

# VARIATION IN QUANTITATIVE VESSEL ELEMENT FEATURES OF *Juglans regia* WOOD IN THE WESTERN BLACK SEA REGION OF TURKEY

## VARIACIÓN EN CARACTERÍSTICAS CUANTITATIVAS DE ELEMENTOS DE VASO EN MADERA DE *Juglans regia* EN LA REGIÓN OCCIDENTAL DEL MAR NEGRO, TURQUÍA

Barbaros Yaman

Zonguldak Karaelmas University, Bartin Faculty of Forestry, Department of Forest Botany, Bartin/  
Turkey (yamanbar2000@yahoo.com)

### ABSTRACT

Variations in quantitative vessel element characters of *Juglans regia* L. wood were studied in relation to altitude and growth-ring width. Multiple regression analysis using altitude and growth-ring width as independent variables were performed. Significant correlations were obtained for tangential vessel and radial vessel diameter ( $p \leq 0.001$ ), vulnerability ratio and xeromorphy ratio ( $p \leq 0.01$ ), and for the number of vessels per group ( $p \leq 0.05$ ). Vessel frequency is not correlated with independent variables. Non-anatomical factors (altitude and growth-ring width) explain 40.4-80.4% of variation for dependent variables.

**Key words:** *Juglans regia*, altitude, ecology, growth-rings, wood anatomy.

### INTRODUCTION

Anatomical features in wood are affected by environmental factors such as temperature, light intensity, water, nutrients (soil fertility), gravity, photoperiod, climate periodicity, wind and frost (Wodzicki, 2001). The basic knowledge on ecological wood anatomy comes from Carlquist (1966 and 1977a,b), Baas (1973), Graaff and Baas (1974); besides, several studies have been carried out on this subject (Alves and Angyalossy-Alfonso, 2000; Lens *et al.*, 2003; Rodríguez *et al.*, 2006). Most of the studies reveal variations in wood anatomical properties, especially vessel elements, in response to different ecological conditions. Vessel element properties are affected by climatic factors such as temperature, water availability, etc., in connection with latitude, altitude, and different habitats (Baas, 1982; Graaff and Baas, 1974; Carlquist, 1988). Carlquist (1977b) and Carlquist and DeBuhr (1977) introduced two equations relating to ecological wood anatomy: vulnerability (mean vessel diameter

### RESUMEN

Se estudiaron variaciones en características cuantitativas de los elementos de vaso en la madera de *Juglans regia* L., en relación con la altitud y el ancho de los anillos de crecimiento. Se hicieron análisis de regresión, utilizando la altitud y el ancho de los anillos de crecimiento como variables independientes. Se obtuvieron correlaciones significativas para los diámetros de vaso tangencial y radial ( $p \leq 0.001$ ), las tasas de vulnerabilidad y xeromorfía ( $p \leq 0.01$ ), y para el número de vasos por grupo ( $p \leq 0.05$ ). La frecuencia de vaso no se correlaciona con las variables independientes. Factores no anatómicos (altitud y ancho del anillo de crecimiento) explican 40.4-80.4% de la variación en las variables dependientes.

**Palabras clave:** *Juglans regia*, altitud, ecología, anillos de crecimiento, anatomía de la madera.

### INTRODUCCIÓN

Las características anatómicas en la madera son afectadas por factores ambientales como temperatura, intensidad de luz, agua, nutrientes (fertilidad del suelo), gravedad, fotoperíodo, periodicidad del clima, viento y heladas (Wodzicki, 2001). El conocimiento básico sobre la anatomía ecológica de la madera viene de Carlquist (1966 y 1977a,b), Baas (1973), Graaff y Baas (1974); además, se han realizado estudios sobre el tema (Alves y Angyalossy-Alfonso, 2000; Lens *et al.*, 2003; Rodríguez *et al.*, 2006). La mayoría de los estudios revelan variaciones en las propiedades anatómicas de la madera, especialmente los elementos de vaso, en respuesta a diversas condiciones ecológicas. Las propiedades de los elementos de vaso son afectadas por factores climáticos como la temperatura, la disponibilidad de agua, etc., en relación con latitud, altitud y diferentes hábitats (Baas, 1982; Graaff y Baas, 1974; Carlquist, 1988). Carlquist (1977b) y Carlquist y DeBuhr (1977) introdujeron dos ecuaciones relacionadas con la anatomía ecológica de la madera: vulnerabilidad (diámetro del vaso promedio dividido por densidad

Recibido: Marzo, 2007. Aprobado: Febrero, 2008.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 42: 357-365. 2008.

divided by mean vessel density) and mesomorphy (vulnerability multiplied by vessel element length).

Anatomical variations of Turkish maples (Yaltirik, 1970) and beech woods (Sanli, 1977) were examined with relation to habitat and altitude. Wood structures of *Ostrya carpinifolia* (Gercek *et al.*, 1998), *Rhododendron* sp. (Merev and Yavuz, 2000), *Populus tremula* (Yaman and Saribas, 2004) and *Cerasus avium* (Yaman, 2006) were studied with regard to ecological perspective.

Paleobotanical and archaeological investigations in Turkey show that *J. regia* has been in Anatolia for many thousands of years (Aytug and Sanli, 1974; Sanli, 1989; Aytug and Gorcelioglu, 1987). It is presumed native in the north-eastern and eastern Anatolia and it has been widely planted and naturalized throughout Turkey (Yaltirik, 1982; Leslie and McGranahan, 1988). Due to its valuable wood the trunks of *J. regia* were exported from Anatolia to European countries until 1950 (Yaltirik, 1982). In terms of both fruit and wood, *J. regia* is one of the most economically important taxa in the world and Turkey (Voulgaridis and Vassiliou, 2006). Its wood anatomical range and physical and mechanical properties have been studied by Verani (1993), Merev (1998) and Kantay *et al.* (2000).

