

COMPARACIÓN DE LA ANATOMÍA DE LA MADERA DE *QUERCUS AFFINIS* Y *Q. LAURINA* (FAGACEAE)¹

SUSANA VALENCIA ÁVALOS*
JOSEFINA BARAJAS-MORALES**

RESUMEN

Morfológicamente, *Quercus affinis* Scheidweiler y *Quercus laurina* Humboldt et Bonpland son dos taxa muy parecidos y frecuentemente su identificación es confusa, por lo que se decidió usar la anatomía de la madera con el objeto de lograr una identificación más precisa. Se describe la anatomía de la madera de *Quercus affinis*, *Q. laurina* y *Q. acherdophylla* y se comparan las características anatómicas cualitativas y cuantitativas de los dos primeros, utilizando *Q. acherdophylla* como especie de referencia. Los datos macroscópicos y microscópicos se compararon mediante pruebas estadísticas no jerárquicas de análisis discriminante y por la técnica de agrupamiento que incluyó el método de ligamiento promedio (UPGMA). En la delimitación de estos taxa, las características macroscópicas más útiles son: color de la albura, tipo de porosidad, anillos de crecimiento y tipo de grano; y en cuanto a las microscópicas, longitud de fibras, diámetro de vasos y anchura de radios multiseriados. Con los resultados obtenidos podemos confirmar la existencia de dos taxa bien diferenciados como *Q. affinis* y *Q. laurina*, aunque existe un grupo intermedio que denominamos *Q. affinis* x *Q. laurina*, que crece especialmente en el eje neovolcánico y cuya identificación permanece aún intermedia.

Palabras clave: anatomía de madera, encinos, *Quercus affinis*, *Q. laurina*.

ABSTRACT

Quercus affinis Scheidweiler and *Quercus laurina* Humboldt et Bonpland, are

¹ Este trabajo es parte de la tesis de Maestría de la primera autora, presentada en la Facultad de Ciencias, UNAM.

* Herbario FCME, Facultad de Ciencias, UNAM. Apdo. postal 70-399, Del. Coyoacán, 04510 México D.F.

**Departamento de Botánica, Inst. de Biología UNAM. Apdo. postal 70-233. Del. Coyoacán, 04510 México D.F.

morphologically very similar making their identification very difficult. Their wood anatomy was studied in order to use it as an aid in a more precise identification. The anatomical qualitative and quantitative characteristics of the wood of both species were compared, using the data of *Q. acherdophylla* as a standard reference. The macroscopic and microscopic data were compared using non hierarchical statistics tests of discriminant analysis and by the technique of cluster average league (UPGMA). The results confirm the existence of two well differentiated taxa, *Q. affinis* and *Q. laurina*, and an intermediate group that we are calling *Q. affinis* x *Q. laurina* from the neovolcanic axis. The anatomical traits more useful in delimiting taxa are porosity type, growth rings, sapwood color, grain type, fiber length, vessel diameter, and width of multiseriate rays.

Key words: wood anatomy, oaks, *Quercus affinis*, *Q. laurina*

INTRODUCCIÓN

El xilema secundario ha sido de gran valor para trabajar sobre inferencias evolutivas y en la clasificación de diversos taxa. Los trabajos en los que la anatomía de madera se utiliza como una herramienta para los fines mencionados datan desde mediados del presente siglo con Bailey (1957), quien establece tendencias de especialización evolutiva en el cámbium y xilema de diferentes grupos de plantas.

Jane (1962) estableció que pueden existir diferencias muy marcadas en maderas provenientes de un mismo género, pero que también hay caracteres que definen al género. Los géneros con numerosas especies pueden dividirse en grupos con base en la estructura de su madera y otros caracteres. Así, las maderas pueden distinguirse por su textura, tasa de crecimiento, tamaño de los elementos y otras características, que en conjunto pueden auxiliar incluso en la diferenciación de especies de un mismo género. En este mismo sentido, es bien conocida la gran abundancia de estudios sobre anatomía sistemática de múltiples familias botánicas (Gregory, 1994), en los que la anatomía de maderas ha contribuido enormemente para aclarar confusiones en el nivel de género o supragenérico.

Quercus affinis Scheidweiler y *Quercus laurina* Humboldt et Bonpland son dos especies de encinos del subgénero *Erythrobalanus* (Fagaceae), cuyos ejemplares botánicos presentan hojas con gran parecido morfológico y que frecuentemente hacen difícil su delimitación taxonómica, al grado de existir grandes equivocaciones en la determinación de ejemplares provenientes de diversas regiones de nuestro país lo que incluso ha hecho pensar que se trata de una sola especie. Por lo anterior, en el presente trabajo se caracteriza la anatomía de la madera de estas dos especies y se comparan estadísticamente entre sí y con una tercera: *Quercus acherdophylla* Trelease, perteneciente al mismo subgénero y considerada como especie de referencia. Con esto esperamos contribuir a la delimitación adecuada de las dos especies y a presentar un panorama general de la situación de las mismas.

La madera de los encinos es un importante recurso forestal en México, por lo

que muchas de sus especies han sido parcial o totalmente estudiadas; se sabe que los individuos del género *Quercus* poseen madera dura con peso específico de 7 a 9, porosidad anular o semianular, radios multiseriados conspicuos, uniseriados y ocasionalmente biseriados. Los vasos están distribuidos en los anillos de crecimiento de manera característica en un arreglo radial denominado en flama. Los cambios de madera temprana a tardía suelen ser abruptos y la madera tardía tiene pequeños y numerosos vasos arreglados en cadenas radiales, rodeados por células de parénquima y traqueidas. Entre los radios se presentan numerosas líneas cortas y finas de parénquima apotraqueal.

Parte de la atención sobre la anatomía de madera de encinos ha estado enfocada a distinguir entre los encinos blancos y los rojos (Tillson y Muller, 1942; De la Paz y Aguilar, 1978); otra parte importante ha sido orientada hacia estudios con enfoque tecnológico o descriptivo y algunos autores han incluido las especies que ahora nos ocupan, como De la Paz (1985), quien estudió la anatomía de varias especies de encinos, incluido *Q. laurina*, y De la Paz y Dávalos (1995), que describen la anatomía de *Q. affinis* y *Q. glabrescens* y la correlacionan con aspectos físicos y mecánicos de la madera.

