



Imagen 1. Cultivo hidropónico.

Estudio comparativo del desarrollo del vuelo y del sistema radicular en diferentes especies del género *Quercus* mediante cultivo hidropónico

E. Burguera Aguilar¹, E. Sanchis Duato¹ y J. M. Soler Torró²

Escuela Politécnica Superior de Gandía. Universidad Politécnica de Valencia.

¹ Departamento de Producción Vegetal
esanchdu@bvg.upv.es.

² Departamento de Estadística e Investigación Operativa Aplicadas y Calidad
jmsoler@eio.upv.es

Resumen

Muchas especies mediterráneas no tienen un apreciable desarrollo de la parte aérea en los primeros años de su vida, sin embargo el desarrollo del sistema radicular es considerable. Escasas publicaciones tratan este tema, de ahí la gran importancia del presente estudio. Durante 5 meses se mantienen en medio hidropónico aireado y con solución de Hoagland tres especies del género *Quercus*. Mensualmente se realiza un control del crecimiento radicular y del vuelo de 25 individuos por especie (*Q. coccifera* L., *Q. ilex* subsp. *ilex* L. y *Q. faginea* Lam.). Los resultados mostraron diferencias en el crecimiento radicular frente al aéreo.

Palabras clave: *Quercus*, vegetación clímax, crecimiento raíces, relación tallo/raíz, crecimiento tallos.

1. INTRODUCCIÓN

Las especies del género *Quercus* son muy representativas del estrato arbóreo de los bosques mediterráneos (JORDANO *et al.* 2008). Muchas especies que viven en el ambiente mediterráneo en la etapa inicial de su crecimiento, hay un considerable desarrollo del sistema radicular para garantizarse el suministro de agua (ABELLA, 1996), verdadero factor limitante principalmente en los meses estivales. Especies como el arrendajo (*Garrulus glandarius*) ayudan a la dispersión a escala más local (BOSSEMA *et al.*, 1979).

La información acerca del sistema radicular de las plantas es muy escasa, dispersa y sólo aborda aspectos muy concretos. MORO (1995) indica que las raíces de las jóvenes encinas y coscojas no se ramifican a diferencia de las raíces del quejigo que sí lo hacen.

Por ello se diseñó este estudio con el objeto de estudiar el crecimiento aéreo y radicular de diferentes especies del género *Quercus*.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El objetivo principal fue comparar el crecimiento de la parte aérea y de la zona radicular de tres especies del género *Quercus* (*Q. ilex* subsp. *ilex* "encina", *Quercus coccifera* "coscoja" y *Quercus faginea* "roble valenciano o quejigo").

Los objetivos específicos fueron los siguientes:

Comparar la longitud de los tallos aéreos entre las tres especies a los 1-2-3-4 y 5 meses de crecimiento.

Comparar la longitud de las raíces principales entre las tres especies a los 1-2-3-4 y 5 meses de crecimiento.

Comparar la longitud de los tallos aéreos con la longitud de las raíces en cada especie.

Comparar el desarrollo radicular (suma de longitud de raíz principal y raíces secundarias) en la colonización del suelo entre las tres especies.

Se empleó el siguiente material: 25 semillas de cada especie, 3 acuarios de 25 L de capacidad, burbujeadores, tubo de 6 mm de diámetro, bomba de aire, cámara de cultivo, reactivo de Hoagland, arena de sílice, bandejas de semillero, estufa y cinta métrica.

2.1. Obtención de las semillas

Se utilizaron bellotas de tres especies: *Q. ilex* subsp. *ilex*, y *Quercus coccifera*, proceden del Sistema Ibérico Oriental (Castellón). Las bellotas del *Quercus faginea* proceden del municipio de Alfahuir (Valencia). Posteriormente fueron introducidas en un recipiente con agua para seleccionar las viables, desechándose las que flotaban.