Of both individuals in humid sites and cold and drought tolerant genotypes in Anatolia having extreme differences in geographic and climatic conditions (Sykes, 1975), there is an opportunity for studying wood anatomical variation in *J. regia* wood. Therefore, the aim of the present study was to study variations in quantitative vessel element features of *J. regia* wood in relation to altitude and growth-ring width in the western Black Sea region of Turkey.

## MATERIALS AND METHODS

The 12 sample trees were selected from different altitudes but with the same exposition (northern) in the western Black Sea region of Turkey. Trunk diameters at breast height and locality data of sample trees are shown in Table 1.

The Black Sea region is a macroclimate type with mild temperatures and precipitation almost uniformly distributed throughout the year. In some degree, its sub-macroclimate type in western Black Sea region has lower average values of both temperature and precipitation than that of eastern Black Sea region (Erinc, 1996).

The wood specimens (increment cores with both 12 mm and 5 mm in diameter) were extracted from the same side (west) at breast height of the trunks using two different increment borers. The former was used for anatomical investigation, and the latter for growth-ring measurements.

In the laboratory the samples were boiled and placed in a solution with equal parts of water, glycerine and ethyl alcohol

del vaso promedio) y mesomorfia (vulnerabilidad multiplicada por largo del elemento de vaso).

Se examinaron las variaciones anatómicas de maples (Yaltirik, 1970) y maderas de haya (Sanli, 1977) en Turquía, con relación al hábitat y la altitud. Las estructuras de la madera de *Ostrya carpinifolia* (Gercek *et al.*, 1998), *Rhododendron* sp. (Merev y Yavuz, 2000), *Populus tremula* (Yaman y Saribas, 2004) y *Cerasus avium* (Yaman, 2006) se estudiaron con la perspectiva ecológica.

Investigaciones paleobotánicas y arqueológicas en Turquía muestran que *J. regia* ha estado en Anatolia muchos miles de años (Aytug y Sanli, 1974; Sanli, 1989; Aytug y Gorcelioglu, 1987). Se supone que es nativa de las regiones del noriente y oriente de Anatolia, y se ha cultivado ampliamente y naturalizado en todo Turquía (Yaltirik, 1982; Leslie y McGranahan, 1988). Debido a su valiosa madera, los troncos de *J. regia* se exportaron desde Anatolia hacia países de Europa hasta 1950 (Yaltirik, 1982). En términos de los frutos y la madera, *J. regia* es uno de los taxa económicamente más importantes en el mundo y en Turquía (Voulgaridis y Vassiliou, 2006). Verani (1993), Merev (1998) y Kantay *et al.* (2000) han estudiado la gama anatómica de su madera y sus propiedades físicas y mecánicas.

Existe la oportunidad de estudiar la variación en anatomía de la madera de *J. regia* en Anatolia, dado que hay individuos en sitios húmedos y fríos, así como genotipos tolerantes a la sequía (Sykes, 1975). Por tanto, el objetivo del presente estudio fue estudiar variaciones en características cuantitativas de elementos de vaso de la madera de *J. regia*, en relación con la altitud y el ancho de los anillos de crecimiento en la región occidental del Mar Negro de Turquía.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los 12 árboles de muestra se seleccionaron en distintas altitudes, pero con la misma exposición (hacia el norte) en la región occidental del Mar Negro de Turquía. Los datos de diámetros de los troncos a la altura del pecho y de las localidades de los árboles muestra se presentan en el Cuadro 1.

La región del Mar Negro es un tipo macroclimático con temperaturas templadas y precipitación distribuidas uniformemente en el año. Hasta cierto grado, su tipo de sub-microclima en la región occidental del Mar Negro tiene valores promedio más bajos de temperatura y precipitación, que en la región oriental del Mar Negro (Erinc, 1996).

Se extrajeron especímenes de madera (núcleos de incremento con 12 mm y 5 mm de diámetro) del mismo lado (oeste) del tronco, a la altura del pecho, usando dos barrenadores de incremento. El primero se usó para investigación anatómica y el segundo para medidas del anillo de crecimiento.

**Table 1. Data of sample trees selected in the Western Black Sea region of Turkey.**  
**Cuadro 1. Datos de árboles muestra en la región occidental del Mar Negro de Turquía.**

Sample tree	Location	Coordinate	Altitude (M)	DBH (CM)
1	Bartın - Caybuku	41° 32' 17.1" N - 32° 20' 15.0" E	22	57
2	Bartın - Caybuku	41° 32' 03.1" N - 32° 19' 30.3" E	63	49
3	Bartın - Ozbasi	41° 25' 30.3" N - 32° 23' 49.1" E	156	54
4	Bartın - Bagdatli	41° 24' 32.8" N - 32° 28' 55.2" E	291	51
5	Bartın - Hisar	41° 25' 45.0" N - 32° 32' 46.4" E	389	54
6	Bartın - Kizillar	41° 23' 47.2" N - 32° 29' 35.9" E	417	57
7	Karabuk - Burnuk	41° 09' 33.5" N - 32° 45' 6.08" E	667	69
8	Karabuk - Seyitler	41° 09' 40.6" N - 32° 44' 43.6" E	755	71
9	Kastamonu - Pinarbasi - Dizdarli	41° 40' 57.5" N - 32° 56' 05.4" E	850	35
10	Karabuk - Yeni Kiziloren	41° 10' 9.07" N - 32° 43' 04.5" E	972	54
11	Karabuk - Yeni Kiziloren	41° 10' 9.07" N - 32° 43' 04.5" E	972	56
12	Kastamonu - Azdavay - Zumurut	41° 43' 19.4" N - 33° 12' 18.0" E	1142	50

DBH: Diameter of breast height of sample tree.

for softening. Transverse, radial, and tangential sections (15 μm thick), including growth-rings of 2002 and 2003, were taken from them using an Euromex sliding microtome. Preparation of the sections was done according Yaltirik (1971). The following anatomical variables were determined: tangential and radial lumen diameter of vessel, vessel frequency, and the number of vessels per group; vulnerability ratio was calculated for every sample tree; 25 measurements or counting were performed for each variable (1200 measurements for all samples). Additionally, for every sample tree, growth-ring widths from 1984 to 2003 were measured using VIAS Time-Table.