MÉTODO

Mediante una prospección en el campo se eligieron 10 árboles, tres de los cuales eran claros representantes de *Quercus affinis* (801, 802 y 819); dos correspondientes a *Q. laurina* (762 y 804); cuatro con duda de pertenecer a *Q. affinis* o *Q. laurina* (814, 820, 821 y 822), y el décimo perteneciente a *Q. acherdophylla* (803), esta última utilizada como especie de referencia.

Las colectas 801 y 802 se realizaron en la Sierra Madre Oriental y la 803 y 804 en la parte oriental del Eje Neovolcánico Transversal, todas en el estado de Veracruz, en sitios con clima C(fm)w^b(i') ó C(w⁰)(w)b (i')g, es decir, templados con lluvias de verano y temperatura del mes más frío entre 3 y 18° C y la del mes más caliente mayor de 10 °C con más de 40 mm de lluvia en el mes más seco.

Las colectas 762, 814, 819, 820, 821 y 822 se efectuaron en el estado de Guerrero; la primera en la Sierra Madre del Sur con clima C(m)b i g templado con lluvias de verano y precipitación en el mes más seco mayor de 20 mm; las cinco últimas, en la sierra de Taxco con clima C(w²)(w)b (i')g templado subhúmedo con precipitación en el mes más seco menor de 10 mm.

De cada árbol se tomó una muestra del tronco a una altura aproximada de 1.3 m, consistente en una rebanada de aproximadamente 10 cm de alto, así como muestras de hojas, flores y frutos, como material de respaldo de herbario, las cuales fueron depositadas en las colecciones de MEXU y FCME.

En el laboratorio se obtuvieron cubos de cada una de las muestras del tronco, de aproximadamente 1 cm de lado. Este material se sometió a ablandamiento según el método de Kukachka (1977). Se obtuvieron cortes transversales, tangen-

ciales y radiales de aproximadamente 20 μm de grueso que permitieron hacer las observaciones microscópicas cuantitativas y cualitativas correspondientes. Los cortes se tiñeron con safranina y se deshidrataron con alcoholes graduales, para finalmente montarlos en resina sintética y obtener preparaciones permanentes (Barajas-Morales, 1985).

Para medir la longitud de vasos y fibras se obtuvo material disociado colocando fragmentos o astillas de cada una de las muestras en solución Jeffrey ($\text{CrO}_3/\text{HNO}_3$) y agua destilada 1:1 de 12 a 24 horas.

Las características macroscópicas fueron observadas directamente en tablillas de 10 x 7 x 1 cm aproximadamente, obtenidas del material colectado.

El color fue determinado comparando con las tablas para suelos de Munsell (1992). El olor, sabor, lustre, textura, grano y dureza se apreciaron de acuerdo con las tablas utilizadas comunmente en el Laboratorio de Anatomía de Madera del IBUNAM. Las referencias de tamaño se realizaron de acuerdo con las consideraciones propuestas en IAWA (1937, 1939 y 1989) y Chattaway (1932).

La gravedad específica fue obtenida mediante el cociente: peso anhidro/volumen anhidro (peso del agua desplazada).

Análisis estadístico

De cada uno de los caracteres microscópicos se tomaron 50 mediciones, (salvo de anchura y altura de radios multiseriados, de los que sólo se tomaron 10). Todas las mediciones de vasos se realizaron en la sección transversal, únicamente en vasos de madera temprana, tangencialmente y sin incluir la pared de los mismos. Los datos cuantitativos obtenidos se sometieron a análisis estadístico, obteniéndose medias aritméticas y rangos, los cuales se pueden apreciar en las descripciones de la madera de los grupos estudiados en las que se indica en primer lugar el número promedio y enseguida, entre paréntesis, el rango.

Para los datos obtenidos de todas las variables o parámetros medidos, no correlacionados, se aplicó una prueba estadística no jerárquica de análisis discriminante, mediante el programa estadístico STATGRAPHICS V.5.0.

Las variables mensurables que se incluyeron en el análisis discriminante fueron: diámetro de vasos (sin incluir la pared), longitud de vasos, pared de vasos, diámetro de fibras (sin incluir la pared), longitud de fibras, pared de fibras y longitud de radios uniseriados. De cada una de estas variables se realizaron 50 mediciones en los 10 individuos, procesando un total de 4400 datos.

Asimismo, se realizaron análisis de agrupamiento utilizando en un primer caso los promedios de las mismas variables mencionadas para el análisis discriminante, además de los promedios de anchura y longitud de radios multiseriados y el peso específico para los 10 individuos trabajados; un segundo caso incluyó los datos obtenidos de caracteres cualitativos. El programa estadístico utilizado fue NT-SYS V. 1.6. En este caso, los OTU (unidad taxonómica operacional) corresponden a los individuos de diferentes localidades. La técnica de agrupamiento incluyó la obten-

ción de un coeficiente de distancia Manhattan para los datos cuantitativos, para los cualitativos se utilizó el coeficiente de DICE; el agrupamiento de los OTU se realizó mediante la aplicación del método de ligamiento promedio (UPGMA).

RESULTADOS

La descripción completa de la anatomía de la madera de cada una de las especies estudiadas fue realizada con datos provenientes de varios individuos, por lo que consideramos importante su inclusión en este trabajo; sin embargo, debido a su amplitud y a que pueden ser utilizadas para trabajo de identificación, las descripciones se presentan al final de los resultados junto con las figuras 1 a 4 que ilustran su anatomía microscópica, refiriéndonos a continuación únicamente a las diferencias encontradas.

Respecto a los caracteres macroscópicos, se encontró que el color de la madera de la albura presenta diferencias entre los individuos de estas especies; así, en los individuos que pertenecen a *Q. affinis* es blanco-rosada, en los de *Q. laurina* es rosada, pero los individuos colectados en la Sierra de Taxco pueden presentar color rosado o blanco-rosado; este carácter también fue consistente en las tablillas de diversas colectas de la xiloteca del Instituto de Biología pertenecientes a estas dos especies. *Quercus acherdophylla*, aunque tiene albura blanco-rosada, es más clara o blanca que la de *Q. affinis*.