2.2. Germinación de las semillas

Se colocaron las bellotas sobre unas bandejas de semillero con arena de sílice para que al iniciarse la germinación no hubiera problemas de espacio, cubriendo las semillas con el mismo sustrato. Se regaron las bellotas y se depositaron en una cámara de germinación a 20 °C durante dos semanas, regándolas 2 veces por semana. Las condiciones de germinación en las especies de estudio son importantes ya que en determinadas especies de *Quercus* pueden variar los resultados germinativos. Según MACHIA, *et al.* (1993), constataron que confor-

me la temperatura es menor se alarga el período de germinación.

2.3. Siembra del cultivo hidropónico

Tras dos semanas de germinación, en cámaras dotadas de tubos GROLUX para favorecer el crecimiento de las plantas, se seleccionaron 75 semillas (25 de cada especie, cantidad que se calculó mediante una prueba T de Student capaz de detectar una diferencia de 5 cm con un riesgo α del 5% y potencia $1-\beta$ del 90%), las que tenían mayor tamaño de raíz se introdujeron en los orificios que se practicaron en las placas de poliestireno expandido.

Las semillas se colocaron flotando en tres acuarios con 20 L cada uno, con solución de Hoagland. Se colocó una bomba con tubos y difusores de aire en cada acuario para evitar una posible asfixia radicular. Además se marcó el nivel del agua que había en el momento inicial para reponer el agua que se evaporaba. Las condiciones de la cámara fueron de 18 °C, humedad relativa 70% y un período de 18 horas de luz y 6 horas de oscuridad.

2.4. Mediciones de crecimiento

Después de hacer un seguimiento semanal inicial, se midieron mensualmente durante 5 meses la longitud radicular y la longitud del tallo. Además del recuento de número de hojas.

2.5. Medición de biomasa de las plántulas

Se realizó al finalizar la experiencia de los 5 meses. Para las raíces se seleccionaron las cinco plántulas de cada especie con mayor porte radicular. Se obtuvieron las raíces realizando el corte por debajo de la bellota y se pesaron en bandejas de papel, previamente taradas. Las bandejas se desecaron en estufa a 64°C y se volvieron a pesar a los dos días. La medición de cada bandeja se realizó tres veces para asegurarse que el peso era constante.

Respecto a la parte aérea, se cortó la bellota para desprenderla de la plántula y se fragmentaron el tallo y las hojas, depositándose en bandejas de papel taradas y siguiendo el mismo protocolo de desecación y pesado.

Las variables medidas se pueden observar en la tabla 1 donde se muestran las variables objeto de estudio, que tipo de variable es (cuantitativa/cualitativa), la unidad de medida y el número de mediciones.

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	UNIDAD MEDIDA	NÚMERO MEDICIONES
LONGITUD DE LA RAÍZ	CUANTITATIVA	Cenímetros	5
LONGITUD DEL TALLO	CUANTITATIVA	Cenímetros	5
NÚMERO DE HOJAS	CUANTITATIVA	Unidades	5
BIOMASA RAÍZ	CUANTITATIVA	Gramos	1
BIOMASA PARTE AÉREA	CUANTITATIVA	Gramos	1

2.6. Análisis estadísticos

Se comprobó mediante gráficos de Box-Whisker que las variables presentaban un patrón de variabilidad intraespecie homogéneo (gráficos 1, 2, 3, 4 y 5). Las medias se compararon mediante Análisis de la Varianza

Imagen 2. *Quercus faginea* con 15 días.

(ANOVA) e intervalos LSD de Fisher y mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis cuando no se cumplieron la normalidad o la homocedasticidad. El error alfa fue del 5%.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Longitud radicular

En los tres primeros meses del ensayo las raíces de *Q. ilex* subsp. *ilex* tuvieron mayor desarrollo que en las otras dos especies, aunque en el cuarto y quinto mes las diferencias entre las tres especies se fueron difuminando. Al terminar la experiencia la longitud radicular fue similar en todas las especies estudiadas. En la **tabla 2** se muestran los resultados de las longitudes radiculares de las tres especies del género *Quercus* en todo el período que duró el estudio.

