

# ESTUDIO SOBRE BIOMETRÍA Y MORFOLOGÍA DEL SISTEMA RADICAL DE UNA REPOBLACIÓN DE ALCORNOQUE EN EL T.M. DE CALZADA DE OROPESA (TOLEDO)

R. SERRADA HIERRO <sup>1</sup> ; M. SERRADA REDONDO <sup>1</sup>

(1) U.D. Selvicultura y Pascicultura. E.U.I.T. Forestal (U.P.M.). Ciudad Universitaria, s/n. 28040 Madrid. Tfno: 91 3367659. Fax: 91 5446025. e-mail: serrada@forestales.upm.es

## RESUMEN

En relación con los trabajos que se están llevando a cabo en la investigación del Proyecto FOA1997-1651 (CICYT-INIA) "Estudio de los efectos diferidos de las deformaciones radicales producidas en el cultivo de plantas forestales sobre pies de masas repobladas", se han tomado datos sobre una repoblación forestal de alcornoque (*Quercus suber* L.) de 17 años de edad, situada en Calzada de Oropesa (Toledo), compuesta por pies de diferente origen: plantación con planta cultivada en *paper-pot* y siembra directa. Se ha procedido a tomar una muestra de 33 ejemplares de diferente tamaño y origen. El apeo de la parte aérea ha permitido obtener información sobre biometría. La extracción de la cepa, caracterizar morfológicamente el sistema radical.

Se aporta información sobre: pesos de raíz, fuste, ramas y hojas; superficie y densidad foliar; analítica química foliar; morfología cualitativa de distribución de raíces laterales y de estructura de la raíz principal o pivot; morfología cuantitativa de la estructura del sistema radical mediante diferentes datos de superficies de la sección de las raíces y ratios de diferente naturaleza, excentricidad y asimetría de la troza basal del fuste, cocientes entre superficie radical y masa, y propuesta de un índice de calidad de distribución de raíces por superficie (IDRs). Se concluye con las siguientes observaciones: el origen de la planta no influye en la biometría general de la parte aérea, ni en el estado nutricional; la morfología cualitativa de los pies procedentes de semilla es mejor que la de los de *paper-pot*, teniendo estos últimos una mayor frecuencia de bifurcaciones en la raíz principal; no existen diferencias morfológicas cuantitativas importantes entre pies de los diferentes orígenes, aunque aparece cierta ventaja para los pies procedentes de semilla, especialmente en los índices de cociente entre superficie de secciones de raíces y masa de la cepa.

**P. C.:** *Quercus suber*; planta forestal; morfología del sistema radical.

## SUMMARY

In a reforestation of 17-years-old cork oak (*Quercus suber* L.), located in Calzada de Oropesa (Toledo), a sample composed of 33 trees which have different sizes and origins has been taken; those sources are plug seedlings using *paper-pot* containers and seeds, sowing them directly. The following data have been studied: roots, stems, branches and leaves weights; surface and density of the leaves; chemical analysis of the leaves; qualitative morphology of lateral roots distribution and taproots structure; quantitative morphology of the root system using data of the cross-section root surfaces and ratios of different ways; eccentricity and asymmetry of the basal block of the stem; relationships between root surfaces and the weight of the stumps; and the proposal of a quality index of the roots distribution using their surfaces (IDRs).

We concluded that: the origin of the plant hasn't influence in the general biometry of the shoot system, nor in its nutritional state; qualitative morphology of the sowing plants is better than in *paper-pot* seedling, those (*paper-pot* seedling) have their taproots bishaped more frequently; quantitative morphology differences between plants of both sources are not too important, although some indices, like the relationships between the surface of the cross-section roots and the weight of the stump, are better in sowing plants.

**K. W.:** *Quercus suber*; seedling; root system morphology.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Características del Área Experimental

El estudio se lleva a cabo en el monte conocido como "Dehesa Boyal", nº 26 del CUP, situado en el término municipal de Calzada de Oropesa (Toledo). En una zona de unas 10 ha se realizó, en la campaña 1982-83, una repoblación de alcornoque con empleo de planta cultivada en *paper-pot*, producida en un vivero de Andújar (Jaén) con semilla procedente de Cádiz (región de procedencia nº 7, según DÍAZ-FERNÁNDEZ *et al.*, 1995). Posteriormente, otoño de 1983, se procedió a reponer marras mediante siembra directa, colocando tres semillas por casilla, con bellota recogida en el mismo monte (región de procedencia nº 3). El diferente origen de los pies de alcornoque de 17 años, con una diferencia de edad de un año y sin diferencias estacionales entre los dos grupos, permiten justificar la elección de esta masa como lugar de estudio para los objetivos apuntados. La zona de estudio está asentada sobre terrenos Miocénicos, fundamentalmente sedimentos detríticos compuestos de materiales arcillosos, arenosos y margosos. Se realiza doble analítica edáfica, cuyos resultados figuran en SERRADA (1999). Las características fisiográficas del lugar de muestreo son: altitud media, 345 m; pendiente máxima, 10 %; pendiente mínima 0 %; exposición, solana. La clasificación fitoclimática (ALLUÉ, 1990) indica un subtipo fitoclimático IV<sub>4</sub>.

### Diseño del Muestreo

Para llevar a cabo el estudio se replanteó una parcela rectangular. Se situó de forma que recogiera una muestra representativa de los diferentes aspectos que los alcornokes presentan. Se forman, en principio, tres grupos: pies sin rebrotes en su base, que se supone que proceden de plantación con planta en envase de *paper-pot*, identificados con las siglas "PP"; pies que tienen brotes en la base, lo que hace pensar que proceden de siembra, ya que en la reposición de marras se colocaron tres bellotas por casilla, y uno de los pies habrá dominado a los demás, quedando el resto en forma de brotes de escasa talla, identificados con las siglas "S"; pies que miden menos de 1,30 m, identificados con las siglas "Q". Sobre una zona con una pendiente del 6% y exposición sur se replanteó una parcela, cuyas dimensiones son 100 m x 44 m; el lado mayor orientado hacia el norte, paralelo a la labor y en línea de máxima pendiente. Una vez replanteada la parcela, se procedió al inventario pie a pie de todos los alcornokes que había dentro de ella; midiendo a la vez su diámetro normal o la altura en el caso del tercer grupo, y agrupándolos por clases diamétricas o de altura. En total se inventariaron 171 pies, de los que 68 pertenecían al primer grupo, 75 al segundo y 28 al tercero. El siguiente paso fue elegir una muestra de 11 pies de cada grupo, para llevar a cabo el estudio. La elección de individuos se hizo de manera

que quedaran todas las clases diamétricas o de altura representadas, de forma directamente proporcional a su frecuencia.

