



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-196

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Vitalidad y biomasa subterránea en cepas de montes bajos de encina.

SERRADA HIERRO, R.¹, GÓMEZ-SANZ, V.², AROCA FERNÁNDEZ, M.J.², OTERO DE IRIZAR, J.³, BRAVO FERNÁNDEZ, A.² y ROIG GÓMEZ, S.²

1 Sociedad Española de Ciencias Forestales. rafael.serrada@telefonica.net.

2 Departamento de Sistemas y Recursos Naturales. ECOGESFOR. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n, 28040, Madrid.

3 Servicio de Extinción de Incendios del Ayuntamiento de Guadalajara. javieroterodeirizar@gmail.com.

Resumen

El estudio de 26 parejas de cepas de encina, integradas cada una por una cepa con buen estado vegetativo y buena foliación y otra con aspecto que manifiesta claros signos de decaimiento, elegida cada pareja en condiciones semejantes de estación, tiene como finalidad buscar explicaciones a estas diferencias de estado vegetativo por razón de su biometría, con especial atención a la cuantificación y la clasificación de la biomasa subterránea. Se localizan las muestras en el conjunto de la provincia de Guadalajara (España). Se comprueban el potencial hídrico y la conductancia estomática, sin encontrar diferencias significativas en estos aspectos, salvo en potencial hídrico de madrugada. Se cuantifica la biomasa aérea y radical, por fracciones, en peso seco en estufa. Se evalúan las relaciones de dependencia de la biomasa con el área basimétrica. Se exponen las diferencias biométricas entre el grupo de cepas vigorosas y el de cepas con decaimiento.

Las conclusiones llevan a considerar que las diferencias biométricas observadas parecen confirmar la hipótesis de que una acumulación relativa de biomasa subterránea está relacionada con el decaimiento en cepas de especies brotadoras tras sucesivos recepes. Particularmente se comprueba que la proporción de raíces finas, las de mayor capacidad de absorción, es mayor en las cepas con buen estado vegetativo.

Palabras clave

Seca, chirpial, recepe, decaimiento, *Quercus ilex*, raíces, Guadalajara.

1. Introducción

Los montes bajos de especies de madera dura, genérica e históricamente destinados a la producción de leña y carbón vegetal, son masas naturales de estructura simplificada por el tratamiento histórico. Estas masas forestales en España presentan amplia superficie y, con cierta frecuencia, problemas de inestabilidad (SERRADA et al., 1992). La encina (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) es la especie que mayor superficie presenta en esta estructura de masa. Es muy amplia la literatura científica reciente que se refiere al decaimiento de masa forestales de especies del género *Quercus*, habiéndose acreditado el término *seca* para referir un proceso que unas veces se manifiesta como muerte súbita de individuos o bosquetes y otra como decaimiento manifestado en pérdida de superficie foliar y/o puntisecado (FERNÁNDEZ y MONTERO, 1993; JUNTA DE EXTREMADURA, 2001). Está confirmado que estos procesos no son independientes del cambio global, incluido el cambio climático, y frente a este problema los tratamientos selvícolas, especialmente en los montes bajos, pueden actuar favorablemente (VERICAT et al., 2012).

En general, los montes bajos de encina son masas naturales, frecuentemente localizadas en zonas de escasa calidad de estación, intervenidas muy intensamente durante mucho tiempo mediante la aplicación de recurrentes cortas de matarrasa que generaban una estructura muy simplificada formada por chirpiales coetáneos. Los turnos más habituales han sido de entre 20 y 25 años, con un rango de variación de 15 a 30 años (SERRADA, 2011). Sin embargo, a juzgar por referencias de distintos autores (de OLAZABAL, 1883; UGARTE y VELAZ de MEDRANO, 1921), en los

montes bajos españoles para leña no han sido infrecuentes turnos de 5 a 12 años, con los que se obtenían productos de reducidas dimensiones y valor, se empobrecía el suelo y se causaban graves perjuicios a las cepas, reduciendo su vigor y acortando manifiestamente su vida. En efecto, las cortas de matarrasa exigen para el rebrote posterior la movilización de recursos desde la cepa, básicamente almidón (GRACIA et al., 1999; OJEDA, 2001), cuya recuperación no es posible si no transcurre un mínimo de tiempo entre corta y corta. A ello debemos sumar las situaciones en las que no se produjo el acotado al pastoreo en un plazo suficiente como para que el sistema radical recuperara las reservas empleadas en el rebrote tras las cortas. A partir de los años sesenta del siglo XX el empleo de otros tipos de combustible provocó el abandono de esta forma de gestión. Como consecuencia de ello nos encontramos con una superficie muy grande ocupada por un sistema forestal muy artificializado y que presenta graves problemas selvícolas y ecológicos tales como elevadas densidades con bajos diámetros medios y áreas basimétricas también reducidas, crecimientos ralentizados o detenidos, escasa producción de bellota y muy escasa o ausente regeneración sexual, escasa biodiversidad, y elevado riesgo de incendio. Desde hace aproximadamente cuarenta años es frecuente encontrar bibliografía centrada en el diagnóstico de esta situación y en el análisis de posibles alternativas de gestión de los montes bajos productores de leñas en la cuenca mediterránea (BRAVO FERNÁNDEZ et al., 2008). La situación descrita sin duda se ve agravada por el actual proceso de cambio global, en el que participa de manera destacada el cambio climático. Un análisis general de la influencia de este proceso sobre las masas forestales se puede encontrar en BRAVO (2007) o SERRADA et al. (2011). En particular, los impactos del cambio global sobre las masas de *Quercus* mediterráneas y posibles propuestas de gestión adaptativa al mismo son tratados en VERICAT et al. (2012).

Si bien el problema de la seca ha sido especialmente estudiado en sistemas de dehesas (CARRASCO et al., 2009; de SAMPAIO et al., 2013; CORCOBADO et al., 2015), hay que suponer que también debe afectar a los montes bajos, y autores como AUSSENAC et al. (1995), GRACIA et al. (1997, 1999), SERRADA et al. (2011) o VERICAT et al. (2012) proponen tratamientos selvícolas que pueden influir favorablemente para reducir la duración y los efectos del estrés hídrico. A este respecto los trabajos de GRACIA et al. (1993, 1997) profundizan sobre aspectos ecofisiológicos en tallares de encina envejecidos y en conversión. SALOMÓN (2015) y SALOMÓN et al. (2015) abordan también estudios fisiológicos sobre cepas de *Quercus pyrenaica*.

En este contexto, es muy importante el estudio de los sistemas radicales, imprescindible para entender la situación de la parte aérea. Sin embargo, es obvia la dificultad que entrañan dichos estudios, por lo que son relativamente escasos. Citemos, por su carácter pionero en España, aunque aplicado a una especie distinta a la que nos ocupa, los trabajos desarrollados sobre biomasa subterránea de *Quercus coccifera* (CAÑELLAS, 1993; CAÑELLAS y SAN MIGUEL, 1996). Sobre montes bajos de encina, GRACIA et al. (1999) estudian los sistemas radicales mediante el uso de rizotrones. MONTERO et al. (2005) y RUIZ PEINADO et al. (2012) cuantifican la biomasa aérea y subterránea de las principales especies forestales españolas. SALOMÓN (2015) y SALOMÓN et al. (2016) analizan mediante extracción los sistemas radicales de dos cepas de *Quercus pyrenaica*. SERRADA et al. (2013) es un antecedente simplificado del presente trabajo.

Para responder a estas carencias de conocimiento, dentro del Proyecto de Investigación *Dehesas y Tallares de Encina en la España mediterránea: propuestas de gestión para la sostenibilidad de dos sistemas forestales paradigmáticos (De.Tall.E)*, financiado por el INIA, se diseñó y ejecutó un muestreo de parejas de cepas de encina en diferentes situaciones estacionales, dentro de la provincia de Guadalajara, tomando información fisiológica y morfológica que pueda dar respuestas a la causa del decaimiento. Por otra parte, la extracción y medición de las cepas aporta información sobre la morfología y posible evolución de este tipo de masas y sobre el contenido de carbono global en la biomasa de los montes bajos. La presente comunicación al 7CFE es una versión en castellano de un trabajo remitido a la revista *Forest Systems*, aún en prensa.

2. Objetivos

El objetivo central del trabajo es el de evaluar la relación que la situación de decaimiento de cepas de encina pueda tener con diferentes aspectos biométricos y fisiológicos de las mismas, haciendo especial hincapié en el papel que la biomasa subterránea juega sobre el estado vegetativo de la parte aérea de las cepas, así como con la estructura y desarrollo de la misma.

3. Metodología

Para la consecución efectiva del objetivo general, se ha procedido a la: selección y descripción morfológica y dasométrica de un grupo de cepas de encina suficientemente representativo; comprobación, de modo previo al apeo y extracción de cepas, del estado vegetativo de las cepas seleccionadas por medición del potencial hídrico y de la conductancia estomática; cuantificación de la biomasa, tanto aérea como subterránea, con extracción de los sistemas radicales, en las cepas de encina seleccionadas. Por tanto, la metodología consiste en comparar, desde diferentes enfoques, parejas de cepas de encina, en estados vegetativos diferenciados y bajo condiciones estacionales y dasométricas homólogas. A continuación se detalla el proceso metodológico.

Elección de la muestra - Se procedió a localizar pares de cepas de encina, situadas en la zona centro de la península Ibérica, en la provincia de Guadalajara. Las parejas escogidas tienen unas características concretas: que las dos cepas se encuentren lo más cercanas posible para que no haya diferencias de clima y suelo entre ellas (separación máxima de 20 m); tamaño similar, esencialmente número y diámetros de brotes así como extensión aproximada de la cepa; que una de ellas presente un buen estado vegetativo (B), y la otra (M), por el contrario, aparezca con problemas patentes en ese sentido (puntisecado, defoliación, decaimiento generalizado...).

Medición de la parte aérea de las cepas seleccionadas - Tras la selección definitiva de las cepas, se procedió a la asignación y replanteo de una parcela cuadrada o rectangular a cada una, que fue la superficie de referencia para extracción de biomasa subterránea. Dicha superficie se definió proyectando en el suelo las copas de las cepas, añadiendo exteriormente una banda de medio metro de ancho. Se midieron los diámetros normales y basales de todos los pies de encina. Los valores de área basimétrica normal sirvieron para caracterizar las masas y los del área basal o rasante para relacionar con biomasa subterránea. Interesa utilizar para estas relaciones el área rasante, pues algunos tallos no alcanzan la altura de 1,30 m. Los valores de área basimétrica normal referidos a la hectárea serán los correspondientes a una masa con fracción de cubida cubierta del 100% o más y tienen la variabilidad correspondiente a haber sido estimada en muy pequeñas parcelas.