Xeromorphy ratio (XERO) was developed for practical studies of ecological wood anatomy: the inner wall-surface in contact with water column/volume in vessel element is multiplied by vessel frequency; if it is assumed that a vessel element is approximately elliptic cylinder, the lateral wall-surface (*S*) to volume (*V*) ratio is:

$$\frac{S}{V} = \frac{2\pi h \sqrt{(a^2 + b^2)}/2}{\pi abh} = \frac{2\sqrt{(a^2 + b^2)}/2}{ab} \tag{1}$$

$$XERO = \frac{S}{V} \times f \tag{2}$$

where, *a* = major radius of ellipse; *b* = minor radius of ellipse (*a* = half radial vessel diameter; *b* = half tangential vessel diameter); *h* = length of elliptic cylinder (vessel element length); *f* = vessel frequency.

Data on altitude, growth-ring width, selected anatomical characters, vulnerability ratio and xeromorphy ratio were analysed by multiple regression using the SPSS 9.0 program. In the analysis, altitude and growth-ring width were considered as independent variables, and wood anatomical characters selected, vulnerability ratio and xeromorphy ratio were used as dependent variables.

En el laboratorio, las muestras se hirieron y colocaron en una solución con partes iguales de agua, glicerina y alcohol etílico para suavizarlas. Se tomaron secciones transversa, radial y tangencial (15 μm grueso), incluyendo los anillos de crecimiento de 2002 y 2003, usando un microtomo de deslizamiento Euromex. La preparación de las secciones se hizo según Yaltirik (1971). Las variables anatómicas determinadas fueron: los diámetros tangencial y radial del lumen del vaso, la frecuencia de vaso, y el número de vasos por grupo; se calculó la tasa de vulnerabilidad para cada árbol muestra; se hicieron 25 medidas o conteos para cada variable (1200 medidas por todas las muestras). Además, para cada árbol muestra, se midieron los anchos de los anillos de crecimiento de 1984 a 2003, usando un Cuadro del Tiempo VIAS.

La tasa de xeromorfía (XERO) se desarrolló para estudios prácticos de anatomía ecológica de la madera: superficie interna en contacto con la columna de agua/volumen en el elemento de vaso se multiplica por la frecuencia de vaso; si se supone que un elemento de vaso es aproximadamente un cilindro elíptico, la tasa de superficie de pared lateral (*S*) a volumen (*V*) es:

$$\frac{S}{V} = \frac{2\pi h \sqrt{(a^2 + b^2)}/2}{\pi abh} = \frac{2\sqrt{(a^2 + b^2)}/2}{ab} \tag{1}$$

$$XERO = \frac{S}{V} \times f \tag{2}$$

donde, *a* = radio mayor del elipse; *b* = radio menor del elipse (*a* = medio diámetro radial de vaso; *b* = medio diámetro de vaso tangencial); *h* = largo del cilindro elíptico (largo del elemento de vaso); *f* = frecuencia de vaso.

Se analizaron datos de altitud, ancho de los anillos de crecimiento, caracteres anatómicos seleccionados, tasa de vulnerabilidad y de xeromorfía, usando regresión múltiple usando el programa SPSS 9.0; en la altitud y el ancho de los anillos de crecimiento se consideraron variables independientes, y los caracteres anatómicos

## RESULTS AND DISCUSSION

*J. regia* has a semi-ring porous wood. Growth-ring boundaries are distinct because of differences in vessel diameter between early and late-wood in successive rings. Vessels are mostly solitary, or partly in radial multiples of 2-5. Solitary vessels are oval to round in outline. Vessel elements have simple perforation plates with oblique end walls. Inter-vessel pits, with slit-like apertures, are alternate and their shape range from polygonal to round. Tangential and radial vessel diameter on average are 135.3  $\mu\text{m}$  (114-152.8  $\mu\text{m}$ ) and 177.1  $\mu\text{m}$  (152-214.8  $\mu\text{m}$ ). Vessel frequency ranges from 7.8 to 11.8, ( $\bar{x}$  9.1), whereas the number of vessels per group ranges from 1.16 to 1.68 ( $\bar{x}$  1.39). Vulnerability ratio and xeromorphy ratio of *J. regia* range from 9.7 to 18.6 and from 0.18 to 0.36. Vulnerability ratio, xeromorphy ratio, and quantitative data belonging to anatomical properties selected were tabulated separately for each sample tree (Table 2).

Altitude and growth-ring width as independent variables showed significant  $R^2$  (0.404 to 0.804) for tangential and radial vessel diameter ( $p \leq 0.001$ ), vulnerability ratio and xeromorphy ratio ( $p \leq 0.01$ ), and for the number of vessels per group ( $p \leq 0.05$ ). Thus, non-anatomical factors (ALT and GRW) explain 40.4-80.4% of total variation for those dependent variables. For ALT, standardized regression coefficients were significant for tangential and radial vessel diameter ( $p \leq 0.001$ ), vulnerability ratio and xeromorphy ratio ( $p \leq 0.01$ ), and for the number of vessels per group ( $p \leq 0.05$ ), but for growth-ring width only radial vessel diameter was significant ( $p \leq 0.05$ ). The largest standardized  $R^2$  between dependent variables and non-anatomical factors were  $-0.917$  for tangential vessel diameter,  $-0.717$  for radial vessel diameter,  $-0.760$

de la madera seleccionados, la tasa de vulnerabilidad y la tasa de xeromorfia se usaron como variables independientes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