Los materiales y metodología sobre biometría de la parte aérea y sobre morfología del sistema radical son los contenidos en SERRADA *et al.* (2001).

Finalmente, tras la extracción de las cepas se concluye con los siguientes tipos de pies: PP, grupo de pies sin brotes en el cuello de la raíz y/o con restos de *paper-pot*, compuesto finalmente de 15 ejemplares; S, grupo de pies con brotes en el cuello de la raíz y/o con varias cepas extraídas en una misma casilla, compuesto finalmente de 7 ejemplares con origen seguro de semilla; Q, grupo de pies con altura menor de 1,30 m, compuesto de 10 ejemplares, entre los que 7 presentan seguridad en cuanto a su origen en planta de *paper-pot*; y B, grupo de pies, identificado tras extracción, que se encontraban junto a otra cepa principal, procedentes, excepto dos, de semilla, compuesto de 8 ejemplares y cuya parte aérea fue cortada al menos dos veces en su vida.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### ***Resultados y Discusión Globales sobre Biometría***

En la tabla 1 se muestran los datos de la media, por clases diamétricas, según el diámetro de la base, de los siguientes valores biométricos: altura total, superficie de copa, peso de hojas, peso de ramillas, peso de fustes y ramas gruesas, peso de cepa, y peso total. La agrupación en clases diamétricas utilizando el diámetro en la base está justificado en el hecho de que, dentro de los pies de la masa estudiada, las bifurcaciones del fuste en alturas inmediatamente superiores o inferiores a 1,30 m eran muy numerosas, además de para poder integrar en esta forma de presentar los resultados a los pies de menos de 1,30 m. de altura. La información contenida en la tabla 1 -que agrupa pies de diversas procedencias, que tiene limitado el rango diametral y desequilibrado el número de árboles muestra según las clases- tiene un valor puramente cualitativo, sirviendo sus resultados de orientación sobre valores modulares referentes a proyección de la copa y a peso seco de las distintas partes del árbol.

Se han elaborado ecuaciones de regresión, eligiendo en cada caso la que daba mejor ajuste, de las diferentes variables que aparecen en la tabla 1, siendo en todas las ocasiones la variable independiente el diámetro. Dichas regresiones se expresan en la tabla 2. Se comprueba la alta capacidad de predicción del diámetro en la base (estrechamente relacionada con el diámetro normal) respecto de magnitudes características del desarrollo de la parte aérea de los pies, e incluso, respecto del peso de la biomasa del sistema radical. Las ecuaciones de la tabla 2 tienen valor predictivo dentro del rango de desarrollo de los pies estudiados y en la calidad de estación correspondiente. En la tabla 3 se presentan los resultados de los diferentes pesos agrupados por clases diamétricas, y expresados en valor relativo. Se reflejan la tendencia, en el desarrollo del alcornoque, a: reducir la importancia relativa de la biomasa del sistema radical, que pasa del orden del 60 % en estado de escaso desarrollo a valores del orden del 30% a la edad de latizal; aumentar la importancia relativa de la biomasa del fuste y ramas gruesas, que llega a alcanzar cerca de la mitad de la biomasa total en los pies de máximo desarrollo de los estudiados; mantener constante, a partir del orden de los 10 cm de diámetro en la base, la importancia relativa de la biomasa de las hojas y ramas finas.

### ***Resultados y Discusión Globales sobre Morfología Foliar***

En la tabla 4, y con intención puramente descriptiva, se presentan los datos globales medios agrupados por clases diamétricas, con los respectivos coeficientes de variación en tanto por ciento, de los valores que hacen referencia a la morfología foliar de los pies objeto de estudio; y en la tabla 5 se exponen las ecuaciones de regresión que mejor ajuste han dado de las variables presentes en la tabla 4, con el diámetro en la base como variable independiente. De los datos de la tabla 4 se desprenden las siguientes observaciones: los valores característicos de la hoja, superficie foliar unitaria y densidad foliar, tienden a permanecer constantes dentro del intervalo de desarrollo estudiado, a igualdad de edad; lógicamente, los valores que expresan la foliación total, SFT y SP, tienden a ser crecientes. De las ecuaciones presentes en la tabla 5 se deduce la buena capacidad predictiva del diámetro en la base del pie respecto de los dos valores que indican el estado de foliación: superficie foliar total, en  $m^2/\text{pie}$ ; y superficie foliar por unidad de proyección de la copa, valor expresado en  $m^2/m^2$  y que indica el espesor o altura de la copa del árbol. La correlación creciente entre superficie unitaria de la hoja y el diámetro del pie, con baja capacidad predictiva ( $R^2 = 75,42\%$ ), desdice la primera impresión y expresa que el tamaño medio de la hoja aumenta, dentro del intervalo estudiado, con el crecimiento del árbol, aunque muy débilmente. La ausencia de relación ( $R^2 = 12,21\%$ ) entre la densidad foliar y el tamaño del árbol, totalmente lógica, viene a indicar una constancia morfológica foliar predecible al ser todos los pies de edad semejante.

### ***Resultados y Discusión Globales sobre Analítica Foliar***

Los datos globales medios de cada uno de los grupos de pies establecidos según origen o desarrollo se presentan en la tabla 6, no encontrándose diferencias significativas. La comparación, salvando las diferencias de época de muestreo y de edad y origen con las masas estudiadas por MONTOYA & LOPEZ ARIAS (1998), sitúa a la parcela de Calzada de Oropesa en valores homologables a los de la especie. Se pueden apuntar valores de K y Mg cercanos al mínimo. La diferencia en cuanto al N, a favor de la parcela de Calzada de Oropesa, se puede explicar por la diferente época de muestro.