3.2. Longitud tallos

La media de la longitud de los tallos de las especies *Q. faginea* y *Q. ilex* subsp. *ilex* (especies arbóreas salvo excepciones) fue significativamente superior durante todo el estudio a la media de *Q. coccifera* (especie de hábito arbustivo salvo excepciones). En la **tabla 3** se observan los resultados de las longitudes de los tallos de las tres especies, durante los meses que duró el estudio.

3.3. Número de hojas

La media del número de hojas desde el principio fue superior en la especie *Q. faginea* seguida de *Q. ilex* subsp. *ilex* y por último *Q. coccifera*. En la **tabla 4** se manifiestan los resultados del número de hojas de las tres especies del género *Quercus* en el período del estudio.

3.4. Análisis de la biomasa

La relación peso seco biomasa vuelo raíz frente a peso seco biomasa de las tres especies es la siguiente:

$$1.72=1.15 \text{ (ecuación 1)}$$

$$1.24=1.53 \text{ (ecuación 2)}$$

$$0.7=0.43 \text{ (ecuación 3)}$$

Tabla 2. Resultados longitud radicular.

Especie	Mes 1 (cm)	Mes 2 (cm)	Mes 3 (cm)	Mes 4 (cm)	Mes 5 (cm)
<i>Q. coccifera</i>	22,69 ± 6,7	40,19 ± 12,6	63,23 ± 20,7	79,63 ± 30,4	86,68 ± 31,5
<i>Q. faginea</i>	20,98 ± 9,7	38,16 ± 10,5	57,76 ± 18,3	73,70 ± 24,7	84,92 ± 30,4
<i>Q. ilex</i> subsp. <i>ilex</i>	32,39 ± 4,0	58,98 ± 7,4	80,06 ± 15,0	90,06 ± 20,3	95,32 ± 20,6
Significación	P<0,05	P<0,05	P<0,05	P=0,06	P=0,37

Tabla 3. Resultados longitud tallos.

Especie	Mes 1 (cm)	Mes 2 (cm)	Mes 3 (cm)	Mes 4 (cm)	Mes 5 (cm)
<i>Q. coccifera</i>	0,96 ± 0,6	2,48 ± 1,0	3,36 ± 1,1	3,36 ± 1,1	4,30 ± 1,8
<i>Q. faginea</i>	2,95 ± 2,1	7,40 ± 4,1	12,50 ± 6,7	12,50 ± 6,7	18,36 ± 11,9
<i>Q. ilex</i> subsp. <i>ilex</i>	3,50 ± 1,9	6,94 ± 2,3	12,12 ± 3,4	12,12 ± 3,4	17,88 ± 6,9
Significación	P<0,05	P<0,05	P<0,05	P<0,05	P<0,05

Tabla 4. Resultados longitud hojas.

Especie	Mes 1 (cm)	Mes 2 (cm)	Mes 3 (cm)	Mes 4 (cm)	Mes 5 (cm)
<i>Q. coccifera</i>	1,00 ± 1,4	5,24 ± 2,3	8,04 ± 2,9	9,96 ± 4,3	11,56 ± 5,2
<i>Q. faginea</i>	4,08 ± 3,0	14,56 ± 7,8	20,56 ± 9,2	24,8 ± 11,9	25,80 ± 12,4
<i>Q. ilex</i> subsp. <i>ilex</i>	3,16 ± 1,7	8,72 ± 3,0	13,36 ± 4,3	16,72 ± 6,0	18,04 ± 7,5
Significación	P<0,05	P<0,05	P<0,05	P<0,05	P<0,05

En la **tabla 5** se puede ver como:

La relación de *Q. faginea* es 2,68 veces superior a la relación de *Q. coccifera*. Mientras que la relación de *Q. ilex* es 3,57 veces superior a la relación de *Q. coccifera*. La biomasa de las raíces de *Q. faginea* fue superior a *Q. coccifera* y *Q. ilex* subsp. *ilex*, mientras que la biomasa de los tallos de *Q. ilex* subsp. *ilex* y *Q. faginea* fue superior a *Q. coccifera*.