La distribución de los elementos de vaso en la sección transversal indica que los individuos pertenecientes típicamente a *Q. affinis* (Fig. 1a), presentan porosidad anular, mientras que los de *Q. laurina* la tienen semianular a difusa (Fig. 2a) y estas características se mezclan en algunos individuos colectados en la Sierra de Taxco (Fig. 3a). Por su parte *Q. acherdophylla* (Fig. 4a) tiene porosidad anular. De acuerdo con Metcalfe y Chalk (1972), el patrón de la porosidad es un carácter muy conservador entre las especies, lo que da elementos en favor de la idea de que no se trata de la misma especie de encinos, y que éste es el que las diferencia; sin embargo, en ejemplares provenientes de la Sierra de Taxco, los caracteres mezclados no permiten delimitar con nitidez a los individuos de *Q. affinis* de los de *Q. laurina*.

En el análisis de agrupamiento para datos cualitativos se utilizaron cuatro variables: porosidad, anillos de crecimiento, color de la albura y grano de la madera. El resultado ofreció 25 fenogramas; sin embargo, el análisis de éstos mostraba resultados muy parecidos. La figura 5 muestra dos de esos fenogramas en los que se aprecia que las diferencias entre ellos son mínimas y para los fines prácticos que aquí se persiguen son básicamente lo mismo.

Estos fenogramas muestran un primer grupo A, formado por tres muestras de colectas, dos de ellas asignadas a *Q. affinis* de Veracruz (colectas 801 y 802), una a *Q. affinis* x *Q. laurina* de Guerrero (814), y a las tres anteriores se une la muestra de *Q. acherdophylla* (colecta 803). Por su parte *Q. affinis* (colecta 819) y *Q. affinis* x *Q. laurina*, (821 y 822), todas de la Sierra de Taxco, forman un tercer grupo C. Las

muestras de *Q. laurina* (colectas 804 y 762) y de *Q. affinis* x *Q. laurina* (820) constituyen un cuarto grupo D.

Respecto a las variables cuantitativas analizadas en este trabajo, se observa que la mayoría de ellas muestran un traslapamiento, sobresaliendo algunas diferencias como es el caso de los radios uniseriados encontrados en las muestras de *Q. laurina* (colecta 804), que resultaron ser los de mayor tamaño con respecto al resto de las especies trabajadas; por el contrario, la longitud de fibras del mismo árbol resultó ser la menor. El diámetro de vasos de mayor tamaño estuvo presente en los representantes de *Q. laurina* y el menor lo presenta el individuo de *Q. acherdophylla* (la especie de referencia).

La anchura promedio de los radios multiseriados en *Q. laurina* es de 573 µm, mientras que en *Q. affinis* es de 275 µm. Este carácter, aunque de poca utilidad en otros grupos de plantas leñosas, puede ser muy útil para delimitar especies en el género *Quercus*, pues se observó como estable. No obstante, para darle validez definitiva a este carácter en encinos, es necesario estudiarlo y probarlo con otras especies y con un mayor número de individuos de diferentes localidades.

El análisis discriminante de los datos cuantitativos de diámetro de vasos, longitud de vasos, pared de vasos, diámetro de fibras, longitud de fibras, pared de fibras y longitud de radios uniseriados, muestra una gráfica (Fig. 6) en la que se aprecian tres grupos: el grupo A que incluye a *Q. affinis* de Veracruz; el grupo B, en el que está *Q. laurina*, también de Veracruz; y el grupo C, que contiene los datos del resto de las muestras.

En la figura 7, se observan los centroides de los datos de anatomía de madera utilizados en el análisis discriminante anterior y en ella se puede observar que el grupo C incluye muestras de las colectas 822, 762, 802, 819 y 820 tanto de *Q. laurina* como de *Q. affinis* y formas intermedias; por su parte, las muestras de las colectas de *Q. affinis* x *Q. laurina* (821 y 814) y de *Q. acherdophylla* (803), permanecen alejadas del centro del grupo C.

En el fenograma de la figura 8, en el que se utilizaron las mismas variables del análisis discriminante, más la anchura y longitud de radios multiseriados y el peso específico, se observa que las muestras más cercanas son, por un lado, *Q. affinis* x *Q. laurina* (colecta 822) de la Sierra de Taxco y *Q. laurina* (colecta 762) de la Sierra Madre del Sur y, por otro lado, las muestras de la Sierra de Taxco, de *Q. affinis* x *Q. laurina* (814) y *Q. affinis* (819). Este mismo fenograma muestra a *Q. affinis* (colecta 801) y *Q. laurina* (colecta 804) como los OTU con mayor diferencia del resto de las colectas, resultado totalmente congruente con el análisis discriminante.

DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES

Quercus affinis Scheidweiler

Características físicas. Albura blanco rosada, duramen pardo verdoso con veteado rosáceo; lustrosa a mediana, textura áspera a mediana, sin olor ni sabor o con lige-

ro sabor astringente, grano recto a irregular o entrecruzado, dureza mediana a dura con 0.87 de gravedad específica.

Características microscópicas (Figs. 1 a, b, c, d). *Vasos*. Porosidad anular, poros de contorno oval, exclusivamente solitarios pero dispuestos en hileras radiales a ligeramente oblicuas, escasos, ($5/\text{mm}^2$). Diámetro tangencial mediano de 188 (112-252) μm . Longitud mediana de 510 (263-808) μm . Platinas de perforación simples, perpendiculares u oblicuas con ángulo hasta de 45° . Punteaduras intervasculares areoladas, alternas, alargadas, medianas de 8 (5-9) μm y de vaso a radio medianas de 7 (2-9) μm alargadas longitudinalmente y con disposición escalariforme. *Parénquima axial*. Paratraqueal escaso y apotraqueal difuso en agregados. *Parénquima radial*. Radios uniseriados y multiseriados, los uniseriados muy numerosos de 10/mm, formados de células procumbentes, muy bajos, con altura de 439 (166-2726) μm ; radios multiseriados altos de 14 (11-38) mm. *Fibras*. Libriformes, medianas con longitud de 1184 (750-2168) μm ; pared gruesa a muy gruesa de 7 (1-16) μm ; diámetro tangencial de 6 (2-21) μm . *Traqueidas*. Vasicéntricas presentes. *Anillos de crecimiento*. Delimitados por porosidad semianular, disminución en dirección radial del diámetro de fibras y parénquima marginal.