### ***Resultados y Discusión por Grupos sobre Biometría***

En la tabla 7 se presentan los resultados por grupos sobre biometría, indicando las medias de cada variable y su varianza. Además se han hecho análisis estadísticos (ANOVA) entre los grupos PP y S, y entre el Q y el B, para ver si son significativamente distintos o no, y en qué grado. Aunque las diferencias entre valores absolutos medios de la biometría entre los grupos PP y S no son estadísticamente significativas, se aprecia: una mayor esbeltez en los pies de semilla, entendiendo como esbeltez el cociente entre la altura y el diámetro en la base; un mayor peso de la cepa, de la parte aérea y de la biomasa total en los pies procedentes de semilla. En principio, la ausencia de diferencias en biometría

por grupos plantea la hipótesis de que el desarrollo de los pies no depende del origen de la planta.

#### **Resultados y Discusión por Grupos sobre Morfología Foliar**

En la tabla 8 se presentan los valores medios sobre morfología foliar, por grupos, así como su varianza y la comparación (ANOVA) entre grupos, el PP con el S, y el Q con el B. Las diferencias significativas en el valor de la superficie foliar unitaria, mayor en los pies procedentes de semilla, puede imputarse a dos factores: el origen o método de producción o cultivo de la planta, lo que parece poco probable; o al origen de la semilla, conclusión que parece más probable si se tiene en cuenta que aparecen también diferencias en sentido contrario, aunque sin significación estadística al 95 %, en la densidad foliar. La procedencia de los pies de *paper-pot* fue el Parque de los Alcornocales (Cádiz) y la de los pies de semilla fue los Montes de Toledo. Sin embargo, estas diferencias no se manifiestan entre los grupos Q y B, que tienen similares orígenes a los grupos PP y S respectivamente. También hay que señalar que la parte aérea del grupo B corresponde a una brotación tras uno o varios recepes, mientras que los pies agrupados en Q no han sido cortados. No se encuentran diferencias significativas en relación con la analítica foliar entre los grupos de pies con diferente procedencia y origen de la planta. Se puede plantear la hipótesis de que, al igual que en la biometría, el origen de la planta no influye en su estado nutricional.

#### **Resultados y Discusión por Grupos sobre Datos Cualitativos de las Cepas**

En las tablas 9,10 y 11 se muestran los datos de las frecuencias, por grupos, de cada uno de los tipos que se establecieron para poder evaluar los datos cualitativos (forma general de la cepa, forma del pivot y la existencia o no de injertos de raíz) de las cepas. De los datos de frecuencia observados en la tabla 9 se puede resaltar que en los grupos S y Q, la predominancia de la forma general de las cepas corresponde al tipo 0S, que representa una forma sin defectos. Sin embargo, en el grupo B predomina el tipo 6S, que representa raíces en tres sentidos faltando en el cuarto, siendo esto debido a que las cepas de los brotes se encontraban junto a cepas más grandes, imposibilitando su desarrollo radical en esa orientación. El grupo PP presenta un máximo en raíces acodadas y tangentes. El tipo 3S (raíces espiralizadas alrededor del pivot) no tiene representación en ningún grupo, lo que implica que el desarrollo normal del pivot no ha sido alterado, y que el envase *paper-pot* cumple los requisitos de antiespiralización, en el cultivo de esta especie. Otro dato que cabe destacar es la existencia de raíces tangentes, tipo 5S, sólo en el grupo PP, posiblemente debido a la resistencia que encuentran las raíces en su desarrollo al toparse con el envase en el arranque de su crecimiento. También se puede resaltar el hecho de que el grupo S es el único que no tiene representación de los tipos 1S (raíces en una dirección y sentido), 2S (raíces en una dirección y sentidos opuestos) y 6S (raíces en tres sentidos faltando en el cuarto). Además, la frecuencia mayor, con diferencia (77,8 %), corresponde al tipo 0S, es decir, cepa sin defectos; y los otros dos tipos que están representados son el 4S (raíces acodadas), pudiendo estar provocado por la presencia en el camino de la raíz de algún obstáculo, y el 7S (sólo pivot, sin secundarias gruesas), que se da en los pies más pequeños del grupo, que probablemente no hubieran desarrollado del todo su sistema radical. Por todos estos motivos se puede decir que la mejor morfología radical corresponde a los pies procedentes de siembra, diagnosticando de forma cualitativa. De los resultados de frecuencia resumidos en la tabla 10 cabe destacar que los pivots de los pies pertenecientes a los brotes son los que tienen mayor porcentaje del tipo 0P (pivot normal), quizá debido a que no han desarrollado demasiado su sistema radical por su escaso tamaño. Sin embargo los pies del grupo PP no tienen representación de ese tipo, no tienen pivots sin defectos. El grupo S, dentro de los pies de gran desarrollo, presenta una alta proporción de cepas sin defectos en este sentido. La comparación en 0P de B y Q, también denota una peor morfología en los pies procedentes de *paper-pot*. La proporción global de 5P + 6P es del 33 % en pies del S y del 60 % en pies de *paper-pot*, lo que apunta a un efecto inducido por el cultivo en envase en el sentido de dar una mayor proporción de plantas con varios pivots o con bifurcaciones de éste. La ausencia de raíces verticales desde las secundarias (tipo 7P) se explica por el escaso desarrollo de las cepas por falta de edad. De los resultados de la tabla 11 se destaca que el grupo S es el que mayor porcentaje tiene de presencia de autoinjertos de raíz. El que menor tiene es el Q.

#### **Resultados y Discusión por Grupos sobre Datos Cuantitativos de las Cepas**

En la tabla 12 se muestran los datos cuantitativos de las cepas por grupos, dando la media, la varianza y la comparación para comprobar si los grupos son homogéneos o no. En la tabla 12 se ha incorporado el análisis de tres índices distintos, que son los cocientes de las superficies radicales, total, lateral y basal, entre el peso de la cepa. La comparación (ANOVA) se ha realizado por grupos, comprobando si son significativamente distintos los grupos PP y S, por un lado, y los grupos Q y B, por otro. En la tabla 12.1 se observa una diferencia significativa al 95 % en la asimetría del fuste, siendo esta asimetría mayor en los pies procedentes de *paper-pot* (PP) que en los de semilla (S). Se corresponde con una diferencia en excentricidad, significativa al 93,6 %, más acusada también en los pies procedentes de *paper-pot*. En principio, estas diferencias sobre asimetría y excentricidad son las más notables entre los grupos de pies establecidos. En relación con las superficies laterales de las raíces de todos los grupos, se observa un incremento entre el primer y el segundo cilindro, tendencia en principio anormal, que se explica por haber sido medidas las superficies laterales en el primer cilindro hasta 30 cm de profundidad y 45 en 2°. La tendencia lógica decreciente se establece entre el segundo y el tercer cilindro, la diferencia entre grupos de gran tamaño no son significativas, “p” tiene valores muy altos. Sin embargo, entre los grupos de pies pequeños existen diferencias más acusadas que pueden ser debidas a la diferencia en diámetro de fuste.