Estimación del estado fisiológico de las encinas - Como operación previa al apeo y medición de las partes aéreas, se realizan mediciones completas de: potencial hídrico, con cámara de presión o de Scholander tipo PMS de Instruments CO (Corvallis, Oregon, USA) en época de estrés hídrico, midiendo potencial de base en la madrugada y potencial al mediodía con estrés hídrico; y de conductancia estomática por intercambio gaseoso, con el equipo LEAF Porometer Model SC-1 (Decagon Devices Inc.), midiendo a media mañana con exposición al sol. Estas operaciones se realizaron durante el mes de agosto de 2011. Los ramillos y hojas para estas mediciones se localizan en el centro de la copa, en su máximo diámetro.

Morfología foliar - Con los ramillos empleados en la comprobación del potencial hídrico se procedió a la planimetría digital en verde de las hojas para, tras posterior desecación en estufa a 103°C hasta peso constante, obtener datos de morfología foliar. Los valores de superficie y peso permiten estimar la masa foliar por unidad de superficie (LMA). Los valores medios obtenidos sirven para el cálculo de índice de área foliar (LAI) de cada cepa a través del peso de hoja estimado posteriormente.

Apeo y caracterización de la parte aérea - El apeo y medida de la biomasa aérea se realizó en octubre de 2011. Estas operaciones consistieron en: apeo total, pesado de biomasa en verde por fracciones, medición precisa de alturas y recogida de muestras de cada fracción para estimación de peso seco en laboratorio. Las fracciones de separación de biomasa aérea fueron inicialmente: tallos mayores de 17 cm de diámetro; entre 17 y 7 cm; entre 7 y 2 cm; menores de 2 cm; y hojas. Las muestras para valorar peso seco se desecaron en estufa a 103 °C hasta peso constante. Al no haber en muchas cepas la fracción de biomasa aérea de ramas de diámetro superior a 17 cm, se optó con posterioridad por integrar los valores de peso de ramas superior a 7 cm e inferior a 17 con el peso de ramas de diámetro superior a 17 cm, obteniendo un único peso para ramas de diámetro superior a 7 cm. Con esta información se calculan los pesos de las diferentes fracciones de parte aérea y subterránea en valor relativo respecto del peso total.

Extracción y transporte de cepas - Se procedió, con una retroexcavadora de gran potencia, a arrancar las cepas, intentando que éstas quedasen lo más enteras posible, y a revisar la zona removida para, manualmente, extraer todas las raíces visibles que fueron recogidas en sacos o lonas. Todo el material extraído y debidamente etiquetado fue trasladado al vivero forestal El Serranillo, dependiente de la Consejería de Agricultura de la JCCM.

Mediciones sobre cepas extraídas - Tras un proceso de secado al aire, se procedió a la limpieza y procesado de las cepas en las instalaciones de El Serranillo (Guadalajara). Estas tareas se realizaron en los meses de marzo y abril de 2012. En primer lugar se procedió a desprender toda la tierra y piedras adheridas, con la ayuda de agua a presión y percutores eléctricos. A continuación se hizo un análisis cualitativo: fotografías, comprobación de presencia o ausencia de recepes, presencia de brotes de cepa o de raíz, presencia o ausencia de raíz pivotante, limitaciones por profundidad de suelo. Posteriormente, se separaron, con tijeras de podar y motosierra, las fracciones del sistema radical menores de 2 cm de diámetro, de 2 a 7 cm y mayores de 7 cm. Se pesaron (peso seco al aire) las tres fracciones y se tomaron muestras para referir posteriormente a peso seco en estufa. Finalmente, se midieron los perímetros de todas las raíces insertadas en las piezas mayores de 7 cm y los perímetros de la base de todos los tallos sobre estas mismas piezas para realizar, con mayor precisión, la estimación del área basimétrica basal o rasante. Todo el proceso de descripción fisiológica y biométrica de las cepas permitió la selección de un conjunto de variables de estudio, cuya relación se recoge en el Anejo (Tabla A.00) (<http://doi.org/10.5281/zenodo.438323>), agrupadas en:

- 1 - Variables morfológicas y dasométricas
- 2 - Variables de estado fisiológico
- 3 - Variables de morfología foliar
- 4 - Variables de biomasa aérea
- 5 - Variables de biomasa subterránea
- 6 - Variables de relación entre biomasa subterránea y biomasa aérea

Análisis de datos - El análisis de datos del presente trabajo se centra tanto en proporcionar una caracterización detallada de las cepas muestreadas, habida cuenta del valor de esta información en sí misma; como en contrastar la relación entre el estado vegetativo observado en las cepas y las distintas variables morfológicas y fisiológicas consideradas para la caracterización de mismas. Para ello: i) en primer lugar se analizan las características dasométricas del conjunto de cepas muestreadas (1. *Variables dasométricas*) y se comprueba el cumplimiento de las hipótesis de partida del diseño experimental; ii) posteriormente, se aborda el estudio y caracterización detallada de la morfología y la funcionalidad de su parte aérea (2. *Variables de estado fisiológico*, 3. *Variables de morfología foliar* y 4. *Variables de biomasa aérea*); y iii) por último, se caracteriza su biomasa subterránea y se analizan las posibles relaciones entre la parte aérea y la subterránea, en busca de causas potenciales del diferente estado vegetativo observado en las cepas de la muestra (5. *Variables de biomasa subterránea* y 6. *Variables de relación entre biomasa subterránea y biomasa aérea*).

En todos los casos se proporcionan los valores medios observados en las distintas variables tanto en el conjunto de la muestra, como en las submuestras correspondientes a cepas 'buenas' y 'malas', y se contrasta la existencia de diferencias significativas entre ambos grupos.

Teniendo en cuenta el diseño experimental, los contrastes sobre la significación del estado vegetativo de la cepa a la hora de explicar el comportamiento medio observado en el resto de variables, se realizan planteando para cada una de ellas un modelo lineal mixto con el estado vegetativo de la cepa ('Bueno' o 'Malo') como factor fijo y la pareja de muestreo anidada en la zona de extracción, como factor aleatorio. Mediante el ajuste jerárquico de los modelos tal y como proponen ZUUR et al., (2009), se pretende comprobar si el estado de la cepa influye o no significativamente en los valores medios observados en las distintas variables, una vez descontado el efecto de la pareja y la zona de muestreo. Se comparan los diferentes modelos mediante el logaritmo de la verosimilitud y el índice de Akaike (AIC). La significación de la mejora en el ajuste al incorporar el factor 'Estado de la cepa' a los modelos, se calcula mediante el correspondiente test de verosimilitud. El ajuste de los modelos se realiza mediante el paquete nlme de R (PINHEIRO et al., 2016).

En el caso concreto de los pesos de las diferentes fracciones de biomasa aérea y subterránea, se llevan a cabo, así mismo, regresiones con respecto al área basimétrica de las cepas, tomando como factor fijo el estado fisiológico de las mismas. De este modo se pretende contrastar si el desarrollo de la cepa para un mismo área basimétrica es diferente para cepas malas y buenas. Se ha empleado para ello el paquete lm de R.

Todos los datos analizados se hacen constar en las tablas de Anejo: A00 - A10, disponibles telemáticamente a través del enlace: <http://doi.org/10.5281/zenodo.438323>.

4. Resultados

La selección de 26 parejas de cepas realizada ha permitido contar con un total de 52 cepas objeto de estudio, que se sitúan entre los 725 y los 1.217 m.s.n.m. La denominación, localización y características fisiográficas y litológicas de la localización de las cepas de encina estudiadas se presentan en la Tabla A.01 del Anejo. Todas las muestras quedan comprendidas dentro del Grupo Territorial 4 (submeseta Sur) en el estudio sobre las estaciones de la encina de SÁNCHEZ-PALOMARES et al. (2012), con precipitación anual del orden de 660 mm y 12 °C de temperatura media anual. La pendiente, en todos los casos, no es superior al 5%.

En la Tabla A.02, también del Anejo, se presentan los datos de superficie asignada a cada cepa estudiada y las características dasométricas de las mismas. Se comprueba la semejanza morfológica (número de chirpiales, diámetro medio de los chirpiales y altura máxima) dentro de cada pareja de cepas escogidas. Los diámetros medios de los chirpiales oscilan entre 25,7 y 2,5 cm, con un valor medio de 9,1 cm. Las alturas máximas oscilan entre 8,0 y 1,4 m, con un valor medio de 4,5 m.

Así mismo, en el mencionado Anejo, se recoge la totalidad de los resultados de la descripción fisiológica, morfométrica y biométrica de las cepas estudiadas. En la Tabla A.03 se presentan los resultados de las mediciones del potencial hídrico y de la conductancia estomática, en la Tabla A.04 figuran los resultados de Masa Foliar Media por unidad de superficie (LMA) y superficie media de hoja (SMH), mientras que los de LAI derivados de ellas se recogen en la Tabla A.06. Los datos de peso seco de parte aérea por fracciones y los valores relativos se presentan en la Tabla A.05, y finalmente, los resultados de las mediciones efectuadas sobre las cepas extraídas (biomasa subterránea) quedan reflejados en las Tablas A.07 y A.07bis.

