

# APTITUDES DE MADROÑO (*ARBUTUS UNEDO*) PARA REFORESTACIÓN EN GALICIA: SUPERVIVENCIA, CRECIMIENTO Y PREADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Verónica Asensio Fandiño, Belén Casaleiro González y Javier Montalvo Rodríguez

Laboratorio de Ecología Aplicada, Universidad de Vigo. 36310-VIGO (Pontevedra, España). Correo electrónico: jmontalvo@uvigo.es

## Resumen

Un ensayo de campo demuestra la alta supervivencia (93%) tras el periodo estival de plantas jóvenes de madroño en diferentes condiciones locales de disponibilidad de agua en Galicia. En siete meses, la biomasa aérea, biomasa subterránea, biomasa total, altura, diámetro basal y número de hojas por planta se incrementaron entre dos y más de cinco veces en condiciones de vaguada respecto a otras de menor disponibilidad de agua, como zonas llanas o con afloramientos rocosos. La tasa de crecimiento en altura promedio fue relativamente alta, 11 cm.cm<sup>-1</sup>, en vaguada, y moderada en condiciones más secas (4-6 cm.cm<sup>-1</sup>). Un ensayo de vivero demuestra la relevancia de la disponibilidad de agua para acelerar su crecimiento y evidencia su alta resistencia a la sequía y capacidad de mantener la hidratación foliar. La asignación de biomasa entre las partes aérea y subterránea no depende del agua disponible, aunque el tipo de fertilización puede afectar. La capacidad del madroño de explotar de forma oportunista y eficiente los recursos edáficos variables y tolerar las condiciones de déficit, sugieren su interés en la repoblación y restauración de ecosistemas forestales en Galicia y su preadaptación al cambio climático.

Palabras clave: *Biomasa, Calidad de planta, Estrés hídrico, Fertilización, Restauración*

## INTRODUCCIÓN

La mayoría de los proyectos de restauración se realizan sin un conocimiento ecológico adecuado (TERRADAS, 2001). Las aptitudes de las plantas relacionadas con la supervivencia y el crecimiento en condiciones de estrés hídrico son esenciales en el contexto de cambio climático (OGAYA et al., 2003; GRATINI & VARONE, 2004). En Galicia, en los últimos 30 años la temperatura media ha aumentado 0,5°C cada década. En el futuro se prevé un descenso moderado o importante de la precipitación, y un aumentó medio de

1,5-3°C para 2085. El efecto será una mediterraneización del clima, que será más notable en el sur de Galicia, con una mayor magnitud y duración de la sequía estival.

El madroño (*Arbutus unedo*) es una especie arbórea promisoriosa entre las perennifolias, de interés para la revegetación de áreas degradadas por incendios forestales y para aumentar la biodiversidad de plantaciones forestales. Es una especie con conocidas aptitudes fisiológicas y ecológicas de tolerancia o resistencia a la escasez de recursos edáficos y en especial de déficit hídrico (TERRADAS, 2001; GRATINI & GHIA,

2002). Sin embargo, se carece de un conocimiento suficiente para su uso sistemático en proyectos de reforestación, en particular de plantas de procedencia gallega. No existe una evaluación empírica de sus aptitudes para la repoblación, su capacidad de crecimiento o su adecuación a ambientes desfavorables. El objetivo es evaluar la capacidad de supervivencia y crecimiento en plantas pequeñas con diferente disponibilidad de nutrientes y agua, mediante ensayos de campo y en condiciones controladas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se ha utilizado un conjunto homogéneo de plantas de tres meses y una altura media de 9 cm, procedentes de semillas de una población silvestre de *A. unedo* de Pontevedra. Se ha realizado un ensayo de vivero en condiciones controladas en el campus de la Universidad de Vigo. Además, se ha realizado un ensayo de campo, en condiciones naturales de monte, en una plantación mixta realizada por la empresa Maderas Nobles de la Sierra del Segura y dominada por frondosas caducifolias, situada a una altitud de 450 m en la sierra de Galiñeiro (Gondomar, Pontevedra). La distancia entre ambos ensayos es 4 km.