La diferencia entre las superficies basales por cilindros manifiestan en este caso la lógica disminución desde 30 a 60 cm de profundidad. Dentro de los grupos, la diferencia más notable se establece entre PP (5435 mm<sup>2</sup>) y S (8696 mm<sup>2</sup>) al nivel de 30 cm, con una probabilidad de 0,1188. Si se parte de la hipótesis de que la planta en envase induce un “moño” en su cepa, que debería quedar reflejada en esta dimensión, aparece en esta comparación una posible contradicción, explicable por el hecho de la mayor frecuencia de pivots dobles o bifurcados en los pies del grupo PP. En

la tabla 12.2 no se observan diferencias significativas al 95 % entre ninguno de los grupos de pies.

Si se toma como referencia lo propuesto por FRANCKET & NAJAR (1979), quienes indican para estudios comparativos de pies de *Pinus pinaster* procedentes de semilla y de planta cultivada en bolsa: valor de  $C/t/f = 100$ , en pies de semilla, cepa equilibrada; valor de  $C/t/f = 20$ , en pies de bolsa, cepa desequilibrada, encontramos valores mejores en este cociente en los pies procedentes de semilla ( $S = 100,03$  y  $B = 144,1$ ) que en los pies procedentes de planta en *paper-pot* ( $PP = 89,2$  y  $Q=96,9$ ), pero sin diferencias significativas al 95 % ( $p = 0,68$  y  $p = 0,31$ , respectivamente). Los mismos autores, para el índice  $C/b/f = 1$ , indican: valor de  $C/b/f = 40$ , en pies de semilla, cepa equilibrada; valor de  $C/b/f = 24$ , en pies de bolsa, cepa desequilibrada, en este caso se encuentran, también, valores mejores en los pies procedentes de semilla ( $S = 73,5$  y  $B = 91,9$ ) que en los pies procedentes de planta en *paper-pot* ( $PP = 52,9$  y  $Q=61,19$ ), pero sin diferencias significativas al 95 % ( $p = 0,33$  y  $p = 0,21$ , respectivamente).

No obstante, la tendencia a una mejor estructura de la cepa en pies procedentes de semilla parece que existe, en relación con el primer cilindro, y se mantiene más atenuada en la medición del segundo y tercer cilindro y en los valores medios. En la tabla 12.3 se observan diferencias significativas al 95 % en el valor medio del índice  $C/l/b$  entre los pies de gran desarrollo. Los pies del grupo PP presenta una mayor proporción del sistema radical en raíces horizontales respecto a las verticales, que los pies procedentes de semilla. La diferencia de las mediciones entre los cilindros presentan diferencias significativas en valores cercanos al 90 % de probabilidad. Los valores altos de este índice, del orden de 3, correspondientes a pies procedentes de planta de *paper-pot*, indican que hay tres veces más de raíces horizontales que verticales. Los pies de semilla tienen un valor de este índice del orden de 1,1 a 1,5. Como las raíces pivotantes permiten un abastecimiento hídrico superior en época de intensa sequía, las plantas procedentes de semilla podrían tener una mayor probabilidad de supervivencia frente a un extremo déficit hídrico.

Los valores del IDRn no presentan diferencias significativas entre grupos, únicamente cabe apuntar una tendencia a mejorar su valor en los pies del grupo PP a medida que aumenta el diámetro del cilindro en que se mide. También puede apuntarse una tendencia a valores más altos en los pies grandes (PP y S) frente a pies pequeños (Q y B). Los valores de IDRn no parece que mejoren el análisis en este caso.

Otro análisis que se ha llevado a cabo es el de los cocientes de las superficies radicales entre el peso de la cepa, que se explican en SERRADA *et al.* (2001). Dichos cocientes y, por tanto, el análisis estadístico, sólo se han realizado para el cilindro 2. Los resultados globales de éstos se encuentran en la tabla 13. De los resultados de la misma se puede deducir que la única diferencia significativa que hay es entre los grupos de menor desarrollo, Q y B, en el factor SLPC. En los demás grupos y factores no hay diferencias significativas al 95 % de probabilidad. La diferencia apuntada, reforzada por la comparación en superficie total y basal en el mismo sentido, sugiere una mayor eficiencia de las cepas del grupo B, procedentes en su mayoría de semilla, frente a la de las cepas del grupo Q, procedentes en su mayoría de cultivo en *paper-pot*. La comparación entre los grupos PP y S en superficie total por unidad de peso contradice lo observado en los grupos de escaso desarrollo y puede apuntar una ventaja, no significativa al 95 %, a favor de las plantas cultivadas en envase, aunque en el desglose se observa que la ventaja se debe inicialmente a las raíces laterales más abundantes, extremo confirmado en anteriores análisis.