Con toda esta información, cualitativa y cuantitativa, del total de cepas muestreado, y previo a su tratamiento estadístico, se han identificado singularidades en algunas de ellas que deben ser

consideradas de cara a la valoración de resultados. Se definen los siguientes grupos de cepas (aparecen señaladas mediante sombreado en las tablas A.05, A.07 y A.07bis):

- ✓ Grupo 1: Cepas con aspectos distintivos relacionados con los parámetros de peso seco de su parte aérea. A este grupo pertenecen las parejas 2GU, 3GU, 5GU, 22CT, 24 RC y 26RC. Su singularidad radica en que presentan, bien por gran tamaño, bien por pequeño tamaño, valores ausentes o únicos de determinadas fracciones de parte aérea.
- ✓ Grupo 2: Cepas con peculiaridades en su sistema radical. Se incluyen en este grupo las parejas: 2GU, 3GU, 17CU, 19TR, 21 CT, 24RC y 25RC. Su singularidad radica en:
 - dudas sobre su condición de monte bajo. Concretamente, al realizar el estudio del sistema radical de los ejemplares B (“buena calidad”) de las parejas 2GU y 3GU se comprueba que son brinzales de buen porte y buena morfología, conectados por injerto de raíz con una trama subyacente de raíces de monte bajo. Así mismo, en las parejas 17CU, 19TR, 21 CT, 24RC y 25RC hay evidencia de no haber recibido recepes, por lo que son brinzales todos los ejemplares. Consecuentemente, al ser en todas estas cepas los tallos principales brinzales y no chirpiales, se puede explicar la presencia de varios tallos en las cepas en una brotación espontánea.
 - un sistema radical muy deteriorado. En esta situación se encontraban los ejemplares M (“mala calidad”) de las parejas 2GU y 3GU. De tamaño semejante en parte aérea, muestran al ser extraídas un sistema radical que procede de antiguos y reiterados recepes, en un estado muy desarrollado pero con evidentes signos de pudrición, sin poder comprobar que todas las raíces extraídas corresponden a la cepa estudiada. En estos ejemplares el estado de la parte aérea era muy deficiente, muy deteriorada, hasta el punto de que 2GUM, con ramas funcionales en agosto de 2011, apareció seco en el momento del apeo en octubre del mismo año.

Los resultados obtenidos del tratamiento de la información capturada, según las directrices expuestas en Metodología, se presentan en las tablas del Anejo. A continuación se resumen y discuten estos resultados, organizados por grupos de variables.

5. Discusión

1 - Variables morfológicas y dasométricas

En relación con la medición inicial en campo de la parte aérea de las 52 cepas muestreadas, se resumen en la Tabla 1 los valores de tendencia central y de dispersión de las variables dasométricas consideradas para los grupos de cepas ‘buenas’ y ‘malas’. A grandes rasgos, los valores de las variables en el grupo de “mala calidad” son ligeramente inferiores, lo cual indica un menor tamaño de la parte aérea en las cepas con deficiente estado vegetativo. No obstante, a excepción de la altura máxima de cepa, las diferencias no son estadísticamente significativas, por lo que se puede considerar que en el total de las cepas muestreadas hay una manifiesta semejanza morfológica, según se pretendió.

Este resultado es concordante con el criterio general de elección de la muestra, que buscó semejanza en estos aspectos. Al contrario que el resto de variables, la altura máxima muestra diferencias significativas entre calidades de cepa. Así, de acuerdo al modelo, las cepas ‘buenas’ son 0,65 m más altas que las ‘malas’ (Tabla 1). Tanto el puntisecado como la defoliación en borde de copa (rasgos característicos de cepas ‘malas’) tienen como efecto colateral la disminución de las estimaciones de la altura máxima tras el apeo, al producirse en él la rotura de las ramas secas.

Tabla 1 - Estadísticos descriptivos de las variables morfológicas y dasométricas junto con la estimación del efecto fijo del factor "Calidad de la cepa" sobre las medias tras eliminar el efecto aleatorio de la "pareja de muestreo" anidada en la "zona de muestreo"

Variable (Y)	Calidad cepa (Xi)	N	Media \pm sd	Mínimo	Máximo	Estimación del efecto de la Calidad de la Cepa (β_1)		
						β_1	L-ratio	p-value
Nº de chirpiales	B	26	3.8 \pm 3.1	1.0	10.0	0.23	0.68	0.411 (NS)
	M	26	3.7 \pm 3.2	1.0	11.0			
	Total	52	3.8 \pm 3.2	1.0	11.0			
d (cm) Diámetro medio normal de chirpiales	B	26	9.4 \pm 5.2	3.9	24.5	0.64	2.21	0.137 (NS)
	M	26	8.8 \pm 5.1	2.5	25.7			
	Total	52	9.1 \pm 5.1	2.5	25.7			
Gnormal (cm ² /cepa) Área basimétrica normal de la cepa	B	26	179.7 \pm 109.1	23.8	471.4	25.48	3.05	0.081 (NS)
	M	26	154.2 \pm 113	9.9	518.8			
	Total	52	166.9 \pm 110.7	9.9	518.8			
Gbasal (cm ² /cepa) Área basimétrica rasante de la cepa	B	26	349 \pm 184.4	66.5	766.0	25.83	1.09	0.297 (NS)
	M	26	350 \pm 190.5	23.3	832.7			
	Total	52	337.1 \pm 202.5	23.3	832.7			
GnormalR (m ² /ha) Área basimétrica normal del rodal	B	26	43.7 \pm 27.8	8.0	119.2	7.96	2.90	0.089(NS)
	M	26	35.8 \pm 16.8	4.4	69.8			
	Total	52	39.7 \pm 23.1	4.4	119.2			
h (m) Altura máxima	B	26	4.8 \pm 1.3	2.6	8.0	0.65	14.47	0.000**
	M	26	4.2 \pm 1.1	1.4	6.4			
	Total	52	4.5 \pm 1.3	1.4	8.0			
CE (cm cm ⁻¹) Coeficiente de Esbeltez.	B	26	60.1 \pm 23.9	31.2	130.8	4.28	1.31	0.252 (NS)
	M	26	55.8 \pm 19.6	24.9	93.5			
	Total	52	58 \pm 21.8	24.9	130.8			

Niveles de significación: ***, p < 0.001; **, p < 0.010; *, p < 0.05; NS: No Significativo

N: tamaño muestral. Xi: calidad de las cepas (Xi=1 para cepas con buen estado vegetativo 'B', y Xi= 0 para las de malo 'M') β_1 : Efecto fijo del factor 'Calidad de la cepa' sobre la media. L-ratio = $-2(\log\text{Verosimilitud}(M_1) - \log\text{Verosimilitud}(M_0))$, donde M_1 y M_0 , simbolizan respectivamente los modelos con y sin efecto de la calidad de las cepas (β_1): $M_0: Y_{ij} = \beta_0 + \sigma_j + e_{ij}$ // $M_1: Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \cdot Xi + \sigma_j + e_{ij}$.

La relación de dependencia observada (Figura 1) entre el área basimétrica normal (Gnormal) y la rasante (Gbasal) es bastante elevada (r de Pearson superior a 0,85), de tal forma que el modelo lineal de regresión elaborado explica algo más del 78 % de la variabilidad observada. Sirve esta relación para asignar valores de Gnormal a cepas con brotes de menos de 1,30 m de altura.

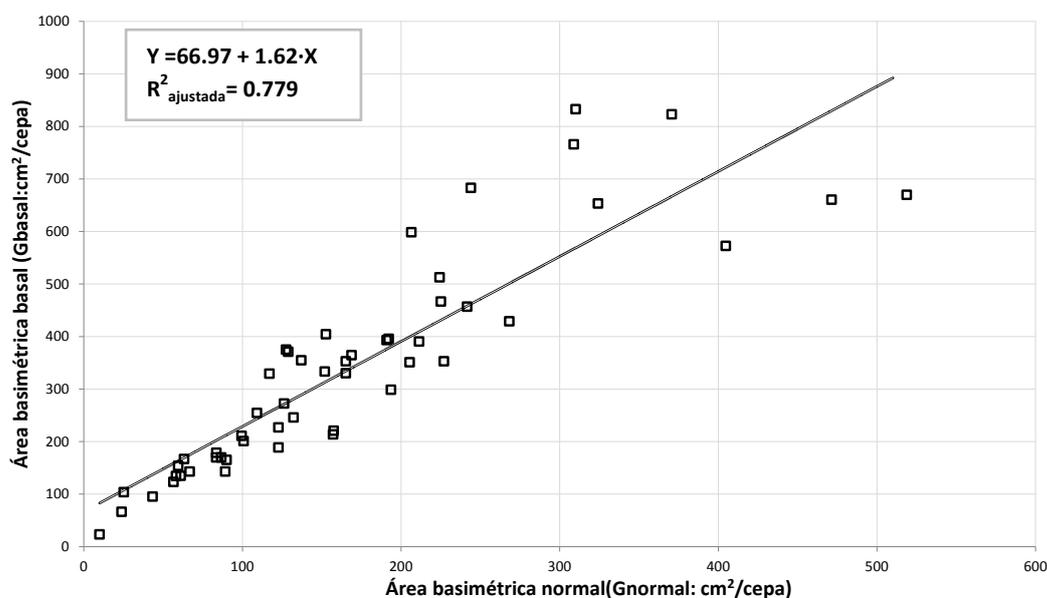


Figura 1 - Relación entre área basimétrica normal, medida a 1,30 m, y área basimétrica basal o rasante, medida a nivel del suelo, en las 52 cepas estudiadas.

2 - Variables de estado fisiológico

El estado fisiológico de las cepas fue evaluado en los dos grupos de cepas considerados bajo condiciones homólogas de temperatura y humedad relativa del aire. Bajo estas condiciones, el potencial hídrico de madrugada (PHB) resultó ser significativamente menor en las cepas de ‘mala’ calidad (-11,2%) mientras que las diferencias en el resto de variables (menor potencial hídrico de mediodía y mayor conductancia estomática en las cepas ‘malas’) no mostraron una tendencia suficientemente consistente entre parejas (Tabla 2). Este comportamiento se mantiene también cuando se excluye de la muestra el Grupo 1 de cepas singulares (ver apartado de Resultados).

Tabla 2 - Estadísticos descriptivos de las variables de estado fisiológico.