*J. regia* tiene una madera porosa en semi-anillos. Los bordes del anillo de crecimiento se distinguen por diferencias en el diámetro del vaso entre la madera temprana y tardía en anillos sucesivos. Los vasos son principalmente solitarios, o parcialmente radiales en múltiplos de 2-5. Los vasos solitarios son de contorno ovalados a redondos. Los elementos de vaso tienen placas de perforación simples con paredes externas oblicuas. Los poros inter-vaso, con aperturas similares a hendiduras, se alternan y sus formas van de polígonas a redondas. Los diámetros de vaso tangencial y radial miden en promedio 135.3  $\mu\text{m}$  (114-152.8  $\mu\text{m}$ ) y 177.1  $\mu\text{m}$  (152-214.8  $\mu\text{m}$ ). Las frecuencias de vaso van de 7.8 a 11.8, ( $\bar{x}$  9.1), mientras que el número de vasos por grupo varía de 1.16 a 1.68 ( $\bar{x}$  1.39). La tasa de vulnerabilidad y la tasa de xeromorfia de *J. regia* van de 9.7 a 18.6 y de 0.18 a 0.36. La tasa de vulnerabilidad, la tasa de xeromorfia, y los datos cuantitativos de las propiedades anatómicas seleccionadas se tabularon por separado para cada árbol muestra (Cuadro 2).

La altitud y el ancho de los anillos de crecimiento como variables independientes tuvieron  $R^2$  significativas (0.404 a 0.804) para los diámetros tangencial y radial ( $p \leq 0.001$ ), la tasa de vulnerabilidad y la tasa de xeromorfia ( $p \leq 0.01$ ), y para el número de vasos por grupo ( $p \leq 0.05$ ). Así, factores no anatómicos (ALT y GRW) explican 40.4-80.4% de la variación total para esas variables dependientes. Para ALT, los coeficientes de regresión estandarizada fueron significativos para los diámetros tangencial y radial ( $p \leq 0.001$ ), la tasa

Table 2. Quantitative data of selected anatomical features of *J. regia* wood.

Cuadro 2. Datos cuantitativos de características anatómicas seleccionadas en madera de *J. regia*.

ALT	GRW	TVD	RVD	VF	VGR	VUL	XERO
22	7.4±2.2	145.4±28.3	214.8±55.8	7.8±1.9	1.36±0.81	18.6	0.18
63	1.7±0.8	151.6±44.0	188.6±66.8	9.2±1.3	1.24±0.60	16.5	0.22
156	5.8±1.9	139.8±28.0	188.6±44.2	7.8±1.0	1.20±0.58	17.9	0.20
291	1.9±0.8	152.8±42.7	192.6±64.0	9.1±1.9	1.48±0.82	16.8	0.21
389	4.2±1.8	139.8±28.1	186.0±54.5	9.6±1.6	1.32±0.69	14.6	0.24
417	3.7±1.4	143.6±38.3	183.0±56.8	8.2±1.7	1.28±0.61	17.5	0.21
667	2.7±1.1	128.2±33.6	163.6±54.8	8.8±2.3	1.48±0.77	14.6	0.25
755	2.7±1.3	130.0±36.5	158.8±58.1	9.2±1.5	1.16±0.47	14.1	0.26
850	1.9±1.1	125.0±37.0	152.4±59.7	9.3±2.1	1.48±1.08	13.5	0.27
972	5.2±1.7	134.2±33.5	186.6±49.9	8.2±2.3	1.44±0.87	16.3	0.21
972	4.5±1.8	119.2±28.9	157.8±46.7	9.8±2.9	1.56±0.92	12.1	0.29
1142	2.7±0.8	114.0±30.9	152.0±56.7	11.8±3.6	1.68±0.99	9.7	0.36
Mean	3.7±1.8	135.3±12.4	177.1±19.7	9.1±1.1	1.39±0.16	15.2±2.6	0.24±0.05

ALT: altitude; GRW: growth-ring width (mm); TVD: tangential vessel diameter ( $\mu\text{m}$ ); RVD: radial vessel diameter ( $\mu\text{m}$ ); VF: vessel frequency; VGR: number of vessels per group; VUL: vulnerability; XERO: xeromorphy.

for vulnerability ratio, and 0.721 for xeromorphy ratio (Table 3). Trends in the values of these dependent variables in respect of independent variables are plotted in Figures 1-4.

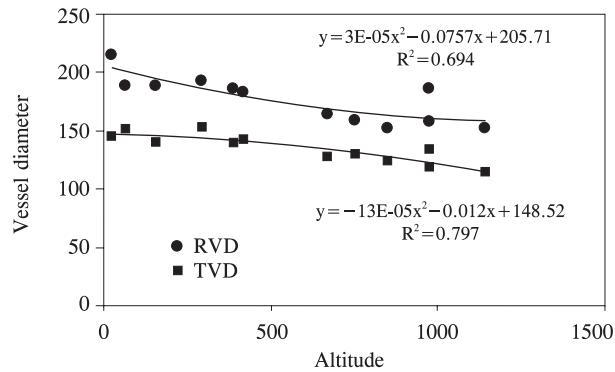
Vessel frequency and tangential vessel diameter of *J. regia* wood in Israel and adjacent regions are

de vulnerabilidad y la tasa de xeromorfia ( $p \leq 0.01$ ), y para el número de vasos por grupo ( $p \leq 0.05$ ), pero para el ancho de los anillos de crecimiento, sólo el diámetro de vaso radial fue significativo ( $p \leq 0.05$ ). La mayor  $R^2$  estandarizada entre variables dependientes y factores no anatómicos fue  $-0.917$  para el diámetro

**Table 3. Regression results between dependent and independent variables.**  
**Cuadro 3. Resultados de regresión entre variables dependientes e independientes.**