## CONCLUSIONES

Del apartado anterior de resultados y discusiones, y en definitiva del estudio llevado a cabo, se pueden obtener una serie de conclusiones que se enumeran a continuación: se han obtenido ecuaciones de predicción de pesos absolutos de las fracciones de biomasa, en función del diámetro de la base; las proporciones en que se divide la biomasa total del árbol medio (peso de cepa, peso de hojas, peso de ramas, peso de fuste) cambian a medida que el árbol adquiere mayor tamaño, en el sentido de disminuir la importancia de la cepa y de las hojas y de aumentar la del fuste y ramas gruesas; la densidad foliar resulta constante, independientemente del grado de desarrollo del árbol, para edad semejante; la superficie foliar unitaria se incrementa junto con el desarrollo del árbol expresado por su diámetro en la base, aunque este aumento no es muy importante; se comprueba una posible diferencia en la morfología foliar entre procedencias, con mayor superficie unitaria y menor densidad foliar en la procedencia de los Montes de Toledo frente la procedencia del Parque de los Alcornocales (Cádiz); en relación con una calificación morfológica cualitativa de la distribución de las raíces secundarias en la cepa, se encuentra mejor estado en los pies procedentes de semilla y los defectos más frecuentes (especialmente presencia de raíces cuyo arranque es tangente a la raíz principal) en los pies procedentes de *paper-pot*; las plantas procedentes de *paper-pot* presentan una mayor frecuencia de bifurcaciones de la raíz principal o de presencia de varias raíces verticales iniciadas cerca del cuello de la raíz; existe mayor frecuencia de autoinjerto de raíces en cepas procedentes de semilla que en pies procedentes de cultivo de planta en *paper-pot*; en los pies procedentes de planta cultivada en *paper-pot* se aprecia una mayor asimetría y excentricidad en la troza basal; los índices de morfología radical de cociente  $C/t/f$  y  $C/b/f$  parecen apuntar una mejor estructura de los pies procedentes de semilla, pero sin confirmación estadística al 95 % de probabilidad; entre pies de gran desarrollo (grupos PP y S), existen diferencias significativas al 95 % de probabilidad en lo referente al índice  $C/l/b$ , indicando estas diferencias una estructura de la cepa en pies procedentes de semilla con una mayor proporción de sistema radical en raíces verticales, lo que puede suponer una ventaja frente a sequías extremas; la ausencia de diferencias significativas en los valores de los índices de calidad de distribución del sistema radical (IDRs e IDRn) entre grupos puede avalar la hipótesis de que, para el alcornoque, la calidad del sistema radical en relación con su expansión lateral no está influenciada por el origen de la planta; el estudio de los índices de superficie de raíz partido por el peso de cepa parece dar ventaja, en los pies de escaso desarrollo, a la morfología de pies procedentes de semilla frente a pies procedentes de planta cultivada en envase.

Como conclusión general en relación con los efectos de las posibles deformaciones inducidas por el cultivo de planta en envase (*paper-pot*) sobre la estructura y viabilidad de los pies repoblados adultos (alcornoque) se plantea lo siguiente: no se han detectado influencias negativas, comparando con pies procedentes de semilla, en la morfología de la parte aérea, ni en la analítica foliar; no se han detectado morfologías del sistema radical muy diferentes entre los pies

procedentes de semilla y los pies procedentes de planta en envase, siendo las diferencias en análisis cuantitativos de poca trascendencia; las diferencias más notables entre los grupos citados se centran en observaciones cualitativas, a favor de los pies procedentes de semilla; no se puede esperar, por tanto, inestabilidad en las masas de alcornoque repobladas con planta cultivada en *paper-pot*.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALLUÉ ANDRADE J.L.; (1990). *Atlas fitoclimático de España*. INIA. Madrid.
- BALNEAVES J.M.; DE LA MARE P.J.; (1989). Root patterns of *Pinus radiata* on five ripping treatments in Canterbury Forest. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 19(1): 29-40 (1989).
- DIAZ-FERNANDEZ P., JIMENEZ M., CATALAN G., MARTIN S., GIL L.A.; (1995). *Regiones de procedencia de Quercus suber L.* Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid.
- FRANCLET, A.; NAJAR, M.; (1979). *Consequences differees des deformations racinaires chez le pin maritime*. Annales de recherches sylvicoles, 1978, tomo I. AFOCEL. 176-203. Paris.
- MONTOYA, R.; LÓPEZ, M.; (1998). *La red europea de seguimientos de daños en los bosques (Nivel I) España, 1987-1996*. O.A. Parques Nacionales. Madrid.
- SERRADA REDONDO, M.; (1999). *Estudio sobre biometría y morfología del sistema radical de una repoblación de alcornoque (Quercus suber L.) en el T.M. de Calzada de Oropesa (Toledo)*. Trabajo de Fin de Carrera. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- SERRADA, R.; VILLAR SALVADOR, P.; DOMÍNGUEZ LERENA, S.; GARRACHÓN, S. & SERRADA, M. (2001). *Propuesta de metodología para estudios sobre morfología radical arbórea*. *Actas del III Congreso Forestal Español* (en prensa).

Tabla 1.- Resultados globales sobre biometría agrupados por clases diamétricas.

C.D.(cm)	n	HT (m)	Sc (m <sup>2</sup> /pie)	PH (kg/pie)	PR (kg/pie)	PF (kg/pie)	PC (kg/pie)	PTT (kg/pie)
0-3	1	0,60 (--)	0,32 (--)	0,065 (--)	0,145 (--)	0,000 (--)	0,300 (--)	0,510 (--)
3-6	4	1,16 (26,25)	0,72 (59,30)	0,147 (53,56)	0,274 (49,72)	0,088 (73,68)	0,567 (29,42)	1,077 (36,88)
6-9	4	1,27 (41,07)	1,03 (60,59)	0,475 (118,2)	0,547 (24,71)	0,424 (41,96)	1,021 (19,69)	2,467 (25,30)
9-12	9	2,02 (40,88)	2,15 (41,35)	0,779 (47,88)	1,761 (31,63)	2,612 (65,86)	2,890 (36,30)	6,987 (49,31)
12-15	8	2,86 (19,80)	2,82 (22,72)	1,120 (19,26)	2,257 (20,59)	5,857 (23,17)	4,508 (19,89)	13,765 (20,2)
15-18	1	3,68 (--)	2,83 (--)	1,220 (--)	2,625 (--)	9,295 (--)	7,900 (--)	21,040 (--)
18-21	5	4,26 (15,80)	5,23 (30,99)	2,671 (20,51)	5,623 (18,80)	18,48 (32,56)	11,26 (34,99)	38,04 (27,97)

Notas: Los números que aparecen entre paréntesis corresponden al coeficiente de variación en %.