Variable (Y)	Calidad Cepas (Xi)	N	Media \pm sd	Mínimo	Máximo	Estimación del efecto de la Calidad de la Cepa (β_1)		
						β_1	L-ratio	Sig.
PHB (MPa) Potencial hídrico de madrugada	B	26	-1.91 \pm 0.86	-3.85	-0.80	0.24	5.59	0.018 *
	M	26	-2.14 \pm 0.86	-3.55	-0.80			
	Total	52	-2.02 \pm 0.86	-3.85	-0.80			
PHM (MPa) Potencial hídrico de mediodía	B	26	-3.31 \pm 0.61	-4.35	-2.30	0.14	1.30	0.255 (NS)
	M	26	-3.45 \pm 0.57	-4.40	-2.35			
	Total	52	-3.38 \pm 0.59	-4.40	-2.30			
DPH (MPa) Diferencia PHB – PHM	B	26	1.4 \pm 0.49	0.50	2.65	0.09	0.32	0.572 (NS)
	M	26	1.31 \pm 0.59	0.40	3.00			
	Total	52	1.35 \pm 0.53	0.40	3.00			
IG (mmol m ⁻² s ⁻¹) Conductancia estomática	B	26	106.57 \pm 44.63	36.73	216.43	-5.14	0.12	0.733 (NS)
	M	26	111.7 \pm 62.07	54.83	298.57			
	Total	52	109.13 \pm 53.59	36.73	298.57			

Niveles de significación: ***, p <0.001; **, p <0.010; *, p <0.05; . p <0.1 ; NS: No Significativo

N: tamaño muestral. Xi: calidad de las cepas (Xi=1 para cepas con buen estado vegetativo ‘B’, y Xi= 0 para las de malo ‘M’) β_1 : Efecto fijo del factor ‘Calidad de la cepa’ sobre la media. L-ratio = $-2(\log\text{Verosimilitud}(M_1) - \log\text{Verosimilitud}(M_0))$, donde M_1 y M_0 , simbolizan respectivamente los modelos con y sin efecto de la calidad de las cepas (β_1): $M_0: Y_{ij} = \beta_0 + \sigma_j + e_{ij}$ // $M_1: Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \cdot Xi + \sigma_j + e_{ij}$.

Los rangos de valores observados en las variables de estado fisiológico indican condiciones de ámbito mesófilo. Las diferencias en el potencial hídrico de madrugada (PHB), sugieren una ligera menor capacidad nocturna de recuperación del estado hídrico en las cepas del grupo M. No obstante, las diferencias encontradas en el conjunto de las variables fisiológicas no son suficientes como para asumir que existe un comportamiento diferenciado entre cepas malas y buenas en lo relativo a tasas de transpiración o a carbono asimilado a través de la fotosíntesis por unidad de superficie foliar. Por lo tanto, se considera que la ausencia de diferencias significativas en el potencial hídrico al mediodía o la conductancia estomática entre cepas buenas y malas permite considerar que el comportamiento funcional en ambos grupos de cepas es semejante. Consecuentemente, el diferente estado de foliación de los dos grupos de cepas no puede imputarse a una causa fisiológica o funcional, y a su vez considerar que el estado de decaimiento valorado por morfología no parece tener influencia en la actividad funcional de las hojas.

3 - Variables de morfología foliar

En la Tabla 3 se presentan los estadísticos descriptivos de este grupo de variables y los resultados del análisis del efecto del factor “calidad de cepas”, excluidos del análisis los valores de las parejas del grupo 1 de cepas singulares, previamente definido en el apartado de *Resultados*.

Para las cepas de “mala calidad”, las hojas han resultado tener una masa foliar media por unidad de superficie (LMA) significativamente mayor, mientras que la superficie foliar por cepa (SFC) y el LAI son sensiblemente más bajos, con valores medios próximos al 50 % de los correspondientes a las cepas de “buena calidad”. Estas diferencias son atribuibles al criterio de selección en el muestreo realizado. Efectivamente, la elección de la muestra del grupo “mala calidad” se basa en un evidente peor estado de foliación de sus copas.

Tabla 3 - Estadísticos descriptivos de las variables de morfología foliar, excluidas las parejas 2GU, 3GU, 5GU, 22CT, 24RC y 26 RC.

Variable (Yi)	Calidad Cepas (Xi)	N	Media± sd	Mínimo	Máximo	Estimación del efecto de la Calidad de la Cepa (β_1)		
						β_1	L-ratio	Sig.
SMH (cm ²) Superficie media de hoja	B	20	1.92 ± 0.74	0.90	3.50	- 0.04	0.02	0.878 (NS)
	M	20	1.95 ± 0.69	1.00	2.90			
	Total	40	1.93 ± 0.7	0.90	3.50			
LMA (mg cm ⁻²) Masa foliar media por unidad de superficie	B	20	24.49 ± 2.51	18.50	30.20	- 1.91	5.47	0.025 (*)
	M	20	26.4 ± 2.65	21.70	30.30			
	Total	40	25.45 ± 2.73	18.50	30.30			
SFC (m ²) Superficie foliar por cepa	B	20	27.08 ± 18.88	4.20	71.80	14.30	15.28	<0.001 (***)
	M	20	14.53 ± 11.09	2.43	49.06			
	Total	40	20.81 ± 16.55	2.43	71.80			
LAI (m ² m ⁻²) Índice de área foliar	B	20	6.36 ± 3.62	1.87	15.64	2.73	13.95	<0.001 (***)
	M	20	3.63 ± 2.76	1.08	11.14			
	Total	40	5.00 ± 3.46	1.08	15.64			

Niveles de significación: ***, p <0.001; **, p <0.010; *, p <0.05; · p <0.1 ; NS: No Significativo

N: tamaño muestral. Xi: calidad de las cepas (Xi=1 para cepas con buen estado vegetativo 'B', y Xi= 0 para las de malo 'M') β_1 : Efecto fijo del factor 'Calidad de la cepa' sobre la media. L-ratio = $-2(\log\text{Verosimilitud}(M_1) - \log\text{Verosimilitud}(M_0))$, donde M_1 y M_0 , simbolizan respectivamente los modelos con y sin efecto de la calidad de las cepas (β_1): $M_0: Y_{ij} = \beta_0 + \sigma_j + e_{ij}$ // $M_1: Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \cdot Xi + \sigma_j + e_{ij}$.

Sin embargo, el hecho de que el valor de LMA sea mayor en el grupo de "mala calidad" que en el grupo de "buena calidad", se podría explicar con algunos estudios que han relacionado una elevada LMA en especies perennifolias, de elevada longevidad, con lugares con elevada radiación solar, baja disponibilidad de nutrientes y baja disponibilidad de agua. Estos estudios, mencionados por OGAYA y PEÑUELAS (2007) al estudiar la variabilidad del LMA de la encina en Cataluña, relacionan altos valores de LMA con estrés hídrico estacional.

Las conclusiones de OGAYA y PEÑUELAS (2007) indican, además, una relación del valor del LMA con la variación del régimen térmico en un amplio territorio, directamente relacionado con la variación de la altitud sobre el nivel del mar. Por este motivo se ha evaluado la relación entre los valores de LMA y de SMH de la muestra de 56 cepas en Guadalajara con la altitud, que en el caso estudiado oscila entre los 725 y los 1.217 m. No se han encontrado relaciones significativas entre estos parámetros y la altitud como expresión del régimen térmico (las "r" de Pearson son en todos los casos inferiores a 0,5, con una varianza explicada en el modelo lineal correspondiente no superior a un 25 %). Por tanto, en el área estudiada el efecto de la estación en la morfología foliar en los ejemplares analizados puede considerarse como homogéneo.

4 - Variables de biomasa aérea

Los pesos secos medios de todas las fracciones de biomasa aérea resultan ser significativamente mayores en el grupo de cepas de 'buena calidad' que en el de 'mala calidad'. Dicha significación se mantiene tanto cuando se considera la muestra entera (N=52) como cuando se eliminan de la misma el Grupo 1 de cepas singulares (apartado de Resultados) (N=40). Los incrementos encontrados son particularmente altos para el caso del peso seco de hojas (PH) donde la media de las cepas 'buenas' prácticamente dobla a la de las cepas 'malas', confirmándose de nuevo el criterio visual de selección de calidades de cepas. Los valores medios junto con los resultados de los respectivos test L-ratio para el efecto de la 'calidad de cepa' se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4 - Estadísticos descriptivos de las variables de biomasa aérea, excluidas las parejas 2GU, 3GU, 5GU, 22CT, 24RC y 26 RC.

Variable (Y)	Calidad Cepas (Xi)	N	Media ± sd	Mínimo	Máximo	Estimación del efecto de la Calidad de la Cepa (β_1)		
						β_1	L-ratio	Sig.
PAL <2cm (kg)	B	20	14.68 ± 6.9	3.40	26.40			
Peso seco de parte aérea leñosa con $\emptyset < 2$ cm	M	20	10.68 ± 6.34	2.60	23.10	4.00	10.99	0.001 (**)
	Total	40	12.68 ± 6.85	2.60	26.40			
PAL >2cm (kg)	B	20	56.26 ± 31.83	6.40	111.90			
Peso seco de parte aérea leñosa con $\emptyset > 2$ cm	M	20	37.63 ± 22.02	9.10	85.90	18.63	10.44	0.001(**)
	Total	40	46.95 ± 28.62	6.40	111.90			
PAL (kg)	B	20	70.94 ± 37.74	9.80	136.10			
Peso seco de parte aérea leñosa	M	20	48.31 ± 27.49	13.10	100.80	22.63	11.27	<0.001 (***)
	Total	40	59.63 ± 34.55	9.80	136.10			
PH (kg)	B	20	6.91 ± 4.81	1.07	18.31			
Peso seco de hojas	M	20	3.71 ± 2.83	0.62	12.51	3.20	13.62	< 0.001 (****)
	Total	40	5.31 ± 4.22	0.62	18.31			
PAT (kg)	B	20	77.86 ± 41.79	10.90	153.10			
Peso seco total de la biomasa aérea	M	20	52.02 ± 29.81	14.10	106.90	25.84	12.17	< 0.001 (***)
	Total	40	64.94 ± 38.14	10.90	153.10			

Niveles de significación: ***, $p < 0.001$; **, $p < 0.010$; *, $p < 0.05$; . $p < 0.1$; NS: No Significativo

N: tamaño muestral. Xi: calidad de las cepas ($X_i=1$ para cepas con buen estado vegetativo 'B', y $X_i=0$ para las de malo 'M') β_1 : Efecto fijo del factor 'Calidad de la cepa' sobre la media. L-ratio = $-2(\log \text{Verosimilitud}(M_1) - \log \text{Verosimilitud}(M_0))$, donde M_1 y M_0 , simbolizan respectivamente los modelos con y sin efecto de la calidad de las cepas (β_1): $M_0: Y_{ij} = \beta_0 + \sigma_j + e_{ij}$ // $M_1: Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_i + \sigma_j + e_{ij}$.