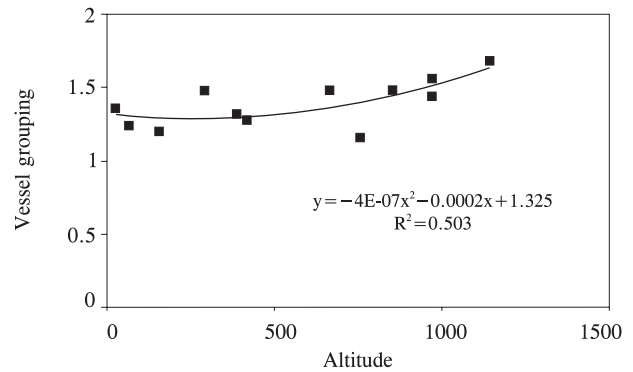
DV	R	R <sup>2</sup>	F-ratio	Partial regression coefficient			Standardized regression coefficient	
				Constant	ALT	GRW	ALT	GRW
TVD	0.892	0.796	17.610***	155.218	-0.0294	-0.944	-0.917***	-0.135
RVD	0.897	0.804	18.480***	181.518	-0.0366	4.313	-0.717***	0.386*
VF	0.716	0.513	4.744*	9.156	0.0014	-0.241	0.508	-0.392
VGR	0.635	0.404	3.045	1.249	0.0002	-0.0006	0.633*	-0.008
VUL	0.856	0.732	12.285**	16.728	-0.0051	0.362	-0.760**	0.244
XERO	0.821	0.674	9.287**	0.216	0.0001	-0.0071	0.721**	-0.249

ALT: altitude; GRW: growth-ring width (mm); TVD: tangential vessel diameter ( $\mu\text{m}$ ); RVD: radial vessel diameter ( $\mu\text{m}$ ); VF: vessel frequency; VGR: number of vessels per group; VUL: vulnerability; XERO: xeromorphy.



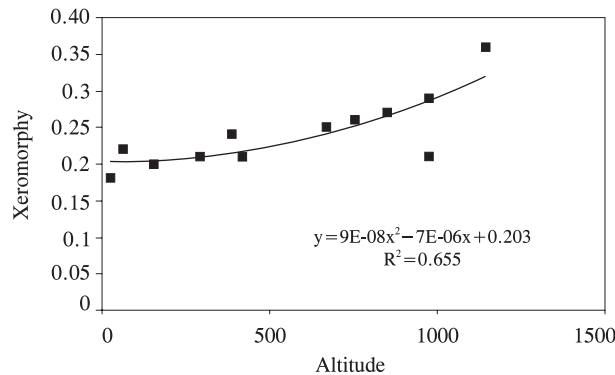
**Figure 1. Trend between vessel diameter (VD) and altitude (ALT).**

**Figura 1. Tendencia entre diámetro de vaso (DV) y altitud (ALT).**



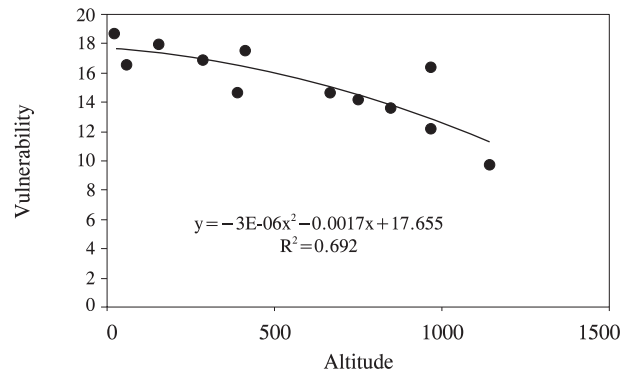
**Figure 2. Trend between number of vessels per group (VGR) and altitude (ALT).**

**Figura 2. Tendencia entre número de vasos por grupo (VGR) y altitud (ALT).**



**Figure 3. Trend between xeromorphy (XERO) and altitude (ALT).**

**Figura 3. Tendencia entre xeromorfia (XERO) y altitud (ALT).**



**Figure 4. Trend between vulnerability (VUL) and altitude (ALT).**

**Figura 4. Tendencia entre vulnerabilidad (VUL) y altitud (ALT).**



2-20 mm<sup>-2</sup> and 40-150 μm (Fahn *et al.*, 1986). The values of Himalayan *J. regia* wood are 5-8 mm<sup>-2</sup> and 50-250 μm (Suzuki *et al.*, 1991). As for Turkish *J. regia* (Merev, 1998), tangential and radial vessel diameters on average are 136.13 μm and 161.80 μm in early-wood, 84.55 μm and 75.26 μm in late-wood. Mean vessel frequency and the number of vessels per group are 12.82 mm<sup>-2</sup> and 1.36. In the present study, tangential vessel diameter, vessel frequency, and the number of vessels per group are 135.3 μm, 9.1 mm<sup>-2</sup>, and 1.39 on average.

The present results point out the impacts of altitudinal gradients on tangential and radial vessel diameters, the number of vessels per group, vulnerability ratio and xeromorphy ratio of *J. regia* wood in western Black Sea region. With increasing altitude in the field, while vulnerability ratio and both tangential and radial diameter of vessel elements tend to decrease, xeromorphy ratio and the number of vessels per group tend to increase. However, vessel frequency is not correlated with altitude. The close relations between vessel element properties and altitude also appear in other anatomical studies: in intraspecific level while vessel frequency is positively correlated with altitude (Noshiro and Suzuki, 1995; Yaman and Saribas, 2004; Yaman, 2006), there are negative correlations between altitude and vessel diameter (Merev and Yavuz, 2000; Yaman and Saribas, 2004; Yaman 2006), vessel element length (Noshiro *et al.*, 1994; Gercek *et al.*, 1998; Yaman, 2006), solitary vessel ratio (Noshiro *et al.*, 1994). However, in *Rhododendron campanulatum* wood, contrary to aforementioned relations, vessel element length and vessel frequency are positively and negatively correlated with altitude (Noshiro and Suzuki, 1995). Xinying *et al.* (1988) also report that the negatively correlation appears between altitude and vessel frequency, and that the positively correlation occurs between altitude and vessel diameter, and vessel element length. Moreover, Graaff and Baas (1974) point out that there are not correlations between above mentioned features of vessel elements and altitude in the species of *Pittosporum*, *Calophyllum*, and *Schuermansia* with a wide altitudinal range. In the absence of altitudinal trends in *Dodonaea viscosa* wood, a species with a worldwide distribution, Liu and Noshiro (2003) suggest that the species-level variation in wood anatomy is not controlled by ecological gradients in some species.