El ensayo de vivero se desarrolló desde julio de 2006 a septiembre de 2007. Se plantaron 168 madroños en contenedores de 5 L con un sustrato de compost y arena en proporción 1:1. Se utilizó un diseño experimental con dos factores: fertilización (TF: nula, convencional y orgánica) y disponibilidad de agua (DA: sequía, sequía gradual y alta). En total se consideraron siete tratamientos (no existe la combinación de 'sequía' con los dos tipos de fertilización) dispuestos en bloques completamente aleatorizados, con 24 plantas distribuidas en tres bloques por tratamiento. La fertilización convencional se hizo con el producto líquido 'Compo' con una relación N:P:K de 4:5:6. La fertilización orgánica con 'Humus líquido Ecocelta', un producto fortificante ecológico obtenido por extracción acuosa aeróbica de vermicompost sólido, con un 15,3% de ácidos húmicos y fúlvicos. La cantidad de nutrientes de la fertilización orgánica fue cinco veces más N, siete veces más K y el 40% de P de la fertilización convencional. La ferti-

zación se realizó durante los dos primeros meses con dos aplicaciones por semana de 1,5 mL de Compo por planta. En el caso de fertilización nula se usó este mismo volumen sin fertilizante. La disponibilidad de agua 'alta' se definió mediante riego automático diario; 'sequía gradual' equivale de un riego manual los dos primeros meses, y 'sequía', a ausencia de riego (sólo precipitación natural). Se utilizaron 10 plantas para la determinación inicial de biomasa aérea ( $B_a$ ), subterránea ( $B_s$ , incluye lignotuber y raíces) y total ( $B_t$ ), altura de la planta ( $H$ ) y longitud máxima de raíz ( $L_r$ ). A los 45, 75 y 425 días se determinaron la supervivencia y las mismas variables en seis plantas por tratamiento. En la última fecha, también se midió el diámetro basal o del cuello de la raíz ( $D_b$ ), número de hojas ( $N$ ) y el grado de hidratación foliar (cinco hojas por planta). Para determinar  $B_a$ ,  $B_s$ ,  $B_t$  y la hidratación se procedió al secado en una estufa a 80°C hasta peso constante, y la humedad del sustrato mediante secado en estufa a 105°C de seis muestras de 80-100 g por cada tratamiento. En el tratamiento de fertilización convencional-sequía gradual no existen datos posteriores a septiembre de 2006 porque sólo sobrevivió una planta.

El ensayo de campo se localizó en un área con sustrato de gneis y suelos ácidos con textura franco-arcillosa-arenosa. Se utilizaron 100 plantas distribuidas en tres sectores o variantes topoedáficas por su disponibilidad de agua: baja (terreno llano con suelo poco profundo, SLL), media (ladera con afloramientos rocosos, SLR), y alta (vaguada, SV). SV presenta agua freática; SLR también, aunque en menor proporción. Se desarrolló desde febrero (fecha de plantación) a septiembre de 2007, utilizando plantas con una altura media de 5-9 cm e igual procedencia que las del ensayo de vivero. A los 103, 166 y 200 días se determinaron la supervivencia y H (ésta en cinco plantas por sector). En la última fecha se midió  $B_a$ ,  $B_s$ ,  $B_t$ ,  $N$ ,  $D_b$ ,  $L_r$  y la hidratación foliar en cinco plantas de cada sector, seleccionadas al azar. Además, se tomó una muestra de suelo adyacente a cada planta para determinar la humedad superficial (secada de igual modo que el sustrato).

Se realizaron análisis estadísticos ANOVA y de comparación de medias mediante test LSD (este último, con un  $p < 0,05$ ), y análisis de correlación lineal, en todos los casos previa transfor-

mación logarítmica de los datos. Además, se realizaron modelos de regresión para examinar la relación entre  $B_a$  y  $B_s$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Crecimiento en condiciones de vivero