Las cepas con mal estado presentan por tanto menor biomasa foliar y leñosa en parte aérea. Estos resultados confirman el diferente desarrollo de cepas 'buenas' y 'malas' previamente detectado mediante las alturas máximas (Tabla 1). En este análisis, la biomasa foliar puede ser interpretada al mismo tiempo como causa y efecto de este deficiente desarrollo. Aunque el origen de la defoliación no esté claro, una vez que la disminución de área foliar se ha producido, cabe esperar que el crecimiento, la ramificación y los coeficientes mórficos disminuyan también, dado que la actividad fotosintética global va a decrecer como consecuencia de la menor superficie fotosintética por cepa.

Respecto a las relaciones de dependencia entre el área basimétrica (G_{normal}) y las distintas fracciones de la biomasa aérea evaluadas, la Figura 2 recoge los modelos de regresión elaborados, en los que se incluye la 'calidad de cepa' como factor fijo a fin de contrastar si cepas de igual tamaño se diferencian o no en su biomasa aérea en función de su estado vegetativo (se incluye el modelo que mejor se ajusta, un modelo potencial, para cada grupo de cepas). Los modelos más explicativos resultan ser los de la variable peso seco leñoso (PAL) con más del 85 % de la varianza explicada, mientras que los que asumen peor la variabilidad son los relativos al peso leñoso inferior a 2 cm (PAL<2) y el peso seco de las hojas (PH), situándose en torno a un 50 % de la varianza explicada para las cepas de "mala calidad".

En todos los casos, la diferencia en el comportamiento entre las cepas de "buena calidad" y las de "mala calidad" se pone claramente de manifiesto, con los modelos arrojando mayores valores de biomasa aérea para el primero de los grupos de cepas. Sin embargo, el efecto de la 'Calidad de cepa' resulta ser más fuerte para las fracciones pequeñas (Hojas y PAL<2) mientras que no resulta significativo para la fracción más gruesa (fracción leñosa de diámetro mayor de 2cm, PAL>2). Por lo tanto, el efecto de la calidad de la cepa sobre el desarrollo de la biomasa aérea parece centrarse en las fracciones pequeñas mientras que las variaciones encontradas en las fracciones gruesas parecen explicarse por las fluctuaciones en el área basimétrica de las cepas.

Estas relaciones de dependencia pueden complementar trabajos de estimación de biomasa de la especie, a efectos de cuantificar volumen o peso de leñas y carbono fijado, como los expuestos en MONTERO et al. (2005) y RUIZ-PEINADO et al. (2012).

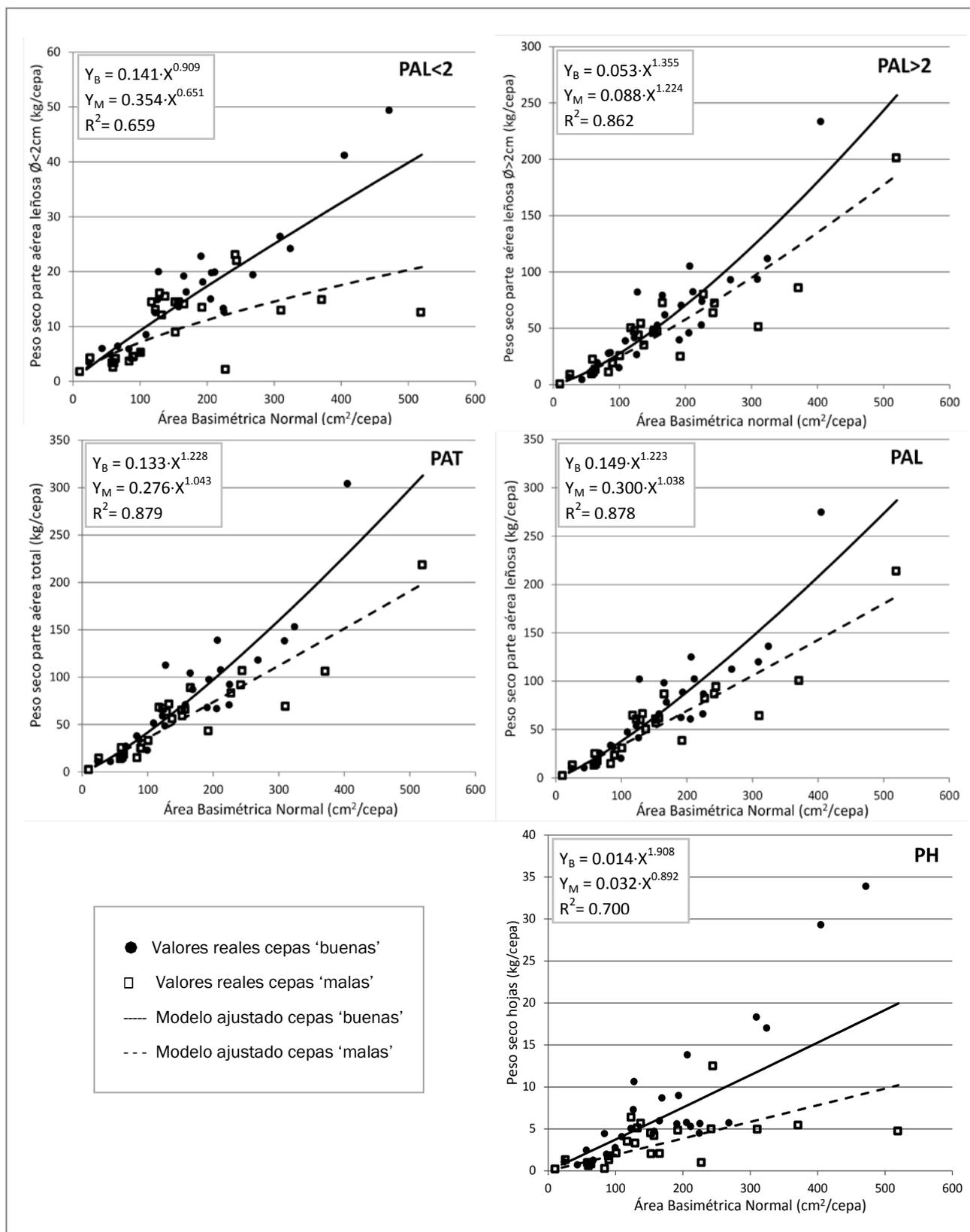


Figura 2 – Regresiones lineales entre el área basimétrica normal ($h=1,3m$) y el peso seco de las diferentes fracciones consideradas para la biomasa aérea de las cepas estudiadas ($n=52$) tomando la 'calidad' como factor fijo. Las ecuaciones de los modelos ajustados se muestran en la esquina izquierda de cada gráfico (Y_B : modelos para calidad 'buena' Y_M : modelos para calidad 'mala').

5 - Variables de biomasa subterránea

La Tabla 5 presenta los resultados de las variables de biomasa subterránea, excluidas las parejas de cepas 2GU, 3GU, 24RC, 25 RC, 17CU, 19TR y 21 CT (grupo 2 de cepas singulares). A su vez, previamente al análisis del fraccionamiento de la biomasa subterránea por cepas, se comprobó si la profundidad de enraizamiento era diferente en los dos grupos de cepas, no obteniéndose diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos de cepas. No obstante, si se observa que en las de estado vegetativo bueno la profundidad es algo mayor.

Tabla 5 - Estadísticos descriptivos de las variables de biomasa subterránea, excluidas las cepas: 2GU, 3GU, 24RC, 25 RC, 17CU, 19TR y 21 CT.

Variable (Y)	Calidad Cepas (Xi)	N	Media \pm sd	Mínimo	Máximo	Estimación del efecto de la Calidad de la Cepa (β_1)		
						β_1	L-ratio	Sig.
PR2 (kg)	B	19	12.71 \pm 10.75	0.40	47.07			
Peso seco de raíces de diámetro < 2 cm.	M	19	8.94 \pm 7.34	0.48	30.44	3.78	7.80	0.005**
	Total	38	10.83 \pm 9.28	0.40	47.07			
PR2-7 (kg)	B	19	16.25 \pm 10.55	1.59	36.25			
Peso seco de raíces con diámetro entre 2 y 7 cm.	M	19	16.54 \pm 15.17	0.99	66.31	-0.30	0.02	0.903 (NS)
	Total	38	16.4 \pm 12.89	0.99	66.31			
PR7 (kg)	B	19	32.37 \pm 26.54	2.68	103.54			
Peso seco de raíces de diámetro > 7 cm.	M	19	33.53 \pm 28.09	0.00	90.55	-1.17	0.05	0.829 (NS)
	Total	38	32.95 \pm 26.96	0.00	103.54			
PRT (Kg)	B	19	61.33 \pm 43.61	4.67	182.06			
Peso seco total del sistema radical	M	19	59.01 \pm 46.89	1.47	163.01	2.32	0.09	0.767 (NS)
	Total	38	60.17 \pm 44.68	1.47	182.06			
AT (cm ²)	B	19	376.42 \pm 210.74	75.70	763.07			
Superficie de tocones (Gbasal)	M	19	306.98 \pm 189.13	20.81	745.23	69.44	3.76	0.052 (NS)
	Total	38	341.7 \pm 200.61	20.81	763.07			
AR (cm ²)	B	19	714.95 \pm 484.23	176.00	2071.00			
Área de las secciones de raíces en piezas de diámetro > 7 cm	M	19	587.11 \pm 435.08	28.00	1437.00	127.84	3.50	0.061 (NS)
	Total	38	651.03 \pm 458.64	28.00	2071.00			

Niveles de significación: ***, p < 0.001; **, p < 0.010; *, p < 0.05; . p < 0.1 ; NS: No Significativo

N: tamaño muestral. Xi: calidad de las cepas (Xi=1 para cepas con buen estado vegetativo 'B', y Xi= 0 para las de malo 'M') β_1 : Efecto fijo del factor 'Calidad de la cepa' sobre la media. L-ratio = $-2(\log \text{Verosimilitud}(M_1) - \log \text{Verosimilitud}(M_0))$, donde M_1 y M_0 , simbolizan respectivamente los modelos con y sin efecto de la calidad de las cepas (β_1): $M_0: Y_{ij} = \beta_0 + \alpha_j + \epsilon_{ij}$ // $M_1: Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \cdot Xi + \alpha_j + \epsilon_{ij}$.