Carlquist (1988) points out that the correlations between some quantitative vessel element features and altitude should be related to water availability and temperature factors. Extreme low temperatures affect the viscosity of water both in soil and in stem, and are a major factor limiting the taking up of water

de vaso tangencial, -0.717 para el diámetro de vaso radial, -0.760 para la tasa de vulnerabilidad, y 0.721 para la tasa de xeromorfia (Cuadro 3). Las tendencias en los valores de estas variables dependientes respecto a las variables independientes se muestran en las Figuras 1 a 4.

La frecuencia de vaso y el diámetro de vaso tangencial de la madera de *J. regia* en Israel y regiones colindantes son de 2-20 mm<sup>-2</sup> y 40-150 μm (Fahn *et al.*, 1986). Los valores de madera de *J. regia* del Himalaya son 5-8 mm<sup>-2</sup> y 50-250 μm (Suzuki *et al.*, 1991). Para la *J. regia* turca (Merev, 1998), los diámetros de vaso tangencial y radial son en promedio 136.13 μm y 161.80 μm en madera temprana, y 84.55 μm y 75.26 μm en madera tardía. La frecuencia de vaso promedio y el número de vasos por grupo es 12.82 y 1.36. En el presente estudio, el diámetro de vaso tangencial, la frecuencia de vaso y el número de vasos por grupo son 135.3 μm, 9.1 mm<sup>-2</sup>, y 1.39 en promedio.

Estos resultados señalan los impactos de gradientes altitudinales en los diámetros de vaso tangencial y radial, el número de vasos por grupo, la tasa de vulnerabilidad y la tasa de xeromorfia de la madera de *J. regia* en la región occidental del Mar Negro. Con una altitud creciente en el campo, aunque la tasa de vulnerabilidad y ambos diámetros de los elementos de vaso, tangencial y radial, tienden a disminuir, la tasa de xeromorfia y el número de vasos por grupo tienden a aumentar. Sin embargo, la frecuencia de vaso no se correlaciona con la altitud. La relación cercana entre las propiedades de elemento de vaso y la altitud también aparecen en otros estudios anatómicos: en el nivel intraespecífico, aunque la frecuencia de vaso se correlaciona positivamente con la altitud (Noshiro y Suzuki, 1995; Yaman y Saribas, 2004; Yaman, 2006), hay correlaciones negativas entre la altitud y el diámetro de vaso (Merev y Yavuz, 2000; Yaman y Saribas, 2004; Yaman 2006), el largo del elemento de vaso (Noshiro *et al.*, 1994; Gercek *et al.*, 1998; Yaman, 2006), y la tasa de vaso solitario (Noshiro *et al.*, 1994). Sin embargo, en la madera de *Rhododendron campanulatum*, en oposición a las relaciones mencionadas, el largo del elemento de vaso y la frecuencia de vaso se correlacionan con la altitud de forma positiva y negativa (Noshiro y Suzuki, 1995). Xinying *et al.* (1988) también reportan que aparece una correlación negativa entre la altitud y la frecuencia de vaso, y que hay una correlación positiva entre la altitud y el diámetro de vaso, y el largo de los elementos de vaso. Además, Graaff y Baas (1974) señalan que no hay correlaciones entre las características de los elementos de vaso mencionadas y la altitud en las especies de *Pittosporum*, *Calophyllum* y *Schuermansia* con un

from soil and the transport of water in the secondary xylem (Cepel, 1993; Cavender-Bares, 2005). According to Roderick and Berry (2001), the effect of temperature on the viscosity of water will affect vessel size or number and, therefore, wood density. The physiological link between water viscosity and wood anatomy in *Eucalyptus camaldulensis* has been reported by Thomas *et al.* (2004). Very narrow vessel diameter-low vulnerability values ( $<1$ )-denote high conductive safety, and very wider vessel diameter-high vulnerability values ( $>3$ )-are an indicator of high conductive efficiency (Carlquist, 1977b). The mean vulnerability ratio (15.2) shows that *J. regia* wood in the field has high conductive efficiency, but it is vulnerable to embolism. However, in comparison with those in lower altitudes, narrower vessel diameter, lower vulnerability ratio, and more vessels grouping in *J. regia* wood in higher altitude might be explained as enhancement of conductive safety in some degree.

The extremely low xeromorphy ratios of *J. regia* denote mesomorphic wood structure for this species. In spite of non-significant relationship between vessel frequency and altitude, the increasing of xeromorphy ratio from low-to high-altitudes is due to increasing of wall-surface area to volume ratio together with narrowing of vessel element diameter along altitudinal gradients. The variation in vessel elements along altitudinal gradient might be a response to decreasing in temperatures along the gradients in the region.

In our study, except for radial vessel diameter, significant correlations do not occur between growth-ring widths and other anatomical properties examined. However, Yaman (2006) found significant correlations between growth-ring widths and vessel frequency, vulnerability ratio, and mesomorphy ratio in *Cerasus avium* wood.

In the base of data of Sanli (1977), Carlquist and Hoekman (1985) and Merev (1998) it might be proposed as a pre-determination that xeromorphy ratios above 9 denote xeromorphic-, and those under 9 indicate mesomorphic- wood structure. In some woody plants, in case of the probable xeromorphy ratios contrast to the ecological sites represented, another ways of ecological adaptation might be considered (Carlquist, 1988).

## CONCLUSIONS

Like in most of other species examined in relation to ecological wood anatomy, some quantitative features of vessel elements in *J. regia* wood also correlate with altitude. Xeromorphy ratio, introduced in the present study, appears to be related to ecological factors. This ratio, as well as Carlquist's

amplio rango altitudinal. En ausencia de tendencias altitudinales en madera de *Dodonaea viscosa*, una especie con distribución mundial, Liu y Noshiro (2003) sugieren que la variación al nivel especie en la anatomía de la madera no es controlada por gradientes ecológicos en algunas especies.