Ejemplares examinados. MÉXICO. VERACRUZ: Mpio. Jalacingo; 7 km al O de la desviación a Altotonga, $19^\circ 48' 15''$ N y $97^\circ 17' 35''$ O; S. Valencia A. 801 (Xiloteca-MEXU). Mpio. Tonayapa; 0.5 km al E del poblado de Monte Real, $19^\circ 43' 33''$ N y $96^\circ 53' 11''$ O; S. Valencia A. 802 (Xiloteca-MEXU).

Quercus laurina Humboldt et Bonpland

Características físicas. Albura rosado muy claro, duramen pardo verdoso con veteado rosado; lustre alto a mediano, textura mediana a áspera; sin olor, con ligero sabor astringente, grano recto, dureza mediana a dura y 0.78 de gravedad específica.

Características microscópicas (Figs. 2 a, b, c, d). *Vasos*. Porosidad difusa a semianular, poros de contorno oval, exclusivamente solitarios, escasos ($5/\text{mm}^2$), con disposición radial o ligeramente diagonal. Diámetro tangencial mediano, de 215 (165-294) μm . Longitud mediana de 552 (235-1100) μm . Platinas de perforación simples, perpendiculares u oblicuas con ángulo hasta de 45° . Punteaduras intervasculares areoladas, alternas ligeramente alargadas, medianas, de 5 (6-9) μm y de vaso a radio medianas de 7 (2-9) μm , alargadas longitudinalmente y con disposición escalariforme. *Parénquima axial*. Paratraqueal escaso y apotraqueal difuso en agregados. *Parénquima radial*. Radios uniseriados y multiseriados, los uniseriados muy numerosos, 12/mm, formados de células procumbentes, muy bajos, con altura de 654 (338-984) μm ; radios multiseriados altos de 15 (10-23) mm. *Fibras*. Libriformes, medianas, con longitud de 940 (675-1325) μm ; pared gruesa a muy gruesa de 11 (4-19) μm ; diámetro tangencial de 6 (2-14) μm . *Traqueidas*. Vasicéntricas presentes. *Anillos de crecimiento*. Se hacen evidentes gracias a una leve disminución en el tamaño de los vasos.

Ejemplares examinados. MÉXICO. VERACRUZ: Mpio. Acultzingo; Puerto del Aire, 18°42'13" N y 97°07'34" O; S. Valencia A. 804 (Xiloteca-MEXU). GUERRERO: Mpio. Leonardo Bravo; Tres Caminos, 17° 34' 28" N y 99° 52' 16" O; S. Valencia A. 762 (Xiloteca-MEXU).

Quercus affinis x *Q. laurina*

Este grupo incluye a los individuos con características mezcladas de *Quercus affinis* y *Quercus laurina*.

Características físicas. Albura blanco-rosado; lustre mediano a bajo, textura áspera a mediana, sin olor ni sabor, grano recto a entrecruzado, dureza mediana a dura con 0.86 de gravedad específica.

Características microscópicas. (Figs. 3 a, b, c, d). *Vasos.* Porosidad anular a semianular-difusa, poros de contorno oval, exclusivamente solitarios, en hileras radiales a ligeramente oblicuas, escasos (4/mm²). Diámetro tangencial mediano de 179 (96-272) µm. Longitud mediana de 506 (254-771) µm. Platinas de perforación simples, perpendiculares a oblicuas con ángulo hasta de 45°. Punteaduras intervasculares areoladas, alternas, alargadas, medianas de 6 (4-9) µm y de vaso a radio medianas de 7 (2-4) µm alargadas longitudinalmente y con disposición escalari-forme. *Parénquima axial.* Paratraqueal escaso, apotraqueal difuso en agregados. *Parénquima radial.* Radios uniseriados y multiseriados, los uniseriados muy numerosos de 14/mm, formados de células procumbentes, extremadamente bajos con altura de 425 (254-827) µm; radios multiseriados muy altos de 13 (7-22) mm. *Fibras.* Libriformes, medianas con longitud de 1023 (625-1625) µm. Pared gruesa de 8 (5-12) µm; diámetro tangencial de 6 (2-12) µm. *Traqueidas.* Vasicéntricas presentes. *Anillos de crecimiento.* Poco notables, delimitados por porosidad semianular, presencia de parénquima marginal y una ligera disminución en el grosor de la pared de las fibras.

Ejemplares examinados. MÉXICO. GUERRERO: Mpio. Pedro Ascencio; Puerto Oscuro, 18° 38'08" N y 99°45'36" O; S. Valencia A. 814, 821, 822 (Xiloteca-MEXU). Mpio. Taxco de Alarcón; Parque Cerro del Huizteco, 18°34'48" N y 99°35'16" O; S. Valencia A. 820 (Xiloteca-MEXU).

Quercus acherdophylla Trelease

Características físicas. Albura amarillo pálido o crema, duramen anaranjado grisáceo; lustrosa, textura fina, sin olor ni sabor, grano irregular a entrecruzado, dureza mediana, con 0.77 de gravedad específica.

Características microscópicas (Figs. 4 a, b, c, d). *Vasos.* Porosidad anular, poros principalmente de contorno circular, exclusivamente solitarios, en hileras radiales a oblicuas, escasos, (5/mm²). Diámetro tangencial mediano de 162 (112-217) µm. Longitud mediana de 516 (301-752) µm. Platinas de perforación simples, perpendiculares u oblicuas con un ángulo de 45° o más. Puntuaciones intervasculares areoladas, alternas, alargadas, pequeñas de 7 (6-7) µm y de vaso a radio medianas

de 7 (2-9) μm , alargadas longitudinalmente y con disposición escalariforme. *Parénquima axial*. Paratraqueal escaso, apotraqueal difuso en agregados. *Parénquima radial*. Radios uniseriados y multiseriados, los uniseriados muy numerosos, de 17/mm, formados de células procumbentes, extremadamente bajos con altura promedio de 314 (226-432) μm ; radios multiseriados altos de 12 (7-22) mm. *Fibras*. Libriformes, medianas, con longitud de 1000 (800-1225) μm ; pared gruesa de 6 (5-9) μm ; diámetro tangencial de 6 (2-12) μm . *Traqueidas*. Vasicéntricas presentes. *Anillos de crecimiento*. Delimitados por porosidad semianular, presencia de parénquima marginal y disminución en el grosor de pared y diámetro total de las fibras.