El grupo de cepas de "mala calidad" tiene valores de superficie de tocones (AT) y de área de sección de raíces en piezas mayores de 7 cm (AR) inferiores a los del grupo de "buena calidad". Dichas diferencias presentan valores de significación cercanos al límite contemplado de 0,05. Con respecto al peso de las diferentes fracciones resulta especialmente destacable el hecho de que el grupo de cepas de 'mala calidad' presenta en torno a un 30% menos de peso de raíces finas (PR2) que las cepas de 'buena calidad'. Por el contrario no se obtienen diferencias significativas para el resto de fracciones (PR2-7, PR7).

Por otra parte, se han elaborado relaciones entre los parámetros morfológicos de las cepas estudiadas: cocientes entre superficie de raíces y pesos de fracciones de la parte radical (cm²/kg) y cociente entre área de raíces y área de tocones (AR/AT en cm² cm⁻²). En la Tabla 6 se presenta el resumen de los resultados obtenidos.

Para todas las variables, los valores medios en las cepas de "buena calidad" son superiores a los de las de "mala calidad", lo cual indica que hay más superficie de sección de raíces por unidad de peso del sistema radical, o sus fracciones, en el caso de cepas de buen aspecto vegetativo. No obstante, las diferencias no resultan estadísticamente significativas entre los grupos de cepas, todo ello sin y con las exclusiones apuntadas.

Tabla 6 - Estadísticos descriptivos de las relaciones de cociente entre parámetros de biomasa subterránea, excluidas las cepas: 2GU, 3GU, 24RC, 25 RC, 17CU, 19TR y 21 CT (AR: Área de las secciones de raíces en piezas de diámetro > 7 cm; PRT: peso seco total del sistema radical; PR2: peso seco raíces de diámetro < 2 cm; PR2-7: peso seco raíces de diámetro entre 2 y 7 cm; PR7: peso seco raíces de diámetro > 7 cm; AT: área de tocones o Gbasal).

Variable (Y)	Calidad Cepas (Xi)	N	Media ± sd	Mínimo	Máximo	Estimación del efecto de la Calidad de la Cepa (β_1)		
						β_1	L-ratio	Sig.
AR/PR2	B	19	92.55 ± 100.62	20.41	467.66	18.28	0.55	0.464 (NS)
	M	19	74.27 ± 38.03	25.49	200.00			
	Total	38	83.41 ± 75.6	20.41	467.66			
AR/PR2-7	B	19	51.71 ± 24.11	8.09	118.17	10.36	1.68	0.203 (NS)
	M	19	41.35 ± 25.14	15.13	130.02			
	Total	38	46.53 ± 24.86	8.09	130.02			
AR/PR7	B	19	27.2 ± 13.72	4.42	70.23	5.69	1.66	0.206 (NS)
	M	19	21.51 ± 13.54	0.00	55.05			
	Total	38	24.35 ± 13.75	0.00	70.23			
AR/PRT	B	19	13.77 ± 7.5	2.51	40.25	2.28	1.74	0.187 (NS)
	M	19	11.49 ± 5.28	5.58	26.93			
	Total	38	12.63 ± 6.5	2.51	40.25			
AR/AT	B	19	1.95 ± 0.69	1.02	3.42	0.10	0.19	0.667 (NS)
	M	19	1.85 ± 0.7	0.80	3.36			
	Total	38	1.9 ± 0.69	0.80	3.42			

Niveles de significación: ***, p < 0.001; **, p < 0.010; *, p < 0.05; ·, p < 0.1; NS: No Significativo

N: tamaño muestral. Xi: calidad de las cepas (Xi=1 para cepas con buen estado vegetativo 'B', y Xi= 0 para las de malo 'M') β_1 : Efecto fijo del factor 'Calidad de la cepa' sobre la media. L-ratio = $-2(\log\text{Verosimilitud}(M_1) - \log\text{Verosimilitud}(M_0))$, donde M_1 y M_0 , simbolizan respectivamente los modelos con y sin efecto de la calidad de las cepas (β_1): $M_0: Y_{ij} = \beta_0 + \alpha_j + e_{ij}$ // $M_1: Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 Xi + \alpha_j + e_{ij}$.

6 - Variables de relación entre biomasa subterránea y biomasa aérea

A partir de la información de las fracciones de biomasa aérea y subterránea de cada cepa, se han elaborado una serie de parámetros de relación con superficies de raíces en piezas de más de 7 cm de diámetro. Excluidas las cepas singulares del grupo 2 (2GU, 3GU, 24RC, 25 RC, 17CU, 19TR y 21 CT), la Tabla 7 recoge los resultados obtenidos para estos parámetros.

Los cocientes de superficie de sección de raíces en relación con la biomasa aérea leñosa total y sus fracciones presentan una gran semejanza en los dos grupos de cepas estudiados. Sin embargo, hay notables diferencias en relación con el peso de hojas y con la superficie foliar por cepa, mostrándose en ambos casos diferencias estadísticamente significativas. De esta forma, los valores del grupo de cepas de "mala calidad" muestran valores significativamente mayores, como consecuencia de una menor biomasa foliar.

Tomando en consideración los valores relativos de fracciones de biomasa en lugar de los valores absolutos (Tabla 8), el grupo de cepas de "buena calidad" tiene, globalmente, mayor proporción de biomasa aérea y menor proporción de biomasa radical que las del grupo "mala calidad" (Figura 3) aunque estas diferencias resultan ser significativas únicamente con el 90% de probabilidad. En conjunto, se obtiene una proporción global para la biomasa aérea del 54% y del 46% para la biomasa subterránea, proporciones diferentes a las presentadas para la especie por MONTERO et al. (2005), 34,6% raíces y 65,4% parte aérea en montes adhesados, o por RUIZ-PEINADO et al. (2012), 33 % raíces y 67% parte aérea, en cuya muestra se incluyen ejemplares de monte alto.

Tabla 7 - Estadísticos descriptivos de las relaciones de cociente entre parámetros de superficie de sección de raíces y de biomasa aérea, sin las cepas: 2GU, 3GU, 24RC, 25 RC, 17CU, 19TR y 21 CT. (AR: Área de secciones de raíces en piezas de diámetro > 7 cm; PAT: peso seco total de biomasa aérea; PAL: peso seco de la parte aérea leñosa; PAL+2: peso seco de la parte aérea leñosa de diámetro > 2 cm; PAL-2: peso seco de la parte aérea leñosa de diámetro < 2 cm; PH: peso seco de hojas; SFC: superficie foliar por cepa)

Variable (Y)	Calidad Cepas (Xi)	N	Media ± sd	Mínimo	Máximo	Estimación del efecto de la Calidad de la Cepa (β_1)		
						β_1	L-ratio	Sig.
AR/PAL+2 (cm ² /kg)	B	19	15.16 ± 8.95	4.23	42.53	-1.49	0.99	0.321 (NS)
	M	19	16.7 ± 9.05	6.59	41.18			
	Total	38	15.93 ± 8.91	4.23	42.53			
AR/PAL-2 (cm ² /kg)	B	19	50.15 ± 23.82	14.08	97.3	-2.26	0.10	0.749 (NS)
	M	19	52.34 ± 19.3	15.3	88.85			
	Total	38	51.24 ± 21.41	14.08	97.3			
AR/PH (cm ² /kg)	B	19	127.02 ± 60.13	34.85	268.57	-78.27	4.10	0.050 (*)
	M	19	205.3 ± 157.45	74.52	775.86			
	Total	38	166.16 ± 124.07	34.85	775.86			
AR/PAL (cm ² /kg)	B	19	10.93 ± 4.7	3.25	18.06	-0.75	0.25	0.618 (NS)
	M	19	11.68 ± 4.52	5.05	20.76			
	Total	38	11.3 ± 4.56	3.25	20.76			
AR/PAT (cm ² /kg)	B	19	9.95 ± 4.16	2.98	16.92	-0.95	0.50	0.482 (NS)
	M	19	10.9 ± 4.13	4.73	19.66			
	Total	38	10.42 ± 4.12	2.98	19.66			
AR/SFC (cm ² /m ²)	B	19	32.38 ± 15.31	8.89	68.36	-19.96	4.10	0.050 (*)
	M	19	52.34 ± 40.05	19.00	197.37			
	Total	38	42.36 ± 31.57	8.89	197.37			

Niveles de significación: ***, p < 0.001; **, p < 0.010; *, p < 0.05; · p < 0.1; NS: No Significativo

Tabla 8- Estadísticos descriptivos del peso seco, por fracciones, de las partes aérea y subterránea de las cepas estudiadas (todos los pesos en valor relativo respecto del peso total), sin cepas: 2GU, 3GU, 24RC, 25 RC, 17CU, 19TR y 21 CT.

Variable (Y)	Calidad Cepas (Xi)	N	Media ± sd	Mínimo	Máximo	Estimación del efecto de la Calidad de la Cepa (β_1)		
						β_1	L-ratio	Sig.
PA2 (%) Peso seco biomasa aérea de diámetro < 2 cm	B	19	12.52 ± 7.18	6.26	37.97	0.81	0.76	0.385 (NS)
	M	19	11.71 ± 7.96	4.54	42.86			
	Total	38	12.12 ± 7.49	4.54	42.86			
PA2-7 (%) Peso seco biomasa aérea de diámetro entre 2 y 7 cm	B	19	21.89 ± 5.85	10.18	32.01	2.74	3.17	0.075 (NS)
	M	19	19.14 ± 6.85	10.12	33.23			
	Total	38	20.51 ± 6.44	10.12	33.23			
PA7 (%) Peso seco biomasa aérea de diámetro > 7 cm	B	19	18.08 ± 10.37	0	38.44	1.28	0.64	0.425 (NS)
	M	19	16.8 ± 11.2	0	33.93			
	Total	38	17.44 ± 10.66	0	38.44			
PH (%) Peso seco biomasa de hojas	B	19	4.62 ± 1.21	2.7	7.64	1.32	9.05	0.005 (**)
	M	19	3.26 ± 1.45	0.89	5.66			
	Total	38	3.94 ± 1.49	0.89	7.64			
PAT (%) Peso seco total biomasa aérea	B	19	57.1 ± 10.11	37.58	76.31	6.20	2.91	0.097 (NS)
	M	19	50.91 ± 12.18	28.6	75.69			
	Total	38	54.01 ± 11.48	28.6	76.31			
PR2 (%) Peso seco de raíces de diámetro < 2 cm	B	19	8.92 ± 5.1	2.53	21.57	0.76	0.66	0.417 (NS)
	M	19	8.17 ± 3.68	3.28	18.1			
	Total	38	8.54 ± 4.4	2.53	21.57			
PR2-7 (%) Peso seco de raíces de diámetro entre 2 y 7 cm	B	19	11.65 ± 3.31	7.73	18.53	-3.66	5.49	0.019 (*)
	M	19	15.32 ± 7.06	5.07	30.51			
	Total	38	13.49 ± 5.75	5.07	30.51			
PR7 (%) Peso seco de raíces de diámetro > 7 cm	B	19	22.33 ± 7.17	11.49	35.94	-3.27	1.47	0.226(NS)
	M	19	25.6 ± 11.87	0	46.66			
	Total	38	23.96 ± 9.81	0	46.66			
PRT (%) Peso seco total de biomasa radical.	B	19	42.9 ± 10.11	23.69	62.42	-6.17	2.88	0.099 (NS)
	M	19	49.09 ± 12.18	24.31	71.4			
	Total	38	45.99 ± 11.48	23.69	71.4			

Niveles de significación: ***, p < 0.001; **, p < 0.010; *, p < 0.05; · p < 0.1; NS: No Significativo

Resultan similares las proporciones del presente estudio a las expuestas por GRACIA et al. (2005) para montes bajos.