La supervivencia tras el verano de 2006 se mantuvo tras el siguiente y fue muy alta en todas las condiciones ensayadas (95% en 'sequía', 100% en alta), excepto en el tratamiento de sequía gradual y fertilización convencional (donde la supervivencia fue del 8%); esto podría estar asociado a efectos fisiológicos o morfológicos por un mayor uso del fósforo que disminuyen su resistencia a la sequía. Debido a esto, los análisis factoriales se limitaron a dos niveles de disponibilidad de agua ('sequía gradual' y 'alta') y dos niveles de fertilización (nula y convencional). La figura 1a muestra los resultados del ensayo de vivero a los 14 meses. Para todas las variables analizadas, excepto  $D_b$ , existe un efecto significativo de la disponibilidad de agua (test ANOVA,  $8,28 < F < 67$ ,  $p < 0,01$ ), independiente del nivel de fertilización (test ANOVA,  $0,09 < F < 3,39$ , para los efectos de TF y la interacción DA x TF, en ambos casos  $p > 0,05$ ; para  $D_b$  el efecto de TF fue significativo  $F = 6,41$ ,  $p < 0,05$ , y de DA x TF no,  $F = 0,48$ ,  $p > 0,05$ ). Además, todos los valores de las variables de los tratamientos de sequía son muy similares. Con alta disponibilidad de agua y fertilizante convencional la magnitud de los efectos varía según la variable considerada.  $H$  presentó una correlación positiva con  $B_a$ ,  $B_s$ ,  $N$  y  $D_b$  ( $0,71 < r < 0,94$ ,  $p < 0,001$ ;  $n = 120$  excepto para las relaciones  $H-N$  y  $H-D_b$ , en que  $n = 36$ ), considerando los datos de todos los tratamientos.

La disponibilidad de agua aceleró el crecimiento: 2,3 a 3,5 veces más biomasa total que en condiciones de sequía. El crecimiento aumentó hasta 5-7 veces más combinando agua con nutrientes extra (fertilización convencional). La inversión en biomasa subterránea es similar en todos los tratamientos, 27-35% de la biomasa total, dentro del rango de magnitud observado en plantas cultivadas en invernadero o al aire libre en el litoral mediterráneo ibérico (MUNNÉ-BOSCH Y PEÑUELAS, 2003; NAVARRO *et al.* 2007). Altura,

diámetro basal y número de hojas por planta aumentaron 2-4 veces por efecto del agua, y sin efectos de la fertilización, si bien las plantas alcanzaron una altura de 23-25 cm en condiciones de sequía. Los efectos sobre la longitud de raíz fueron de menor magnitud, y sólo significativos entre los tratamientos 'sequía' y alta disponibilidad de agua, mostrando las plantas en este último una longitud un 30-50% mayor. La humedad del sustrato en condiciones de sequía (menor del 4%) fue un 14-25% de la humedad presente con riego. La hidratación foliar con agua disponible (61-63%) fue un 8-12% superior a la de condiciones de sequía e independiente del tipo de fertilización. La reducción de las tasas de fotosíntesis neta y transpiración, número de hojas, área foliar y contenido de agua foliar, así como el aumento de compuestos fotoprotectores y antioxidantes son mecanismos de inhibición del crecimiento con un significado adaptativo de resistencia a la sequía estival mediterránea en madroño (GRATINI & GHIA, 2002; MUNNÉ-BOSCH Y PEÑUELAS, 2003).

Por tanto, en las condiciones climáticas de Galicia el agua disponible acelera el crecimiento, sobre todo si se complementa con fósforo, y permite la obtención de plantas en vivero con un tamaño y calidad exterior adecuados para reforestación. La leve deshidratación foliar sin riego sugiere que la aclimatación o endurecimiento previo a su plantación puede no ser relevante. Las plantas adultas de madroño en condiciones de sequía muestran mayor supervivencia y crecimiento que otros árboles esclerófilos como la encina (OGAYA *et al.*, 2003). El madroño tolera de forma muy notable las condiciones de déficit hídrico moderado y parece explotar de forma oportunista y eficiente los recursos edáficos disponibles en condiciones favorables. Estas aptitudes sugieren la preadaptación de esta especie a las condiciones más cálidas y secas que resultan del cambio climático y subrayan el interés de su utilización en la repoblación y restauración de ecosistemas forestales adaptados al cambio climático.

### Supervivencia y crecimiento en condiciones naturales

El establecimiento de madroño fue muy exitoso: a los siete meses de la plantación la supervivencia tras el periodo estival fue del 93% en el

conjunto de sectores. Los valores fueron 93, 96 y 87% para SLL, SLR y SV, respectivamente. El valor inferior de la vaguada puede deberse a un tamaño de muestra inferior ( $n = 15$ ). DOMÍNGUEZ et al. (2001) también obtuvieron una alta supervivencia de esta especie en campo. *H* presentó una correlación positiva con  $B_a$ ,  $B_t$ ,  $N$  y  $D_b$  ( $0,84 < r < 0,94$ ,  $p < 0,001$ ;  $n = 15$ ), considerando los datos de los tres sectores.