Ejemplares examinados. MÉXICO. VERACRUZ: Mpio. Coscomatepec; Potrerillos, 19°04'04" N y 97°14'24" O; S. Valencia A. 803 (Xiloteca-MEXU).

DISCUSIÓN

Como puede apreciarse, hay congruencia parcial de los resultados con lo esperado, pues en general se forman cuatro grupos: 1) *Quercus affinis*, 2) *Quercus laurina*, 3) *Quercus affinis* x *Quercus laurina* y 4) *Quercus acherdophylla*, éste último con individuos que se unen al primero o segundo grupo, según sean los caracteres analizados.

El análisis de agrupamiento utilizando los datos cualitativos de porosidad, anillos de crecimiento, color de la albura y grano de la madera, muestra de manera parcial una tendencia a formar un grupo que incluye exclusivamente individuos colectados en la Sierra de Taxco, dejando en grupos separados y alejados a *Q. affinis* (colecta 801) y a *Q. laurina* (colecta 804) y, aunque no presenta una coherencia completa con los dos análisis en los que se utilizan datos cuantitativos, el fenograma permite separar a los individuos en grupos coherentes, pues uno los considerados como *Q. affinis* (excepto una muestra) y los separa de los *Q. laurina* dejando un grupo de intermedios provenientes de la Sierra de Taxco.

Por otro lado, al comparar los resultados del análisis discriminante y de los análisis de agrupamiento con datos cuantitativos, se puede observar que éstos presentan ciertas similitudes entre ellos, pues en los dos análisis se presenta la colecta de *Q. affinis* (801) y la de *Q. laurina* (804) como las más diferentes de todas. Otro aspecto en que los dos análisis son congruentes es en separar la muestra de *Q. affinis* x *Q. laurina* (colecta 821) de la Sierra de Taxco y de *Q. acherdophylla* (803) y una concordancia más resulta al observar la cercanía de las muestras de *Q. laurina* (762) y *Q. affinis* x *Q. laurina* (822) respectivamente, lo que podría indicar que esta última se parece más a *Q. laurina* que a *Q. affinis*.

Woodcock (1989), trabajando en la relación del clima con la anatomía de la madera de *Quercus macrocarpa*, encontró que el incremento de la madera temprana y el diámetro de los vasos de la misma se ven poco influidos por el clima, y por el contrario, el incremento de la madera tardía y el diámetro de vasos de la

misma es muy sensible a los cambios de precipitación e incluso se podría usar para reconstruir el clima del pasado de algunos sitios. Partiendo del hecho de que en este trabajo se midieron únicamente los vasos de mayor tamaño o de madera temprana en cada muestra, queda implícito que los análisis realizados con los datos cuantitativos son confiables y adecuados para estudios con enfoque taxonómico, pues es uno de los caracteres anatómicos menos influidos por el clima.

Asimismo al comparar nuestros datos de diámetro de vasos de *Q. laurina* con los que expone De la Paz (1985) para la misma especie colectada en Michoacán, se aprecia que el diámetro de vasos para esta última es de 281 (199-361) μm , mayor aún que los que presentan los encinos de la misma especie colectados en Guerrero y Veracruz y trabajados en este estudio, por lo que, considerando únicamente este carácter, podríamos separar a *Q. laurina* y *Q. affinis* con cierta precisión.

Las pruebas estadísticas aplicadas demuestran que existe gran variación y traslapamiento de caracteres anatómicos entre las diversas especies del género *Quercus*, ya que aun entre las especies sin problema de delimitación, como es en este caso *Q. acherdophylla*, se presentan características que se comportan más como similares al complejo *Q. affinis-laurina* que como especie diferente.

No obstante, sí se hizo evidente la separación de las muestras de *Q. affinis* (801) y *Q. laurina* (804), ya que aun siendo ambas del estado de Veracruz, los resultados las colocan como dos especies claramente definidas. El resultado anterior también está apoyado por el análisis de datos cualitativos que une a cada uno de estos individuos con otros representantes de su misma especie, aunque provengan de zonas diferentes.

Respecto a los individuos con características morfológicas intermedias y que de acuerdo con Muller (1952) pueden ser considerados como híbridos, este mismo autor señala que los híbridos o intermedios tienden a ocupar sitios con características ambientales también intermedias respecto a las que habitan sus progenitores. De acuerdo con Metcalfe y Chalk (1972), Barajas-Morales (1985), Woodcock (1989) y Van der Graaff y Baas (1974) algunas características de la anatomía de la madera, como la longitud de vasos, fibras y radios, así como el diámetro de los elementos de vaso de madera tardía, pueden verse influidos por el clima de un lugar; pero otras, como anchura de radios multiseriados, grosor de la pared de fibras, tipo de porosidad y diámetro de elementos de vaso de madera temprana son elementos que parecen no estar influidos directamente por las condiciones climáticas y consecuentemente podrían ofrecer utilidad en la delimitación de algunos taxa.

De este modo, si los híbridos (ya de por sí con características intermedias) ocupan zonas intermedias en hábitat respecto a las de sus progenitores y, si además el hábitat está influyendo sobre algunos de sus elementos en este caso de la madera, entonces estos factores harán que, dependiendo de los caracteres analizados, en ocasiones el mismo individuo se parezca más a un progenitor (*Q. affinis*) y en otras, más al otro (*Q. laurina*). Asimismo, también será de esperarse una alta correlación de las condiciones ambientales con algunas de las características morfológicas y consecuentemente fisiológicas que presenten los híbridos, haciendo

muy importante conocer el sitio y condiciones de colecta de los encinos del complejo *Quercus affinis-laurina*.

Los resultados aquí presentados dan una idea bastante clara de que *Q. laurina* y *Q. affinis* son dos especies que se pueden diferenciar a nivel de anatomía de madera en ciertas localidades.

CONCLUSIONES

A manera de conclusión sobre la anatomía de la madera de los encinos estudiados aquí se pueden mencionar los siguientes puntos:

1) Los promedios de diámetro de vasos, longitud de fibras y anchura de radios multiseriados, para *Quercus laurina* difieren a simple vista de aquellos considerados para *Quercus affinis*.

2) De acuerdo con los datos cuantitativos y cualitativos utilizados en los análisis estadísticos, es posible diferenciar a los individuos de *Q. affinis* de las localidades de Veracruz de aquellos de *Q. laurina* de Veracruz y Guerrero.