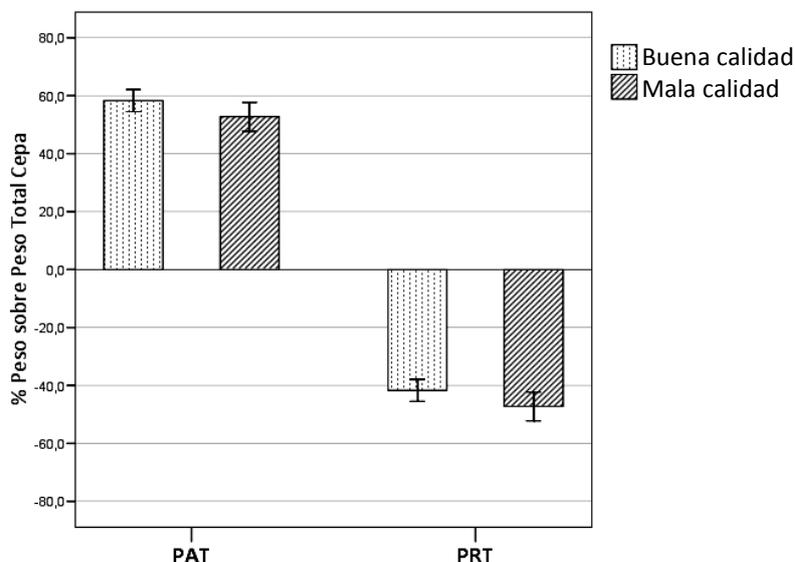


Figura 3 – Porcentajes de peso seco de la biomasa aérea (PAT) y la subterránea (PRT) con respecto total de la cepa, para los dos grupos de cepas definidos por el factor “calidad”. Las barras de error representan el intervalo de confianza para las medias estimadas en cada grupo (nivel confianza 95 %).

La Figura 4 muestra las diferencias de valores relativos medios en cada una de las fracciones de biomasa consideradas. Se observa que se mantiene una mayor proporción de peso de todas las fracciones de la biomasa aérea en el grupo de cepas de “buena calidad”, especialmente en el de hojas (PH) que resulta estadísticamente significativo, resultados que concuerdan con los obtenidos para los valores absolutos (Tabla 4).

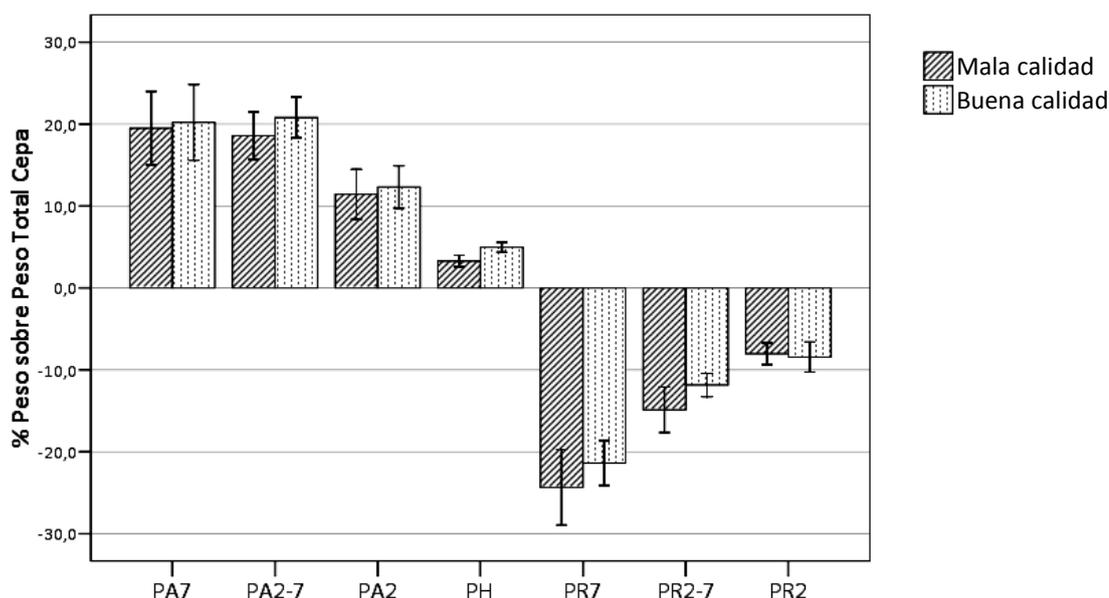


Figura 4 – Porcentaje de peso seco de las diferentes fracciones de biomasa aérea y subterránea con respecto al total de la cepa en función de la “calidad” de las mismas (PA7: parte aérea leñosa con $\varnothing > 7$ cm; PA2-7: parte aérea leñosa con $2\text{cm} < \varnothing < 7\text{cm}$; PA2: parte aérea leñosa con $\varnothing < 2$ cm; PH: hojas; PR7: raíces con $\varnothing > 7$ cm; PR2-7: raíces con $2\text{cm} < \varnothing < 7\text{cm}$; PR2: raíces con $\varnothing < 2$ cm). Las barras de error representan el intervalo de confianza para las medias estimadas en cada grupo (nivel confianza 95 %).

El grupo de cepas de “mala calidad” presenta mayor proporción de biomasa radical en las fracciones gruesas, diámetro mayor de 7 cm (PR7) y diámetros entre 7 y 2 cm (PR2-7), y en el global (PRT), si bien sólo resulta estadísticamente significativa la fracción de tamaño intermedio (PR2-7). Los valores para raíces de menos de 2 cm de diámetro (PR2) son muy semejantes en ambos grupos de cepas, aunque ligeramente superiores en el grupo de “buena calidad”.

Estos resultados parecen confirmar la hipótesis de considerar que la acumulación de tejidos vivos (parénquimas) en las partes gruesas de las cepas de encinas varias veces recepadas provoca un consumo excesivo de hidratos de carbono, que podrían ser destinados al mantenimiento y formación de raíces finas, responsables de la absorción de agua y nutrientes. El déficit de raíces finas, traducido en incapacidad de absorción con efectos equivalentes a procesos de sequía, puede estar relacionado con los puntisecados y la reducción de superficie foliar.

6. Conclusiones

El análisis y valoración de los resultados obtenidos ha permitido extraer el conjunto de conclusiones que a continuación se exponen y que satisfacen los objetivos fijados en el estudio.

- No se han observado diferencias significativas entre los grupos de cepas considerados respecto a las formas de la parte aérea en lo referente a diámetro y número de brotes, mientras que si se han identificado en lo relativo a la superficie de hojas y el peso foliar. El criterio de selección de la muestra, seleccionando parejas de cepas con semejante estado de desarrollo donde una de ellas presenta peor estado vegetativo con puntisecado y deficiente foliación, queda así corroborado.

- El comportamiento funcional de ambos grupos de cepas se valora como homogéneo, al no encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre los valores de potencial hídrico al mediodía y de conductancia estomática. El menor potencial hídrico de madrugada en el grupo de cepas de peor estado vegetativo sugiere una ligera menor capacidad de recuperación de su estado hídrico. Se deduce, consecuentemente, que la causa del diferente estado de foliación de los dos grupos de cepas no parece tener un origen fisiológico y que el estado de decaimiento valorado por el estado de foliación no tiene influencia en la actividad funcional de las hojas.

- En relación a la morfología foliar, el grupo de cepas de peor estado vegetativo muestra valores de masa foliar media por unidad de superficie (LMA en mg cm^{-2}) significativamente superiores. Para estas cepas el valor de LAI ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) es inferior por causa de la selección realizada en el muestreo.

- Las cepas del grupo de “mala calidad” muestran menor altura máxima y menos biomasa leñosa en parte aérea. El análisis detallado de las relaciones entre el peso de las diferentes fracciones de la biomasa aérea y el área basimétrica normal, reflejan que el efecto de la ‘calidad de la cepa’ sobre el desarrollo de la parte aérea de la cepa se centra particularmente en las fracciones de menor tamaño (hojas y $\text{PAL} < 2$) mientras que la variabilidad de la $\text{PAL} > 2$ se explica mayoritariamente por la variación en área basimétrica. Por tanto hay que interpretar que la ramificación y los coeficientes mórficos son mayores en las cepas del grupo B, en correspondencia con una mayor actividad fotosintética debida a su mayor superficie foliar.

- Con respecto a la biomasa subterránea, el peso seco de las raíces finas (PR2) y el porcentaje de las de diámetros comprendidos entre 2 y 7 cm (%PR2-7) parecen ser factores clave para explicar el diferente estado vegetativo encontrado en las cepas de la muestra. Así, las cepas de ‘mala calidad’ presentaron pesos absolutos de raíces finas (PR2) significativamente menores y porcentajes de raíces gruesas (%PR2-7) significativamente mayores que los de las cepas buenas.

