: Walnut production manual. Ramos, D., ed. University of California. Publication 3373. pp. 3-7.
- MANCHESTER S.R., 1989. Early history of the *Juglandaceae*. Plant Systematics and Evolution 162, 231-250.
- MAPA., 1999., Anuario de Estadística Agroalimentaria. Subdirección General de Estadística, Madrid.
- MCGRANAHAN G.H., FORDE H.I., 1985. Relationship between clone age and selection trait expression in mature walnuts. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110(5), 692-696.
- MCGRANAHAN G.H., CATLIN P.B., 1987. *Juglans* Rootstocks. En: Rootstocks for Fruit Crops. Ed. Rom and R. F. Carlson. New York, pp. 411-450.
- MILIKEN G.A., JOHNSON D.E., 1992. Analysis of messy data. Vol.1. Designed Experiments. Chapman and Hall, London. 473 pp.
- REIL W.O., LESLIE C.A., 1998. Propagation. En: Walnut production manual. Ramos, D., ed. University of California. Publication 3373, pp. 71-83.
- RIVERA D., OBÓN DE CASTRO C., RÍOS S., SELMA C., MÉNDEZ F., VERDE, A., CANO F., 1997. Juglandáceas. En: Las variedades tradicionales de frutales de la Cuenca del río Segura. Catálogo etnobotánico. Murcia, pp. 44-55.
- ROUSKAS D., KATRANIS N., ZAKINTHINOS G., ISAAKIDIS A., 1995. Walnut Seedling Selection in Greece. Acta Horticulturae 442, 109-116.
- SAS Institute, 2000. SAS/STAT User's Guide. Version 8. SAS Institute, Inc. Cary, NC. 3884 pp.
- SIBBETT G.S., COATES W.W., EDSTROM J., 1998. Orchard planning, design and planting. En: Walnut production manual. Ramos, D., ed. University of California. Publication 3373, pp. 90-98.
- VIDAL C., JAY-ALLEMAND C., GERMAIN E., BECQUEY J., 1999. Résultats de le Réunion du Groupe de Travail Noyers à Bois de l'Institut pour le Développement Forestier (SDF). 49a Reunión, 13 y 14 de octubre 1999. Aquitaine.