3) Los datos analizados estadísticamente muestran un grupo que incluye individuos colectados en la Sierra de Taxco, determinados como *Q. affinis* x *Q. laurina* y que presentan características intermedias respecto a los elementos que conforman su madera.

4) Dependiendo de los caracteres incluidos en los análisis estadísticos, los individuos de la Sierra de Taxco muestran más o menos similitud con alguna de las dos especies que nos ocupan.

5) De esta manera, las muestras de las colectas trabajadas se pueden reunir en cuatro grupos: uno que representa a *Quercus acherdophylla*, un segundo representando a *Quercus affinis*, otro a *Quercus laurina*, y el cuarto de individuos intermedios colectados en la Sierra de Taxco que, de acuerdo con los caracteres analizados, se pueden parecer más a *Q. laurina* o a *Q. affinis* y que sugiere que ésta es una posible zona de hibridización entre estas dos especies.

Así, se puede apreciar que caracteres cualitativos como: porosidad, anillos de crecimiento, color de la albura y tipo de grano; y cuantitativos como: longitud de fibras, diámetro de vasos y anchura de radios multiseriados, son los caracteres más útiles para la delimitación de las especies estudiadas en este trabajo, que se concluye, son dos especies diferentes si provienen de Veracruz o la Sierra Madre del Sur o que algunos de ellos podrían considerarse como híbridos si se localizan en el Eje Neovolcánico Transversal, resultando muy importante conocer el sitio y clima de donde se colecten los encinos del complejo *Quercus affinis-laurina*.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen al Dr. Alfonso Delgado Salinas y M. en C. Jaime Jiménez Ramírez por su apoyo para la colecta de material y revisión del primer manuscrito. Al M. en C. Pedro Ramírez García Armora, por su asesoría estadística y al M. en C.

L. Alfredo Pérez Jiménez por sus atinadas observaciones al manuscrito final. Al Sr. Miguel Hernández del IBUNAM, por su ayuda en el campo para la obtención de las muestras de madera. Asimismo la primera autora agradece al Biól. Calixto León su colaboración en el procesado de las muestras en el Laboratorio.

LITERATURA CITADA

- BAILEY, I. W. 1957. The potentialities and limitations of wood anatomy in the study of the phylogeny and classification of angiosperms. *J. Arnold Arbor.* (38):243-254.
- BARAJAS-MORALES J. 1985. Wood structural differences between trees of two tropical Forests in Mexico. *IAVA Bull. n. s.* 6(4):355-364
- CHATAWAY, M. M. 1932. Proposed standards for numerical values used in describing woods. *Trop. Woods* 29:20-28
- DE LA PAZ P. O, C. 1974. Anatomía de la madera de cinco especies de encinos de Durango. *Bol. Téc. Inst. Nac. Invest. For. (México)* 43
- DE LA PAZ P. O, C. 1982. Estructura anatómica de cinco especies del género *Quercus*. *Bol. Téc. Inst. Nac. Invest. For. (México)* 88.
- DE LA PAZ P. O, C. 1985. *Caracteres anatómicos de siete especies del género Quercus*. *Bol. Téc. Inst. Nac. Invest. For. (México)* 123.
- DE LA PAZ P. O, C. y L. AGUILAR E. 1978. Diferencias morfológicas externas y anatómicas de la madera de los encinos blancos y rojos. *Bol. Téc. Inst. Nac. Invest. For. (México)* 59
- DE LA PAZ P. O, C. y R. DÁVALOS S, 1995. Relación estructura-propiedad de la madera de dos especies de *Quercus* de la Sierra norte de Puebla, México. *Memorias del III Seminario Nacional sobre Utilización de Encinos*. Facultad de Ciencias Forestales Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey 90 p.
- GREGORY, M. 1994. Bibliography of systematic wood anatomy of dicotyledons. *IAWA J. Suppl.*1: 1-266.
- IAWA. 1937. Standard terms of length of vessel members and wood fibers. *Trop. Woods* 51:21.
- IAWA. 1939. Standard terms of size for vessel diameter and ray width. *Trop. Woods* 59:51-52.
- IAWA. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bull. n.s.* 10(3):219-332.
- JANE, F. W. 1962. *The structure of wood*. Adam & Charles Black, London. 427 p.
- KUKACHKA, B. F. 1977. *Sectioning refractory woods for anatomical studies*. USDA. For. Serv. Res. Note FPL-0236.
- METCALFE, C. R. y L. CHALK. 1972. *Anatomy of the dicotyledons: leaves, stems and wood in relation to taxonomy with notes on economic uses. I & II*. The Clarendon Press, Oxford 1500 p.
- MULLER, C. H. 1952. Ecological control of hybridization in *Quercus*: a factor in the mechanism of evolution. *Evolution* 6(2):147-161.
- MUNSELL COLOR CO. 1992. *Munsell soil color charts*. New York. 10 p.
- TILLSON, A. H. y C. H. MULLER. 1942. Anatomical and taxonomic approaches to subgeneric segregation in the American *Quercus*. *Amer. J. Bot.* 20(7):523-529.
- VAN DER GRAAFF, N. A. y P. BAAS. 1974. Wood anatomical variation in relation to latitude and altitude. *Blumea* 22:101-121.
- WOODCOCK, D. W. 1989. Climate sensitivity of wood-anatomical features in a ring-porous oak (*Q. macrocarpa*). *Canad. J. Res.* 19:639-644.