- De las observaciones realizadas en la extracción de los sistemas radicales se deduce, cualitativamente, que no todos los ejemplares de encina que presentan varios tallos juntos en la base

han tenido un recepe previo y, por otra parte, que el injerto de raíz de brinzales de encina sobre la trama de raíces de pies recepados preexistentes es posible.

Todos estas conclusiones llevan finalmente a considerar que las diferencias biométricas observadas parecen confirmar la hipótesis de que una acumulación relativa de biomasa subterránea está relacionada con el decaimiento en cepas de especies brotadoras tras sucesivos recepes particularmente cuando la cantidad de raíces finas, las de mayor capacidad de absorción, es menor de lo normal. La recomendación selvícola derivada de este estudio, dada la imposibilidad genérica de actuar sobre los sistemas radicales, es reducir la biomasa leñosa con escasa foliación (pies dominados) en la parte aérea, mediante resalveos de conversión en monte bajo, manteniendo la mayor superficie foliar posible y favoreciendo el desarrollo lateral de las copas.

7. Agradecimientos

Este trabajo se realizó en el marco del Proyecto de Investigación *Dehesas y Tallares de Encina en la España mediterránea: propuestas de gestión para la sostenibilidad de dos sistemas forestales paradigmáticos (De.Tall.E)*, financiado por el INIA (RTA2009-00110-00-00). Los autores agradecen muy especialmente a Gregorio Montero sus enseñanzas dentro del campo de la Selvicultura, en general, y en la gestión de los montes bajos, en particular, siempre acertadas y generosas.

8. Bibliografía

AUSSENAC, G.; GRANIER, A.; BRÉDA, N.; 1995. Effets des modifications de la structure du couvert forestier sur le bilan hydrique, l'état hydrique des arbres et la croissance. *Revue Forestière Française*, XLVII, n° 1 (55-62).

BRAVO, F. (coord.); 2007. El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. Fundación Gas Natural. Barcelona. España. 315 pp.

BRAVO FERNÁNDEZ, J.A.; ROIG GÓMEZ, S.; SERRADA HIERRO, R.; 2008. Selvicultura en montes bajos y medios de encina (*Quercus ilex* L.), rebollo (*Q. pyrenaica* Willd.) y quejigo (*Q. faginea* Lam.): tratamientos tradicionales, situación actual y principales alternativas. En SERRADA, R.; MONTERO, G.; REQUE, J. (editores); 2008. Compendio de Selvicultura Aplicada en España. INIA y FUCOVASA. Madrid. (657 – 745).

CAÑELLAS, I.; 1993. Ecología, características y usos de los coscojares (*Quercus coccifera* L.) en España. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 574 pp.

CAÑELLAS, I.; SAN MIGUEL, A.; 1996. Biomasa subterránea de los matorrales de *Quercus coccifera* en el este de España. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.*, Vol.5, N° 2 (189-200).

CARRASCO, A. (director); 2009. Procesos de Decaimiento Forestal (la Seca), Situación del Conocimiento. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Córdoba. 112 pp.
https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Publicaciones_Divulgacion_Y_Noticias/Documentos_Tecnicos/decaimiento_forestal/procesos_decaimiento_forestal_1.pdf

CORCOBADO, T.; MORENO, G.; AZUL, A.M.; SOLLA, A.; 2015. Seasonal variations of ectomycorrhizal communities in declining *Quercus ilex* forests: interactions with topography, tree health status and *Phytophthora cinnamomi* infections. *Forestry* 88(2): 257-266.

de OLAZABAL, L.; 1883. Ordenación y valoración de montes. Madrid. 517 pp.

de SAMPAIO e PAIVA CAMILO-ALVES, C.; da CLARA, M.I.E.; de ALMEIDA RIBEIRO, N.M.C.; 2013. Decline of Mediterranean oak trees and its association with *Phytophthora cinnamomi*: a review. *Eur J Forest Res* 132: 411.

FERNÁNDEZ, J.A.; MONTERO, G.; 1993. Prospección de secas en *Quercus* de Extremadura y La Mancha. *MONTES* 32, pp. 32 - 36.

GRACIA, C.; SALA, A.; SABATÉ, S.; 1993. Aspectos ecofisiológicos relacionados con la producción de los encinares mediterráneos. Congreso Forestal Español. Lourizán 1993. Ponencias y comunicaciones. Tomo 1, p.209-218.

GRACIA, C.; BELLOT, J.; SABATÉ, S.; ALBEZA, E.; DJEMA, A.; LEÓN, B.; LÓPEZ, B.; MARTÍNEZ, J.M.; RUIZ, I.; TELLO, E.; 1997. Análisis de la respuesta de *Quercus ilex* L. a tratamientos de resalveo selectivo. En VALLEJO, R. (editor). La restauración de la cubierta vegetal de la Comunidad Valenciana (547-601). Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo. Diciembre 1996.

GRACIA, C.; SABATÉ, S.; LÓPEZ, B.; 1999. Aplicación de la relación funcional entre la biomasa aérea y subterránea para una gestión del encinar encaminada a su conversión en monte alto. *Programa de investigación y desarrollo en relación con la restauración de la cubierta vegetal: Reunión de Coordinación*. (190-201). Castellón, del 22 al 24 de septiembre de 1999.

GRACIA, C.; GIL, L.; MONTERO, G.; 2005. Evaluación del impacto climático sobre el sector forestal. En: MORENO, J.M. (ed.); Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, p. 399-435.

JUNTA DE EXTREMADURA; 2001. "La seca" en las especies mediterráneas del género *Quercus*. *Hojas divulgativas*. Consejería de Agricultura y Medio Ambiente. Junta de Extremadura. Badajoz. 29 pp.

MONTERO, G.; RUIZ-PEINADO, R.; MUÑOZ, M.; 2005. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. *Monografías INIA, Serie Forestal* 13. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid, España, 270 pp.

OGAYA, R.; PEÑUELAS, J.; 2007. Leaf mass per area ratio in *Quercus ilex* leaves under a wide range of climatic conditions. The importance of low temperatures. *Acta Oecologica* 31 (2007) 168-173.

OJEDA, F.; 2001. El fuego como factor clave en la evolución de plantas mediterráneas. Ecosistemas Mediterráneos. Análisis Funcional. Simposio de la Sociedad Española de Ecología Terrestre. Granada, del 11 al 13 de febrero de 2000 (319-349). *Colección Textos Universitarios*, nº 32. CSIC. AEET.

PINHEIRO, J.; BATES, D.; DEBROY, S.; SAKAR, D.; RCoreTeam. 2016. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-128.

RUIZ-PEINADO, R.; MONTERO, G.; DEL RIO, M.; 2012. Biomass models to estimate carbon stocks for hardwood tree species. *Forest Systems* 2012 21(1): 42-52. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Madrid.

RUIZ-PEINADO, R.; ROIG, S.; SERRADA, R.; BRAVO-FERNÁNDEZ, J.A.; 2015. ¿Cuánto carbono retienen nuestros antiguos montes leñeros? Ecuaciones de biomasa para tallares de encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota* L.) y quejigo (*Q. faginea* Lam.) en la zona centro de la Península Ibérica. *Remedia Workshop*. Madrid.

SALOMÓN, R.; 2015. Unearthing the roots of degradation of *Quercus pyrenaica* coppices: an integrative perspective from clonal structure to carbon budgets. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 188 pp.

SALOMÓN, R.; VALBUENA-CARABAÑA, M.; RODRÍGUEZ-CALCERRADA, J.; AUBREY, D.; MCGUIRE, M.; 2015. Xylem and soil CO₂ fluxes in a *Quercus pyrenaica* Willd. coppice: root respiration increases with clonal size. *Annals of Forest Science* (2015) 72: 1065-1078.

SALOMÓN, R.; RODRÍGUEZ-CALCERRADA, J.; ZAFRA, E.; MORALES-MOLINO, C.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, A.; GONZÁLEZ-DONCEL, I.; OLEKSYN, J.; ZYTKOWIAK, R.; LÓPEZ, R.; MIRANDA, J.C.; GIL, L.; VALBUENA-CARABAÑA, M.; 2016. Unearthing the roots of degradation of *Quercus pyrenaica* coppices: A root-to-shoot imbalance caused by historical management? *Forest Ecology and Management* 363 (2016) 200–211.

SÁNCHEZ-PALOMARES, O.; LÓPEZ SENESPLEDA, E.; ROIG GÓMEZ, S.; VÁZQUEZ de la CUEVA, A.; GANDULLO GUTIÉRREZ, J.M.; 2012. Las estaciones ecológicas actuales y potenciales de los encinares españoles peninsulares. *Monografías INIA: Serie Forestal*. nº 23-2012.

SERRADA, R.; 2011. Apuntes de Selvicultura. Fundación Conde Valle de Salazar. ETSI Montes. EUIT Forestal. U.P.M. Madrid.

SERRADA, R.; ALLUÉ, M.; SAN MIGUEL, A.; 1992. The coppice system in Spain. Current situation, state of art and major areas to be investigated. Arezzo, September 24-25 1992. *Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura*, XXIII, 266-275. Arezzo.

SERRADA HIERRO, R.; AROCA FERNÁNDEZ, M.J.; ROIG GÓMEZ, S.; BRAVO FERNÁNDEZ, J.A.; GÓMEZ SANZ, V.; 2011. Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector forestal. Notas sobre gestión adaptativa de las masas forestales ante el cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid. 126 pp.

SERRADA HIERRO, R.; BRAVO-FERNÁNDEZ, J.A.; OTERO de IRIZAR, J.; RUIZ-PEINADO GERTRUDIX, R.; MUTKE REGNERI, S.; ROIG GÓMEZ, S.; 2013. El bosque invisible bajo el monte bajo: una mirada al sistema radical de las cepas de encina. *Actas del 6º Congreso Forestal Español*. SECF. Vitoria.

UGARTE, J.; VÉLAZ de MEDRANO, L.; 1921. La encina y su explotación. Catecismos del agricultor y del ganadero. Calpe. Madrid. 32 pp.

VERICAT, P.; PIQUÉ, M.; SERRADA, R.; 2012. Gestión adaptativa al cambio global en masas de *Quercus* mediterráneos. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Solsona (Lleida). 172 p.

ZUUR, A.; LENO, E.N.; WALKER, N.; SAVELIEV, A.A.; SMITH, G.M., 2009. Mixed effects models and extensions in ecology with R. Springer-Verlag New York, New York. doi:10.1007/978-0-387-87458-