C.D.= clases diamétricas, tomando como diámetro el de la base, en cm; n = número de pies pertenecientes a la clase diamétrica de los que se tienen datos; HT = altura total media, en m; Sc = superficie media de la proyección de la copa, en m<sup>2</sup>/pie; PH = peso de hojas medio, en kg/pie; PR = peso de ramillas (diámetro menor de 2 cm) medio, en kg/pie; PF = peso de ramas (diámetro mayor de 2 cm) y fustes medio, en kg/pie; PC = peso de cepa medio, en kg/pie; PTT = peso total de biomasa medio, en kg/pie.

Tabla 2.- Ecuaciones de regresión de las diferentes variables de la tabla 1

Variable	ECUACIÓN DE REGRESIÓN	R <sup>2</sup> (%)	Tipo de Regresión
Ht (m)	Ht = 0,0630357 + 0,209643 x Db	97,33	Lineal
Sc (m <sup>2</sup> /pie)	Sc = 1/ (0,112273 + 4,6517 / Db)	97,37	Doble inversa
PH (kg/pie)	PH = - 0,0277491 x Db ^ 1,41559	95,47	Potencial
PR (kg/pie)	PR = exp ( - 2,0791 + 0,201315 x Db)	95,83	Exponencial
PF (kg/pie)	PF = - 4,66086 + 0,943905 x Db	81,28	Lineal
PC (kg/pie)	PC = exp ( - 1,40255 + 0,207968 x Db)	98,49	Exponencial
PTT (kg/pie)	PTT = exp ( - 0,924232 + 0,245235 x Db)	98,56	Exponencial

Db = diámetro de base

Tabla 3.- Resultados de biometría de los pies agrupados por clases diamétricas, en valor relativo.

C.D. (cm)	Nº pies	PH (%)	PR (%)	PF (%)	PC (%)	TOTAL (%)
0-3	1	12,75	28,43	0	58,82	100
3-6	4	13,69	25,40	8,24	52,67	100
6-9	4	19,25	22,19	17,17	41,39	100
9-12	9	10,31	21,75	32,25	35,69	100
12-15	8	8,14	16,40	42,55	32,91	100
15-18	1	5,79	12,48	44,18	37,55	100
18-21	5	7,02	14,78	48,58	29,62	100

C.D.= clases diamétricas, tomando como diámetro el de la base, en cm; n = número de pies pertenecientes a la clase diamétrica de los que se tienen datos; PH = peso de hojas medio, en %; PR = peso de ramillas (diámetro menor de 2 cm) medio, en %; PF = peso de ramas (diámetro mayor de 2 cm) y fustes medio, en %; PC = peso de cepa medio, en %.

Tabla 4.- Resultados globales de la morfología foliar de los pies, agrupados por clases diamétricas.

CD (cm)	N	PrC (m <sup>2</sup> /pie)	SF (cm <sup>2</sup> /hoja)	SFT (m <sup>2</sup> /pie)	SP (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	DF (grs/cm <sup>2</sup> )	NH(nºhojas/pie)
0-3	1	0,320 (---)	2,038 (---)	0,347 (---)	1,087 (---)	0,0187 (---)	1,707
3-6	4	0,722 (59,31)	2,564 (24,36)	0,790 (55,90)	1,114 (40,53)	0,019 (10,87)	3,081
6-9	4	1,032 (60,62)	2,279 (8,80)	2,576 (120,8)	2,164 (60,44)	0,018 (2,52)	11,303
9-12	9	2,154 (41,36)	3,323 (26,12)	4,003 (36,04)	2,057 (50,75)	0,019 (18,83)	12,046
12-15	8	2,795 (24,63)	2,927 (19,50)	5,415 (17,29)	2,041 (29,78)	0,021 (5,32)	18,500
15-18	1	2,83 (---)	3,411 (---)	6,480 (---)	2,289 (---)	0,018 (---)	18,997
18-21	5	5,230 (30,99)	3,212 (23,29)	13,100 (18,66)	2,683 (30,75)	0,020 (7,57)	40,785

Notas: Los números que aparecen entre paréntesis corresponden al coeficiente de variación en %; CD = clases diamétricas, en cm;

n = número de pies de cada clase diamétrica, de los que se tienen datos; Pr C = Proyección de copa en m<sup>2</sup>/pie; SF = Superficie media foliar unitaria en cm<sup>2</sup>/hoja.; SFT= Superficie foliar total del árbol, en m<sup>2</sup>/pie; SP= Superficie foliar total entre la Proyección de copa, en m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>;

DF = Densidad foliar en grs/cm<sup>2</sup>; NH = Número total de hojas por pie, calculado con el cociente SFT (m<sup>2</sup>/pie) / SF(cm<sup>2</sup>/hoja).

Tabla 5.- Ecuaciones de regresión de las variables de la tabla 4.

Variable	ECUACIÓN DE REGRESIÓN	R <sup>2</sup> (%)	Tipo de ecuación
SF	SF = 1,84927 x Db ^ 0,193995	75,42	Potencial
SFT	SFT = 0,153541 x Db ^ 1,3847	95,87	Potencial
SP	SP = 0,422283 + 0,487914 √Db	84,01	Potencial
DF	DF = 0,0184875 + 0,0000583333 x Db	12,21	Lineal

Tabla 6.- Resultados globales del análisis foliar de nutrientes.

GRUPO	% Ca	% Mg	% K	% N	% P	ppm Fe	ppm Cu	ppm Zn	ppmMn
PP	0,52 (45,3)	0,14 (28,5)	0,65 (25,2)	2,33 (18,5)	0,08 (12,3)	78,1 (32,3)	8,10 (27,0)	10,7 (19,8)	24,7 (19,9)
S	0,40 (56,7)	0,15 (12,9)	0,68 (18,7)	1,96 (28,5)	0,08 (14,5)	71,4 (56,5)	7,89 (28,6)	10,3 (24,3)	21,9 (25,2)
Q	0,50 (43,6)	0,15 (23,0)	0,57 (28,8)	2,07 (33,7)	0,09 (29,5)	67,4 (44,2)	8,30 (11,1)	10,3 (16,8)	22,1 (50,4)
MEDIA	0,47	0,15	0,63	2,12	0,09	72,33	8,09	10,43	22,9

Nota: Los números que aparecen entre paréntesis corresponden a los coeficientes de variación expresados en tanto por ciento. En el grupo que se denominó "B", al que pertenecen los pies correspondientes a los brotes, no se realizó análisis foliar.