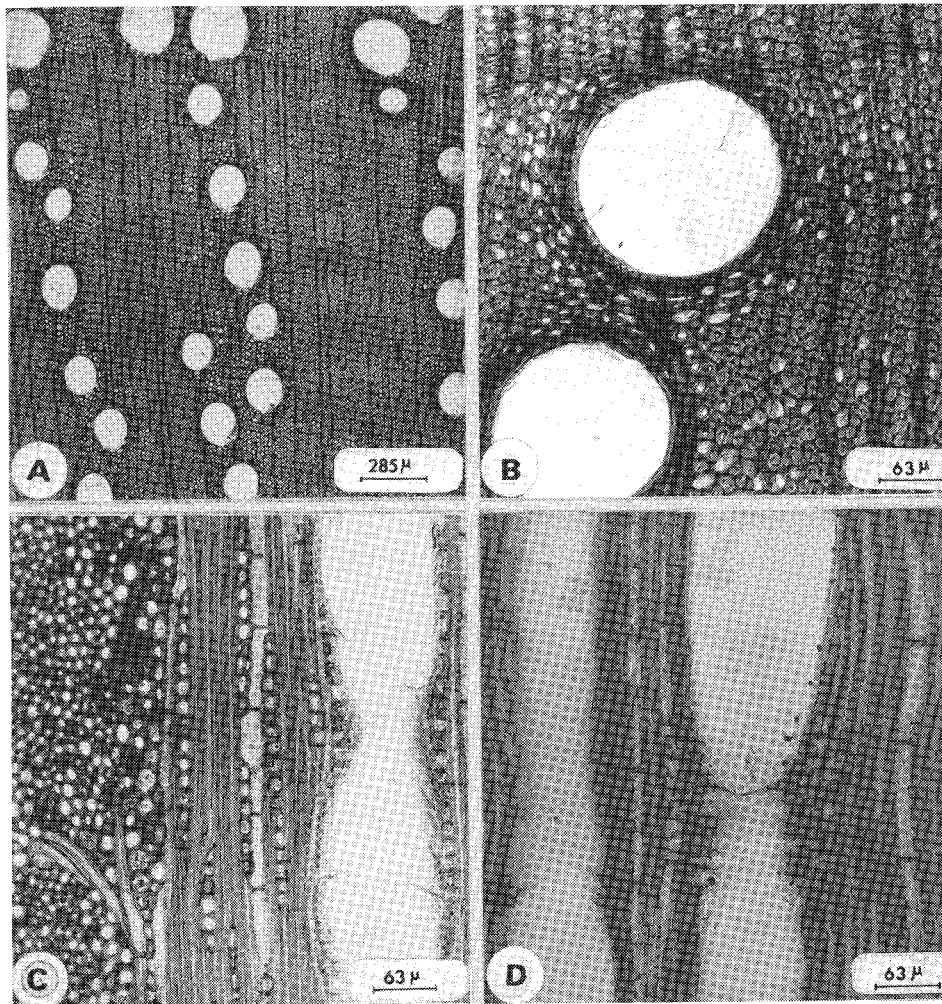


Fig. 1. *Quercus affinis*. A. Corte transversal 2.5 X. Vasos, porosidad anular y límite de anillo de crecimiento. B. Corte transversal 10X. Vasos y parénquima axial. C. Corte tangencial 10X. Radio multiseriado, radios uniseriados y vaso. D. Corte radial 10X. Parénquima axial y células de radio.

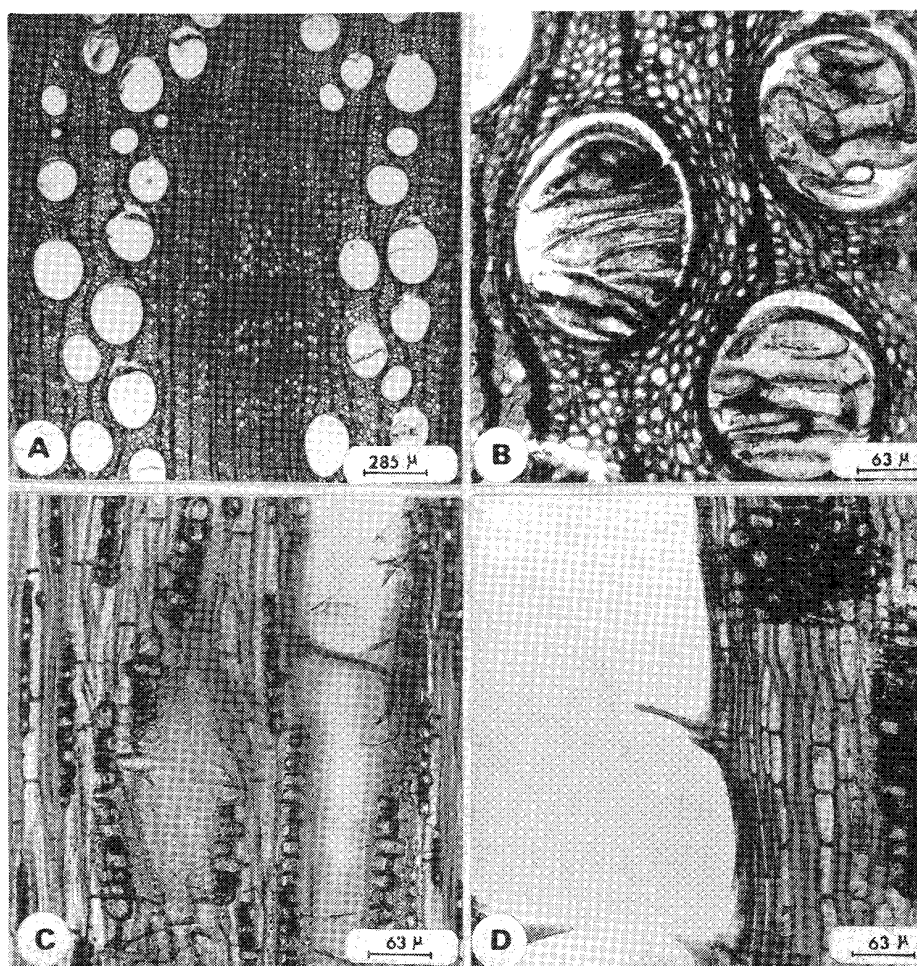


Fig. 2. *Quercus laurina*. A. Corte transversal 2.5 X. Porosidad difusa a semianular. B. Corte transversal 10 X. Vasos con tálides. C. Corte tangencial 10 X. Vasos con platina de perforación. D. Corte radial 10 X. Vaso y parénquima axial.