Como en condiciones de vivero, todas las variables relacionadas con el crecimiento analizadas expresaron un efecto significativo de la disponibilidad de agua (Figura 1b). Existe una tendencia de crecimiento al aumentar la disponibilidad de agua, aunque sin diferencias significativas entre disponibilidad baja y media. El efecto de la disponibilidad de agua alta sobre el crecimiento de la biomasa total es un incremento muy significativo, de 3,1 a 5,4 veces, respecto a las condiciones de disponibilidad baja y media. Se observó la misma tendencia para  $B_a$  y  $B_s$ , aunque el efecto sobre  $B_s$  fue algo menor. La inversión en  $B_s$  de las plantas en el campo es 19%, inferior a la del vivero.

Altura, diámetro basal y número de hojas por planta aumentaron alrededor de 2-5 veces respecto a las condiciones de menor disponibilidad de agua. Con alta disponibilidad de este recurso superaron la altura de 85 cm (Figura 2a), un crecimiento más rápido que las plantas de vivero en condiciones favorables. Este crecimiento es mayor que en otras áreas (DOMÍNGUEZ et al., 2001) y permite un desarrollo relativamente rápido en verano. En promedio, la tasa de crecimiento en altura es 11 y 4-6 cm/mes, en vaguada y en los otros sectores, respectivamente. El crecimiento relativo en altura en SV es un 80% superior a SLL, siendo intermedia la diferencia en SLR; las diferencias de crecimiento relativo en biomasa, aunque no evaluadas, son muy superiores (Figura 1b). Además, las plantas con menor disponibilidad de agua mostraron un crecimiento moderado, alcanzaron una altura ligeramente superior (29-42 cm) y un diámetro basal similar a las plantas en condiciones de sequía en vivero (Figura 1a), y una calidad exterior excelente. El efecto sobre la elongación radicular fue significativo, con un incremento del 70% entre baja y alta disponibilidad, y un valor intermedio para disponibilidad media. La

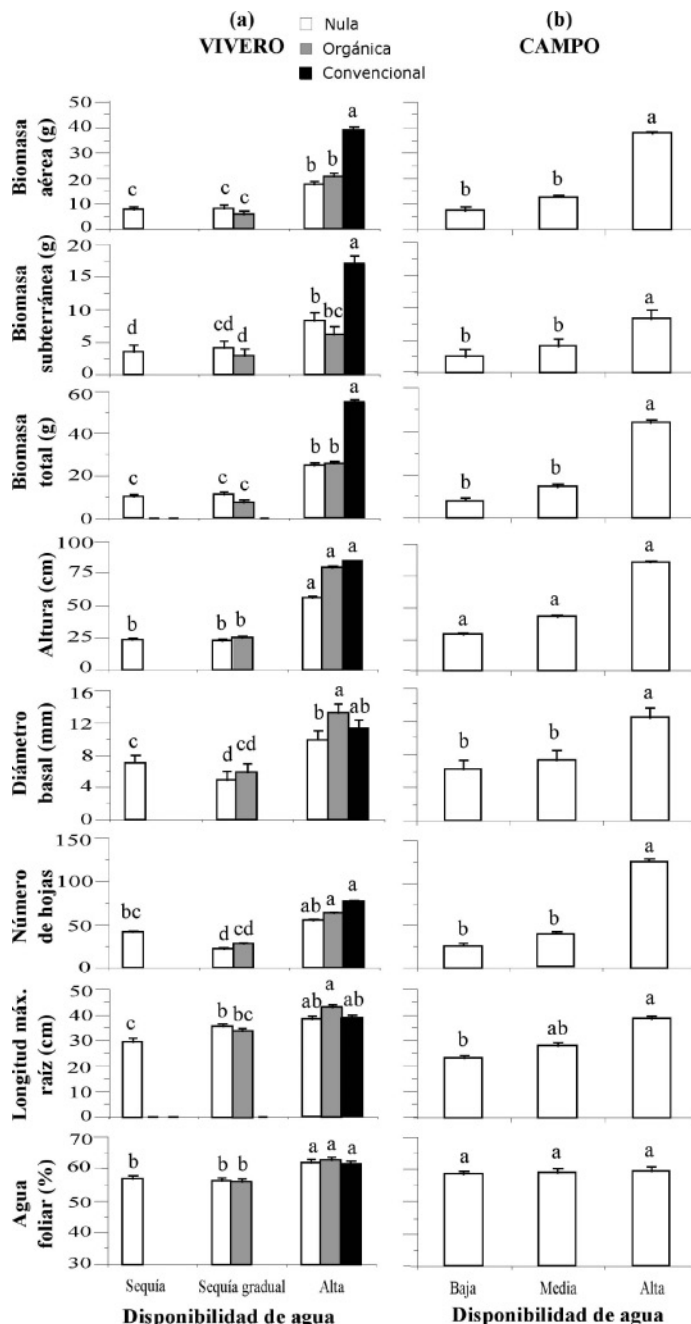
hidratación foliar fue de 58-60%, sin diferencias según la disponibilidad de agua edáfica, un valor intermedio entre el observado en vivero en plantas con sequía y alta humedad. La baja humedad superficial del suelo (menor del 4%) fue similar a las condiciones de sequía experimental del vivero. Aunque no existieron diferencias significativas entre sectores, la humedad edáfica a una profundidad de hasta 40 cm, accesible por la longitud de raíz (Figura 1b), sería mayor en vaguada.