Carlquist (1988) señala que las correlaciones entre algunas características cuantitativas de los elementos de vaso y la altitud deben relacionarse con factores de disponibilidad de agua y temperatura. Las temperaturas bajas extremas afectan la viscosidad del agua en el suelo y en el tallo, y son un factor importante que limita la absorción de agua del suelo y el transporte de agua en el xilema secundario (Cepel, 1993; Cavender-Bares, 2005). Según Roderick y Berry (2001), el efecto de la temperatura en la viscosidad del agua influenciará el tamaño o número de los vasos y, por tanto, la densidad de la madera. El vínculo fisiológico entre la viscosidad del agua y la anatomía en *Eucalyptus camaldulensis* fue reportado por Thomas *et al.* (2004). Valores muy estrechos de diámetro de vaso-valores de baja vulnerabilidad ( $<1$ )- denotan una alta seguridad de conducción, y valores muy anchos de diámetro-valores de alta vulnerabilidad ( $>3$ )- son un indicador de una alta eficiencia conductiva (Carlquist, 1977b). La tasa de vulnerabilidad promedio (15.2) muestra que la madera de *J. regia* en el campo tiene una alta eficiencia conductiva, pero también es vulnerable a embolias. Sin embargo, en comparación con aquellas en altitudes más bajas, un diámetro de vaso más estrecho, menor tasa de vulnerabilidad, y más agrupamiento de vasos en la madera de *J. regia* en altitudes más altas se puede explicar hasta cierto grado como la mejoría de la seguridad conductiva.

Las tasas de xeromorfia extremadamente bajas para *J. regia* denotan una estructura de madera mesomórfica para esta especie. A pesar de la relación no significativa entre la frecuencia de vaso y la altitud, la creciente tasa de xeromorfia en altitudes bajas a altas se debe a un incremento en la tasa del área superficial de pared a volumen, con una disminución en el ancho de diámetro del elemento de vaso a lo largo de gradientes altitudinales. La variación en los elementos de vaso a lo largo del gradiente altitudinal puede ser una respuesta a la disminución en temperaturas a lo largo de los gradientes en la región.

En nuestro estudio, a excepción del diámetro de vaso radial, no ocurren correlaciones significativas entre los anchos de los anillos de crecimiento y otras propiedades anatómicas examinadas. Sin embargo, Yaman (2006) encontró correlaciones significativas entre los anchos de los anillos de crecimiento y la frecuencia de vaso, la tasa de vulnerabilidad y la tasa de mesomorfia en la madera de *Cerasus avium*.

vulnerability and mesomorphy index, might be descriptive of xeromorphic or mesomorphic species in respect of ecological wood anatomy. However, to determine whether it might be used in ecological, paleobotanical, and archeological investigations of wood, further field studies should be carried out.

### LITERATURE CITED

- Alves, E. S., and V. Angyalossy-Alfonso. 2000. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species 1. Growth rings and vessels. *IAWA J.* 21: 3-30.
- Aytug, B., and I. Sanli. 1974. Forets de la fin du tertiaire aux environs du Bosphore. *Revue De La Faculté Forestière De L'Université D'Istanbul* 24: 64-78.
- Aytug, B., and E. Gorcelioglu. 1987. Wood and wooden furniture found in the royal tomb at Gordion. *Review of the Faculty of Forestry, University of Istanbul* 37: 1-27.
- Baas, P. 1982. Systematic, phylogenetic and ecological wood anatomy-history and perspectives. *In: Baas, P. (ed.). New Perspectives in Wood Anatomy.* Martinus Nijhoff Pub. Boston. pp: 23-58.
- Carlquist, S. 1977a. Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. *Am. J. Bot.* 64: 887-896.
- Carlquist, S. 1977b. Wood anatomy of *Onagraceae*: additional species and concepts. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 64: 627-637.
- Carlquist, S. 1988. *Comparative Wood Anatomy.* Springer-Verlag. Berlin. 358 p.
- Carlquist, S., and L. DeBuhr. 1977. Wood anatomy of Penaeaceae (Myrtales): comparative phylogenetic and ecological implications. *Bot. J. of the Linnean Soc.* 75: 211-227.
- Carlquist, S., and D. A. Hoekman. 1985. Ecological wood anatomy of the woody southern California flora. *IAWA Bulletin n.s.* 6: 319-347.
- Cavender-Bares, J. 2005. Impacts of freezing on long-distance transport in woody plants. *In: Holbrook, N. M., M. Zwieniecki and P. Melcher (eds). Vascular Transport in Plants.* Elsevier Inc. Oxford. pp: 401-424.
- Cepel, N. 1993. *Soil-Water-Plant Relationships.* Istanbul Univ. Press. Istanbul. 236 p.
- Erinc, S. 1996. *Climatology and Methods.* Alfa Press. Istanbul. 538 p.
- Fahn, A., E. Werker, and P. Baas. 1986. *Wood Anatomy and Identification of Trees and Shrubs from Israel and Adjacent Regions.* The Israel Academy of Sciences and Humanities Jerusalem. 221 p.
- Gercek, Z., N. Merev, R. Ansin, Z. C. Ozkan, S. Terzioglu, B. Serdar, and T. Birturk. 1998. Ecological wood anatomy of *Ostrya carpinifolia* Scop. in Turkey. *In: Elicin, G. (ed). Symposium on Quercus vulcanica and Flora of Turkey.* Cantay Pub. Istanbul. pp: 302-316.
- Graaff, N. A. v. d., and P. Baas. 1974. Wood anatomical variation in relation to latitude and altitude. *Blumea* 22: 101-121.
- Kantay, R., N. As, and O. Unsal. 2000. The mechanical properties of walnut (*Juglans regia* L.) wood. *Turkish J. Agric. and For.* 24: 751-756.
- Lens, F., P. Gasson, E. Smets, and S. Jansen. 2003. Comparative wood anatomy of Epacrids (*Styphelioideae, Ericaceae* s.l.). *Annals of Bot.* 91: 835-856.
- Leslie, C. A., and G. McGranahan. 1988. Native populations of *Juglans regia* - a draft. *In: Ozelkok, S., and M. Buyukyilmaz (eds). International Conference on Walnuts.* Atatürk Central Horticultural Research Institute Pub. Yalova-Turkey. pp: 111-124.
- Con base en los datos de Sanli (1977), Carlquist y Hoekman (1985) y Merev (1998), puede proponerse como una predeterminación que las tasas de xeromorfía sobre 9 denotan xeromorfía-, y que aquellas debajo de 9 indican mesomorfía- en la estructura de la madera. En algunas plantas maderables, en caso del probable contraste entre tasas de xeromorfía con los sitios ecológicos representados, se pueden considerar otras formas de adaptación ecológica (Carlquist, 1988).