PP = grupo de pies procedentes de *paper-por*; S = grupo de pies procedentes de siembra; Q = grupo de pies con altura menor a 1,30 m; Ca = concentración de calcio, en %; Mg = concentración de magnesio, en %; K= concentración de potasio, en %; N= concentración de nitrógeno, en %; P= concentración de fósforo, en %; Fe= concentración de hierro, en ppm; Cu= concentración de cobre, en ppm; Zn= concentración de zinc, en ppm; Mn= concentración de manganeso, en ppm.

Tabla 7.-Resultados medios sobre biometría por grupos.

GRUPO	DF	Pr C	HT	PH	PR	PF	PC	PTA	PTT
PP	12,9(17,9) a	3,1 (1,3) a	2,8 (1,0) a	1,5 (0,9) a	2,6 (3,3) a	7,4(40,5) a	5,1(11,0) a	11,6(71,8)a	15,9(150)a
S	12,4(22,7) a	3,3 (4,8) a	3,2 (1,0) a	1,1 (0,4) a	2,8 (4,5) a	8,3(81,1) a	6,2(30,0) a	12,3 (136) a	18,5(293)a
Q	7,2 (10,2) a	0,8 (0,23)	1,05 (0,07)	0,4 (0,2) a	0,9 (0,6) a	0,6 (0,8) a	1,4 (1,2) a	1,9 (4,2) a	3,1 (2,1) a
B	4,9 (3,6) a	----	----	0,3(0,05) a	0,6 (0,2) a	0,2 (0,1) a	1,1 (0,5) a	1,0 (0,6) a	1,7 (2,1) a

Nota: Los valores entre paréntesis corresponden a las varianzas de cada variable. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas al 95 % de probabilidad, y letras diferentes indican diferencias significativas.

PP = grupo de pies procedentes de *paper-pot*; S = grupo de pies procedentes de siembra; Q = grupo de pies con altura menor a 1,30 m, predominio *paper-pot*; B = grupo de pies correspondientes a los brotes, predominio siembra; DF= diámetro en la base, en cm; HT = altura total media, en m; Pr C = superficie de copa media, en m<sup>2</sup>/pie; PH = peso de hojas medio, en kg/pie; PR = peso de ramillas (diámetro menor de 2 cm) medio, en kg/pie; PF = peso de ramas (diámetro mayor de 2 cm) y fustes medio, en kg/pie; PC = peso de cepa medio, en kg/pie; PTA = peso total de la parte aérea, en kg; PTT = peso total de biomasa medio, en kg/pie.

Tabla 8.- Valores medios de los parámetros de morfología foliar, por grupos.

GRUPO	SF	SFT	SP	DF
PP	2,717 (0,280) a	7,226 (22,018) a	2,197 (0,926) a	0,0202 (0,0000155) a
S	3,002 (0,839) b	5,602 (7,83) a	1,779 (0,405) a	0,0187 (0,0000138) a
Q	2,823 (0,470) a	1,935 (3,653) a	1,949 (1,173)	0,0199 (0,0000359) a
B	2,357 (0,116) a	1,542 (1,498) a	-----	0,0189 (0,0000273) a

Nota: Los valores entre paréntesis corresponden a las varianzas de cada variable. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas al 95 % de probabilidad, y letras diferentes indican diferencias significativas; PP = grupo de pies procedentes de *paper-pot*; S = grupo de pies procedentes de siembra; Q = grupo de pies con altura menor a 1,30 m; B = grupo de pies correspondientes a los brotes. SF = Superficie media foliar unitaria en cm<sup>2</sup>/hoja; SFT= Superficie foliar total del árbol, en m<sup>2</sup>/pie; SP= Superficie foliar total entre la Proyección de copa, en m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>; DF = Densidad foliar en grs/cm<sup>2</sup>.

Tabla 9.- Resultados de frecuencia de los tipos establecidos (SERRADA *et al.*, 2001) para evaluar la forma general de la cepa, por grupos.

GRUPO	0S (%)	1S (%)	2S (%)	3S (%)	4S (%)	5S (%)	6S (%)	7S (%)	TOTAL
PP	21,7	8,7	4,3	0	26,1	21,7	17,5	0	100
S	77,8	0	0	0	11,1	0	0	11,1	100
Q	30,0	20,0	10,0	0	10,0	0	20,0	10,0	100
B	20,0	10,0	20,0	0	20,0	0	30,0	0	100

PP: grupo de pies procedentes de *paper-pot*; S : grupo de pies procedentes de siembra; Q: grupo de pies con altura menor a 1,30 m; B: grupo de pies correspondientes a los brotes. 0S: sin defectos; 1S: raíces en una dirección y sentido; 2S: raíces en una dirección y sentidos opuestos; 3S: raíces espiralizadas alrededor del pivot; 4S: raíces acodadas; 5S: raíces tangentes; 6S: raíces en tres sentidos faltando en el cuarto; 7S: sólo pivot, sin secundarias gruesas.

Tabla 10.- Resultados de frecuencia de los tipos establecidos (SERRADA *et al.*, 2001) para evaluar la forma del pivot, por grupos.

GRUPO	0P (%)	1P (%)	2P (%)	3P (%)	4P (%)	5P (%)	6P (%)	7P (%)	TOTAL
PP	0	27,3	0	4,5	9,1	31,8	27,3	0	100
S	22,2	22,2	0	11,1	11,1	22,2	11,1	0	100
Q	6,8	26,6	20,0	0	13,3	20,0	13,3	0	100
B	55,6	11,1	11,1	0	0	11,1	11,1	0	100

PP: grupo de pies procedentes de *paper-pot*; S : grupo de pies procedentes de siembra; Q: grupo de pies con altura menor a 1,30 m; B: grupo de pies correspondientes a los brotes; OP: pivot normal; 1P: pivot inclinado; 2P: pivot acodado; 3P: pivot espiralizado o moño; 4P: pivot anulado por suelo compacto; 5P: pivot bifurcado; 6P: varios pivots; 7P: pivot desde secundarias

Tabla 11.- Resultados de la frecuencia de la existencia de autoinjertos de raíz en las cepas, por grupos.