### Patrones de asignación de biomasa

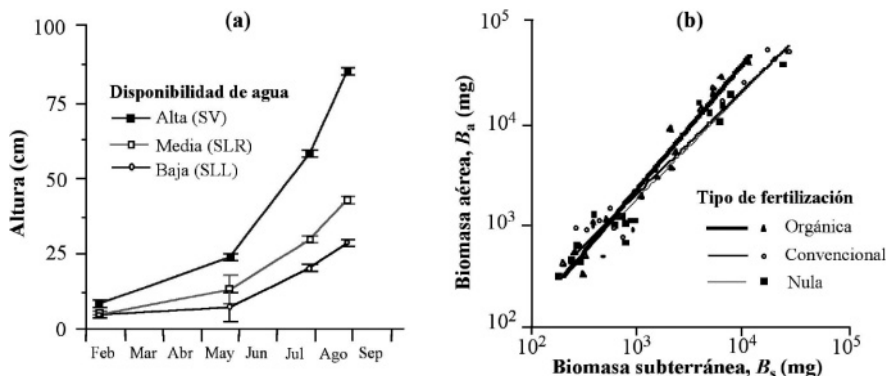
Con alta disponibilidad de agua,  $B_a$  y  $B_s$  aumentaron con un patrón diferente según el tipo de fertilización (Figura 2b). Con fertilización orgánica, la asignación de biomasa siguió un modelo alométrico ( $B_a = 0,46B_s^{1,234}$ ;  $r^2 = 0,97$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 18$ ), significativamente diferente ( $p < 0,001$ ) de los modelos lineales observados con fertilización convencional ( $B_a = 1,86B_s^{1,017}$ ;  $r^2 = 0,95$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 18$ ) o sin fertilización ( $B_a = 1,28B_s^{1,053}$ ;  $r^2 = 0,94$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 18$ ). Por tanto, la fertilización con 'Humus líquido Ecocelta' aumenta más la  $B_a$  para un mismo crecimiento de  $B_s$  que las otras condiciones: si  $B_s$  se multiplica por 10,  $B_a$  aumenta en promedio 17 veces más. Esto probablemente está asociado a la plasticidad en la arquitectura radicular por efectos positivos de los ácidos húmicos sobre la absorción de nutrientes.

Por el contrario, sin fertilización, las diferencias en la disponibilidad de agua no afectaron a la asignación de biomasa entre las partes aérea y subterránea durante el crecimiento. Se ha observado que  $B_a$  y  $B_s$  aumentan en la misma proporción ( $p > 0,05$ ) con sequía ( $B_a = 1,75B_s^{1,053}$ ;  $r^2 = 0,96$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 18$ ), sequía gradual ( $B_a = 1,52B_s^{1,065}$ ;  $r^2 = 0,97$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 18$ ) o alta disponibilidad de agua (modelo indicado en el párrafo anterior). Por tanto, es posible generalizar un modelo lineal común para las condiciones de cultivo ensayadas ( $B_a = 1,80B_s^{1,029}$ ;  $r^2 = 0,95$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 54$ ). El modelo de los tres tratamientos sin nutrientes añadidos es similar ( $p > 0,05$ ) al observado con fertilización orgánica y sequía gradual ( $B_a = 3,58B_s^{0,958}$ ;  $r^2 = 0,95$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 18$ ).