### CONCLUSIONES

Como en muchas otras especies examinadas en relación con la anatomía ecológica de la madera, algunas características cuantitativas de los elementos de vaso en la madera de *J. regia* también se correlacionan con la altitud. La tasa de xeromorfía, introducida en el presente estudio, parece estar relacionada con factores ecológicos. Esta tasa, así como el índice de Carlquist de vulnerabilidad y mesomorfía, puede ser descriptiva de especies xeromórficas o mesomórficas en relación a la anatomía ecológica de la madera. Sin embargo, para determinar si se puede usar en investigaciones ecológicas, paleobotánicas y arqueológicas de la madera, se deben llevar a cabo más estudios de campo.

—Fin de la versión en español—



- Liu, J., and S. Noshiro. 2003. Lack of latitudinal trends in wood anatomy of *Dodonea viscosa* (Sapindaceae), a species with a worldwide distribution. *Am. J. Bot.* 90: 532-539.
- Merev, N. 1998. Wood anatomy of natural Angiospermae taxa in Eastern Black Sea Region I-A. Black Sea Technical University - Forestry Faculty Press. Trabzon. 396 p.
- Merev, N., and H. Yavuz. 2000. Ecological wood anatomy of Turkish *Rhododendron* L. (Ericaceae). Intraspecific variation. *Turkish J. Bot.* 24: 227-237.
- Noshiro, S., and M. Suzuki. 1995. Ecological wood anatomy of Nepalese *Rhododendron* (Ericaceae). 2. Intraspecific variation. *J. Plant Res.* 108: 217-233.
- Noshiro, S., L. Joshi, and M. Suzuki. 1994. Ecological wood anatomy of *Alnus nepalensis* (Betulaceae) in East Nepal. *J. Plant Res.* 107: 399-408.
- Roderick, M. L., and S. L. Berry. 2001. Linking wood density with tree growth and environment: a theoretical analysis based on the motion of water. *New Phytologist* 149: 473-485.
- Rodriguez, S. A., T. Terrazas, and L. L. Mata. 2006. Anatomical wood variation of *Buddleja cordata* (Buddlejaceae) along its natural range in México. *Trees* 20: 253-261.
- Sanli, I. 1977. *Anatomical Researches on Wood of Fagus orientalis* Lipsky. Growing in Different Regions of Turkey. Matbaa Teknisyenleri Press. Istanbul. 282 p.
- Sanli, I. 1989. Le bois et l'archéologie. *Revue De La Faculté Forestière De L'Université D'Istanbul* 39: 130-141.
- Suzuki, M., S. Noshiro, A. Takahasi, K. Yoda, and L. Joshi. 1991. Wood structure of Himalayan plants. *In: Ohba, H.,*



- and S. B. Malla (eds). The Himalayan Plants II. University of Tokyo Press. pp: 17-65.
- Sykes, J. T. 1975. The influence of climate on the regional distribution of nut crops in Turkey. *Econ. Bot.* 29:108-115.
- Thomas, D. S., K. D. Montagu, and J. P. Conroy. 2004. Changes in wood density of *Eucalyptus camaldulensis* due to temperature: the physiological link between water viscosity and wood anatomy. *For. Ecol. and Manag.* 193: 157-165.
- Verani, S. 1993. Some mechanical characteristics and wood seasoning in *Prunus avium*, *Juglans regia* and *Robinia pseudoacacia*. *Quaderni di Ricerca-Centro di Sperimentazione Agricola e Forestale / Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura*. No. 35, 5 p.
- Voulgaridis, V., and V. G. Vassiliou. 2006. The walnut wood and its utilisation to high value products. *Acta Horticulturae* 705: 69-81.
- Wodzicki, T. J. 2001. Natural factors affecting wood structure. *Wood Sci. and Technol.* 35: 5-26.
- Xinying, Z., D. Liang, and P. Baas. 1988. The ecological wood anatomy of the Lilacs (*Syringa oblata* var. *graldii*) on mount Taibei in North-western China. *IAWA Bulletin n.s.* 9: 24-30.
- Yaltirik, F. 1970. Comparison of anatomical characteristics of wood in Turkish maples with relation to the humidity of the sites. *J. Wood Sci.* 5: 43-48.
- Yaltirik, F. 1971. Taxonomical Study on the Macro -and Micro-morphological Characteristics of Indigenous Maples (*Acer* L.) in Turkey. Istanbul Univesity Press. Istanbul. 232 p.
- Yaltirik, F. 1982. *Juglans* L. *In*: Davis, P. H. (ed). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. University Press. Edinburgh. pp: 654.
- Yaman, B. 2006. Variations in quantitative vessel element characters of *Cerasus avium* (*Rosaceae*) wood in Euxine province of Turkey. *In*: Peev, D. (ed). *IV Balkan Botanical Congress (Book of abstracts)*. Sofia-Bulgaria. pp: 24.
- Yaman, B., and M. Saribas. 2004. Vessel size variability of Poplar (*Populus* L.) species in relation to altitude in Euxine Region of Turkey. *Faculty of For. J. Suleyman Demirel University A(1)*: 111-123.