GRUPO	Presencia (%)	Ausencia (%)	TOTAL
PP	40,0	60,0	100
S	85,7	14,3	100
Q	22,2	77,8	100
B	37,5	62,5	100

PP: grupo de pies procedentes de *paper-pot*; S : grupo de pies procedentes de siembra; Q: grupo de pies con altura menor a 1,30 m; B: grupo de pies correspondientes a los brotes.

Tabla 12.1.- Comparación de resultados cuantitativos medios de las cepas, por grupos.

Grupo	DF	Sc	G	PC	As	Ex	SI1	SI2	SI3	Sb1	Sb2	Sb3
PP	12,9 a	3,1 a	144,8 a	5,1 a	0,9 a	0,5 a	5229 a	6368 a	5635 a	5435 a	2434 a	1607 a
S	12,4 a	3,3 a	136,6 a	6,2 a	0,9 b	0,7 a	4457 a	6750 a	5298 a	8696 a	3042 a	2305 a
Q	7,2 a	0,8	53,2 a	1,4 a	0,8	0,7	1512 a	1641 a	1476 a	1961 a	1608 a	839 a
B	4,9 a	----	21,4 b	1,1 a	----	----	562, a	889 a	891 a	1582 a	1214 a	689 a

Tabla 12.2.- Comparación de resultados cuantitativos medios de las cepas, por grupos. Cocientes de superficies.

Grupo	C t/f 1	C t/f 2	C t/f 3	C t/f m	C b/f 1	C b/f 2	C b/f 3	C b/f m	C l/f 1	C l/f 2	C l/f 3	C l/f m
PP	89,2 a	65,7 a	53,5 a	69,5 a	52,9 a	19,0 a	12,8 a	28,2 a	36,2 a	46,8 a	40,7 a	41,3 a
S	100,0 a	71,2 a	57,8 a	76,4 a	73,5 a	27,4 a	18,4 a	39,8 a	26,5 a	43,8 a	39,5 a	36,6 a
Q	96,9 a	68,9 a	44,8 a	70,2 a	61,9 a	41,1 a	14,8 a	39,3 a	35,0 a	27,8 a	30,1 a	30,9 a
B	144,1 a	125,4 a	93,7 a	121,1 a	91,9 a	55,6 a	24,7 a	57,4 a	52,1 a	69,7 a	69,0 a	63,6 a

Tabla 12.3.- Comparación de resultados cuantitativos medios de las cepas, por grupos. Cocientes de superficies e índices de calidad.

Grupo	C l/b 1	C l/b 2	C l/b 3	C l/b m	IDRs1	IDRs2	IDRs3	IDRs m	IDRn1	IDRn2	IDRn3	IDRn m
PP	1,6 a	3,6 a	3,4 a	2,8 a	3,4 a	4,3 a	4,5 a	4,1 a	6,3 a	7,3 a	7,3 a	7,0 a
S	0,4 a	1,4 a	1,7 a	1,1 b	3,4 a	4,2 a	3,9 a	3,9 a	6,1 a	7,6 a	7,8 a	7,2 a
Q	0,7 a	1,3 a	1,4 a	1,1 a	2,7 a	3,2 a	3,0 a	3,0 a	6,0 a	6,1 a	5,8 a	5,9 a
B	0,5 a	1,7 a	9,7 a	4,0 a	2,9 a	3,1 a	2,9 a	3,0 a	5,6 a	6,1 a	6,0 a	5,9 a

Nota: Letras iguales indican que no existen diferencias significativas al 95 % de probabilidad, y letras diferentes indican diferencias significativas; PP: grupo de pies procedentes de *paper-pot*; Q: pies con altura menor a 1,30 m; B: grupo de pies correspondientes a los brotes; S : grupo de pies procedentes de siembra; DF= diámetro sin corteza en la base, en cm; HT = altura total media, en m; Pr C = superficie de copa media, en m<sup>2</sup>/pie; G = Área basimétrica del fuste, en cm<sup>2</sup>; PC = Peso de cepa, en kg; As = asimetría de la troza basal, diámetro mínimo entre diámetro máximo; Ex = excentricidad de la troza basal, radio mínimo entre radio máximo; SI1; SI2; SI3 = superficie radical lateral total por cilindros, en mm<sup>2</sup> ; Sb1; Sb2; Sb3 = superficie radical basal por cilindros, en mm<sup>2</sup>; C T/F = cociente de la suma de la superficie lateral mas la superficie basal, entre la superficie del fuste, para los tres cilindros y la media de los tres, en mm<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>; C L/F = cociente de la superficie lateral entre la del fuste, para los tres cilindros y la media de los tres, en mm<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>; C B/F = cociente de la superficie basal entre la del fuste, para los tres cilindros y la media de los tres, en mm<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>; C L/B = cociente de la superficie lateral entre la basal, para los tres cilindros y la media de los tres, en mm<sup>2</sup>/mm<sup>2</sup>; IDRs = índice de distribución de raíces por superficie, para los tres cilindros y la media de los tres; IDRn = índice de distribución de raíces por número, para los tres cilindros y la media de los tres.

Tabla 13.- Resultados globales (medias, varianzas y análisis estadístico) de los cocientes STPC, SLPC, SBPC, para el cilindro 2.

GRUPO	STPC	SLPC	SBPC
PP	1,914 a	1,3524 a	0,5590 a

S	1,6726 a	1,0561 a	0,6165 a
Q	1,0922 a	0,3371 a	0,7551 a
B	1,9107 a	0,9078 b	1,0029 a

Nota: Letras iguales indican que no existen diferencias significativas al 95 % de probabilidad, y letras diferentes indican diferencias significativas. PP: grupo de pies procedentes de *paper-pot*; Q: grupo de pies con altura menor a 1,30 m; B: grupo de pies correspondientes a los brotes; S : grupo de pies procedentes de siembra; STPC = cociente de la superficie radical total del cilindro 2 (superficie lateral total + superficie basal total) entre el peso de la cepa, en mm<sup>2</sup>/g;SLPC = cociente de la superficie lateral total del cilindro 2, entre el peso de la cepa, en mm<sup>2</sup>/g; SBPC = cociente de la superficie basal total del cilindro 2, entre el peso de la cepa, en mm<sup>2</sup>/g; p = probabilidad.