Tabla 5. Media peso seco y raíz y vuelo

	Media de los pesos secos	
	Raíz	Vuelo
<i>Q. faginea</i>	1,72	1,98
<i>Q. ilex</i> subsp. <i>ilex</i>	1,24	1,90
<i>Q. coccifera</i>	0,70	0,30

Adentrándose en la discusión en la escasa bibliografía disponible (Abella, 1996), se constata lo siguiente: "el crecimiento del sistema radicular es mucho más activo que el arbóreo. Puede llegar hasta diez metros de profundidad y extenderse incluso hasta cuarenta metros del árbol. Una plántula de quince centímetros de altura puede tener una raíz central de cuarenta a cincuenta centímetros en terreno mullido".

Respecto a los datos más extremos que se han encontrado realizando el estudio podemos decir que:

- Una especie arbórea con tan sólo diez centímetros de tallo, tiene una raíz central de ciento veinticuatro centímetros (1,24 m), en la especie *Q. faginea*. Lo mismo podríamos decir en la especie *Q. ilex* subsp. *ilex* una plántula de tan sólo dieciocho centímetros de tallo, posee una longitud de la raíz principal de ciento treinta y un centímetro (1,31 m).
- Respecto a las especies arbustivas acondicionadas a un clima xérico podemos observar que el contraste es más marcado, para la especie *Q. coccifera* podemos observar que para una plántula con un tallo de cinco centímetros y medio su longitud de la raíz principal es de ciento treinta y ocho centímetros (1,38 m).

Destaca el crecimiento radical de *Q. coccifera* que con sólo 5 cm de tallo, tiene una longitud de raíz de 138 cm, Por su parte la especie *Q. ilex* subsp. *ilex* es la que posee un crecimiento más rápido. Estos resultados se reafirman con la comparación de las medias de longitud de tallo realizada.

Por tanto los datos obtenidos son coincidentes con los de ABELLA (1996), el crecimiento del sistema radicular es mucho más activo que en la parte aérea, pero sus valores que proporciona respecto la diferencia del crecimiento aéreo y radicular son más bajos que los obtenidos en este estudio. En nuestro trabajo se puede apreciar una diferencia más clara entre el crecimiento aéreo y radicular.

- Respecto al tallo: las dos especies arbóreas se comportan de forma similar con un mayor crecimiento. Mientras que la especie arbustiva tiene un menor crecimiento respecto del tallo.
- Respecto a la raíz: todas las especies tienen un comportamiento similar. No hay una diferencia estadística entre ellas. La especie arbustiva se comporta de forma similar a las especies arbóreas.
- Por último, el crecimiento de las hojas en todas las especies es diferente manteniendo el mismo patrón. Este comportamiento es normal, ya que el estudio se ha realizado en los primeros meses de las plántulas y el crecimiento no ha llegado a estabilizarse.

Respecto a la guía de MORO (1995), se coincide con esta publicación, en que la encina es portadora de una raíz principal sin ramificaciones al principio de su germinación. Se complementa esta idea añadiendo que *Q. coccifera* se comporta de igual modo. Por contra *Q. faginea* desde un primer momento muestra raíces secundarias.

El tiempo de germinación media que ofrece PULIDO (2001) oscila en unos 28,10 días dependiendo del tratamiento pertinente que se utilice. En este estudio la germinación de las semillas ocurrió en un período de 14 días.