En condiciones naturales, no existen diferencias significativas entre sectores en la asignación de biomasa entre las partes aérea y



**Figura 1.** Valores medios de diferentes atributos relacionados con el crecimiento y la hidratación foliar de plantas de madroño en diferentes condiciones de disponibilidad de agua en: (a) vivero tras 14 meses, donde se considera también el tipo de fertilización; (b) campo, a los siete meses desde la plantación. Las barras verticales representan el error estándar, a veces inapreciable. Letras diferentes sobre las medias denotan diferencias significativas



**Figura 2.** (a) Crecimiento de la altura de plantas de madroño en condiciones de campo con diferente disponibilidad de agua. (b) Relación entre biomasa aérea ( $B_a$ ) y subterránea ( $B_s$ ) de plantas de madroño en vivero con alta disponibilidad de agua y diferente tipo de fertilización. Se muestran las líneas de regresión de las ecuaciones  $B_a = aB_s^b$

subterránea durante el crecimiento ( $p > 0,05$ ). Por tanto se han descrito mediante un modelo lineal común ( $B_a = 7,49B_s^{0,933}$ ;  $r^2 = 0,84$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 15$ ), que representa un cambio relativo de  $B_a$  y  $B_s$  idéntico ( $p > 0,05$ ) al observado en cinco de las seis condiciones ensayadas en vivero.

Los resultados indican que durante el crecimiento las plantas jóvenes de madroño no invierten más en  $B_s$  como respuesta fenotípica a la escasez de recursos edáficos. Este menor coste de crecimiento en condiciones limitantes puede ser una ventaja adaptativa similar al menor coste de mantenimiento característico de plantas mediterráneas que crecen en condiciones de estrés (TERRADAS, 2001). Además, revela una aptitud adicional para las condiciones desfavorables resultantes del cambio climático.

### Agradecimientos

Este trabajo es parte del proyecto de I+D REFORGAL financiado por Maderas Nobles de la Sierra del Segura, S.A. Ecocelta, S.L. donó el compost y el fertilizante orgánico utilizado en el ensayo de vivero.

### BIBLIOGRAFÍA

DOMÍNGUEZ, S.; MURIAS, G.; HERRERO, N. Y PEÑUELAS, J.; 2001. Comparación del desarrollo de ocho especies mediterráneas

durante su primer año en campo y su relación con los parámetros funcionales de las plantas. En: S.E.C.F.-Junta de Andalucía (eds.), *III Congreso Forestal Español. Montes para la sociedad del nuevo milenio II*: 117-124. Gráficas Coria. Sevilla.

GRATANI, L. & GHIA, E.; 2002. Adaptive strategy at the leaf level of *Arbutus unedo* L. to cope with Mediterranean climate. *Flora* 197: 275-284.

GRATANI, L. & VARONE, L.; 2004. Adaptive photosynthetic strategies of the Mediterranean maquis species according to their origin. *Photosynthetica* 42: 551-558.

NAVARRO, A.; SÁNCHEZ-BLANCO, M.J. & BAÑÓN, S.; 2007. Influence of paclobutrazol on water consumption and plant performance of *Arbutus unedo* seedlings. *Sci. Hort.* 111: 133-139.

MUNNÉ-BOSCH, S. & PEÑUELAS, J.; 2004. Drought-induced oxidative stress in strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) growing in Mediterranean field conditions. *Plant Science* 166: 1105-1110.

OGAYA, R.; PEÑUELAS, J.; MARTÍNEZ-VILALTA, J. & MANGIRÓN, M.; 2003. Effect of drought on diameter increment of *Quercus ilex*, *Phillyrea latifolia*, and *Arbutus unedo* in a holm oak forest of NE Spain. *Forest Ecol. Manage.* 180: 175-184.

TERRADAS, J.; 2001. *Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de las comunidades y paisajes*. Omega. Barcelona.