En el análisis de la biomasa se puede extraer los siguientes puntos significativos:

- Las dos especies arbóreas tiene un comportamiento similar en su crecimiento. Pero se diferencian en una cosa, la parte radicular de *Quercus faginea* es mayor que la de *Q. ilex* subsp. *ilex* debido a que *Q. faginea* tiene raíces secundarias y *Q. ilex* no. Esto seguramente es debido a que *Q. faginea* tiene una distribución de hábitat en lugares con mayor humedad ya que *Q. faginea* es la más exigente de las tres especies consideradas, puesto que necesita una precipitación media de 600 litros/m²/año para desarrollarse (SANCHIS, et al. 2003).
- Respecto a la biomasa de *Q. coccifera* se puede ver como la parte radicular tiene mayor peso respecto a la aérea. Por este motivo, la biomasa radicular es mayor. Esto es lo que le diferencia a esta especie arbustiva de las especies arbóreas. Si se compara la relación de peso seco biomasa vuelo / peso seco biomasa raíz de las especies, se aprecia que *Q. coccifera* es 2,7 veces inferior a *Q. faginea* y 3,6 veces inferior a *Q. ilex* subsp. *ilex*.
- En todas las especies la cantidad de agua que almacenan es grande como se puede observar, ya que mayoritariamente esa biomasa inicial pesada es agua. La parte radicular almacena más agua que la parte aérea en las tres especies. La que mayor cantidad de masa de agua almacena es *Q. faginea* mientras la que menos es *Q. coccifera* en la cual se constata que no almacena casi agua.

4. CONCLUSIONES

A modo de conclusiones se pueden destacar:

1. El crecimiento radicular fue similar en las tres especies, pese a haber dos arbóreas (*Q. faginea* y *Q. ilex* subsp. *ilex*) y una arbustiva (*Q. coccifera*).
2. El crecimiento aéreo de las especies arbóreas *Q. faginea* y *Q. ilex* subsp. *ilex* fue superior a la especie arbustiva *Q. coccifera*.

3. La proporción de crecimiento longitud de tallo/longitud de raíz fue superior en *Q. coccifera*.
4. La biomasa del vuelo (tallo y hojas) en *Q. faginea* y *Q. ilex* subsp. *ilex* fue mayor a la del sistema radicular (raíces) mientras que la especie *Q. coccifera* presentó mayor biomasa radicular respecto al vuelo.
5. La biomasa del sistema radicular de *Q. faginea* es superior a la de *Q. ilex* subsp. *ilex*, fundamentalmente a expensas de una mayor cantidad de raíces secundarias.



Imagen 3. *Q. coccifera* al finalizar el estudio.

5. GRÁFICOS

Gráfico 1. Variabilidad de las observaciones tallo, raíz, hojas mes 1.

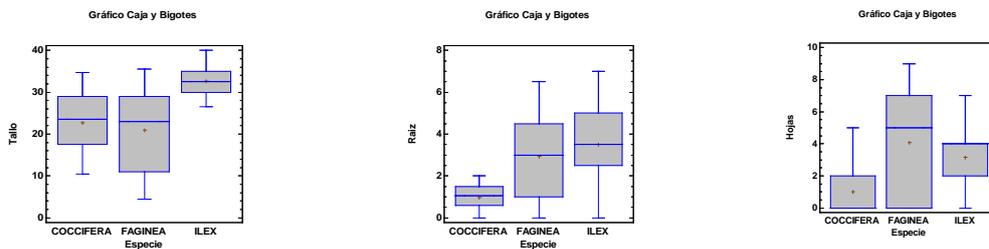


Gráfico 2. Variabilidad de las observaciones tallo, raíz y hojas mes 2.

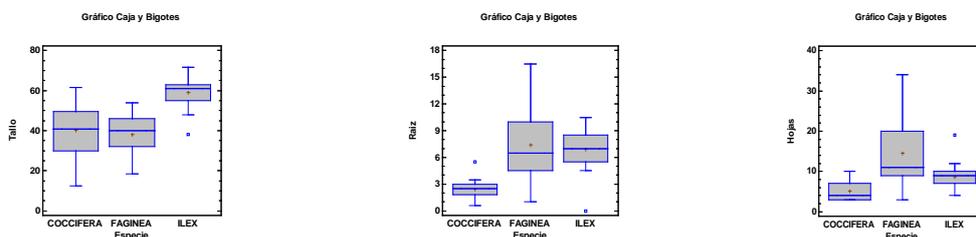


Gráfico 3. Variabilidad de las observaciones tallo, raíz y hojas mes 3.

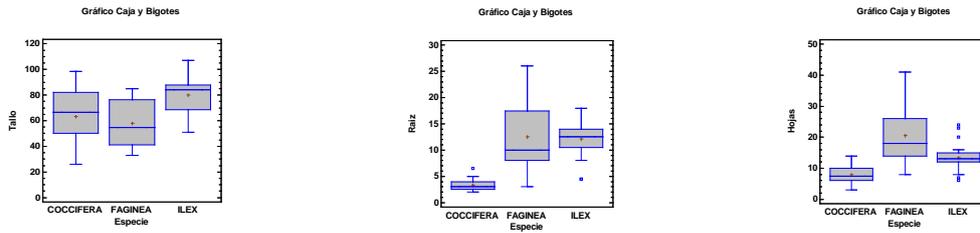


Gráfico 4. Variabilidad de las observaciones tallo, raíz y hojas mes 4.

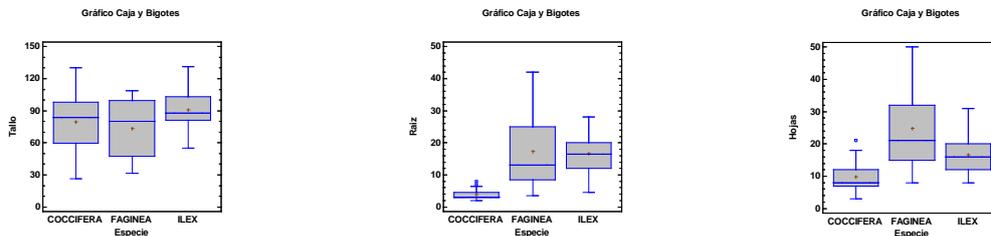
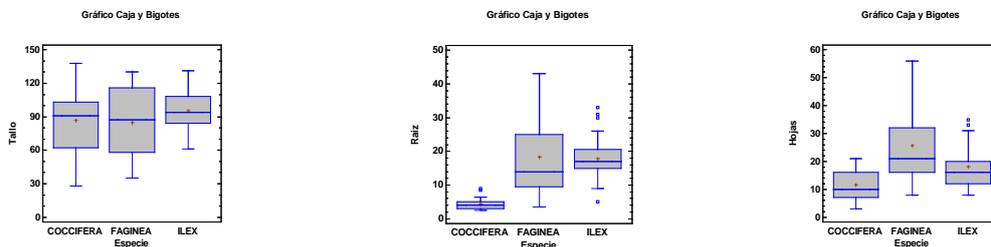


Gráfico 5. Variabilidad de las observaciones tallo, raíz y hojas mes 5.



BIBLIOGRAFÍA

ABELLA, I., (1996). *La magia de los árboles*. Integral. Barcelona, 280 pp.

BOSSEMA, I. (1979). *Jays and Oaks: an eco-ethological study of a symbiosis*. *Behaviour*, 70: 1-117.

JORDANO P., PULIDO F., ARROYO J., GARCÍA-CASTAÑO J.L., GARCÍA-FAYOS P. (2008). *Procesos de limitación demográfica*. En: Valladares, F. (ed.), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Editorial Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España. 229-248 pp.

MACCHIA, F.; CAVALLARO, V. y FORTE, L., (1993). *La relación entre el clima, el ciclo ontogenético y la distribución de Quercus ilex L.* Congreso Forestal Español de Lourizán. Ponencias y comunicaciones. Tomo I: 271-275.

MORO, R. (1995). *Guía de los árboles en España*. Ed. Omega. Barcelona. 407 pp.

PULIDO GARCÍA, L., TENDERO LORA, A., GIL NAHARRO, J.A. & ROMERO CABALLERO, F. (2001). *Germi-nación de la bellota "Parque mediterráneo" según algunos tratamientos previos*. Revista: Estudios albacetenses N°1, 260 pp.

SANCHIS, E.; FOS, M. & BORDÓN, F. (2003). *Ecosistemas mediterráneos*. UPV. Valencia.