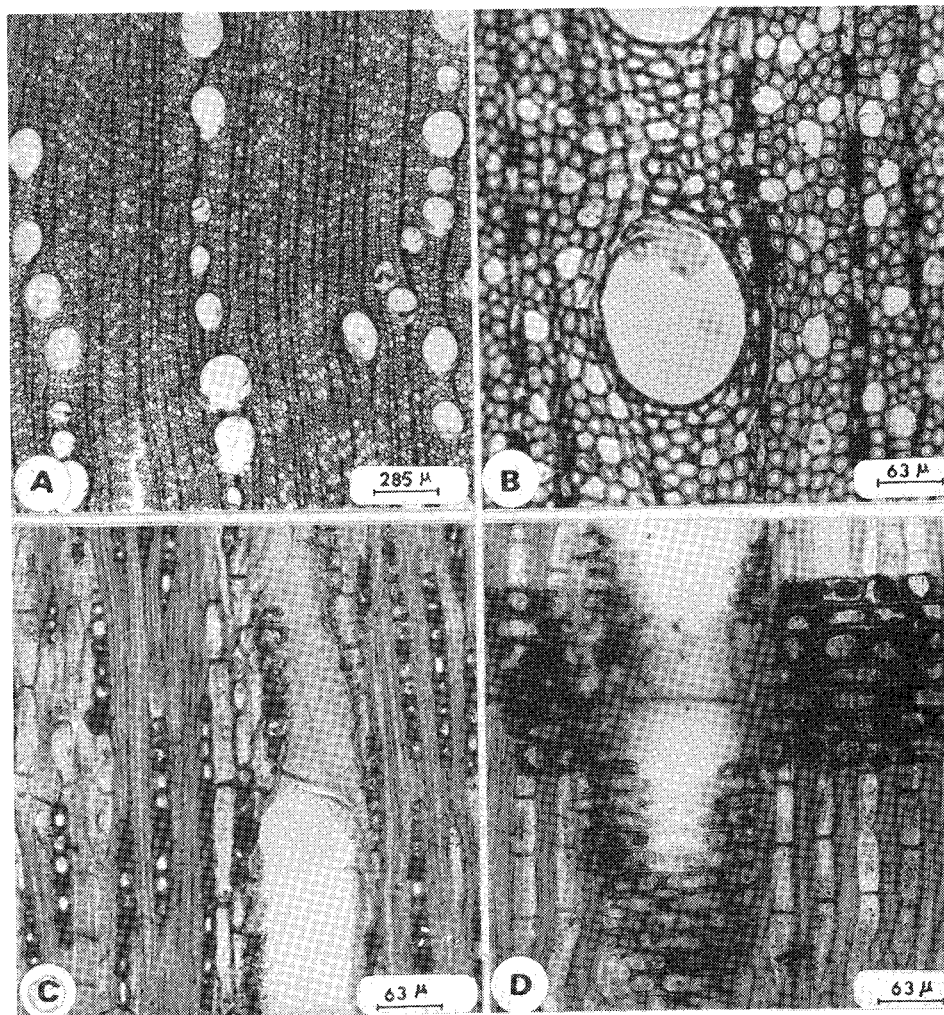


Fig. 3. *Quercus affinis* x *Q. laurina*. A. Corte transversal 2.5 X. Vasos con arreglo radial. B. Corte transversal 10X. Vasos y parénquima axial. C. Corte tangencial 10X. Vaso, radios uniseriados. D. Corte radial 10X. Vaso, platina de perforación y células de radio.

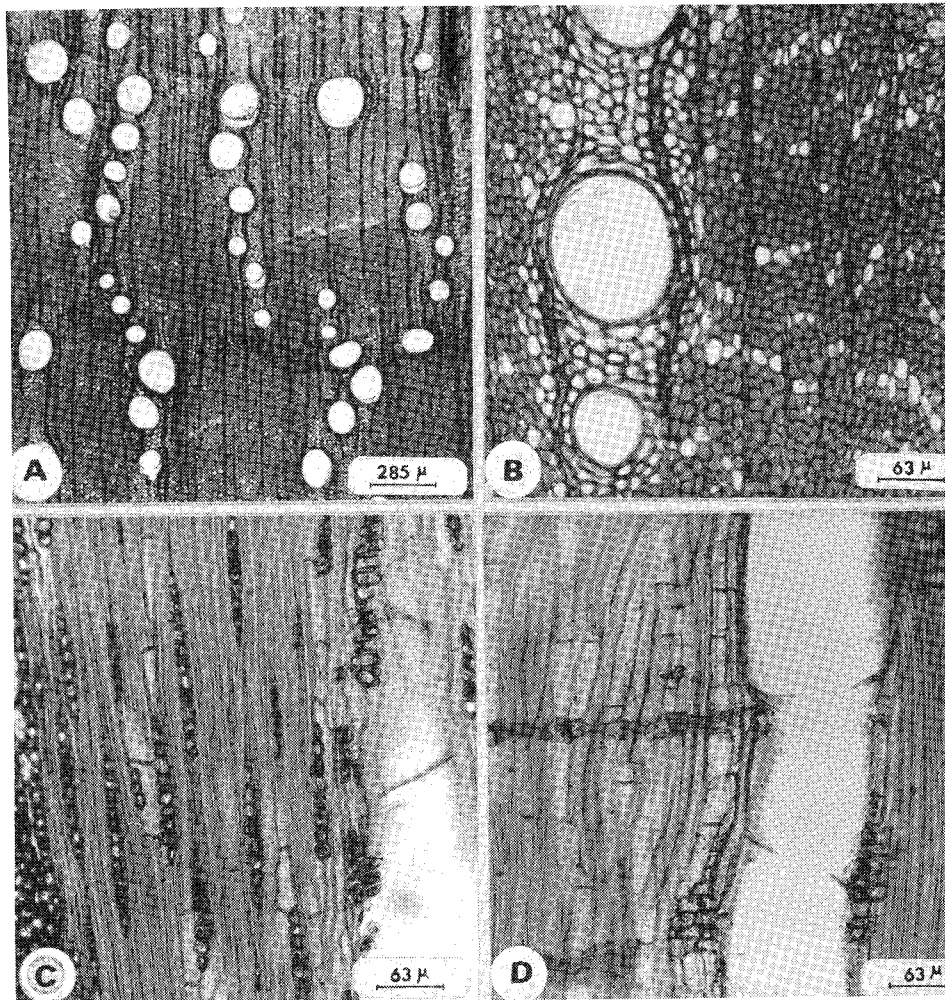


Fig. 4. *Quercus acherdophylla*. A. Corte transversal 2.5 X. Porosidad anular. B. Corte transversal 10 X. Vasos con disposición radial diagonal. C. Corte tangencial 10 X. Vaso con platina de perforación. D. Corte radial 10 X. Vaso y parénquima axial.

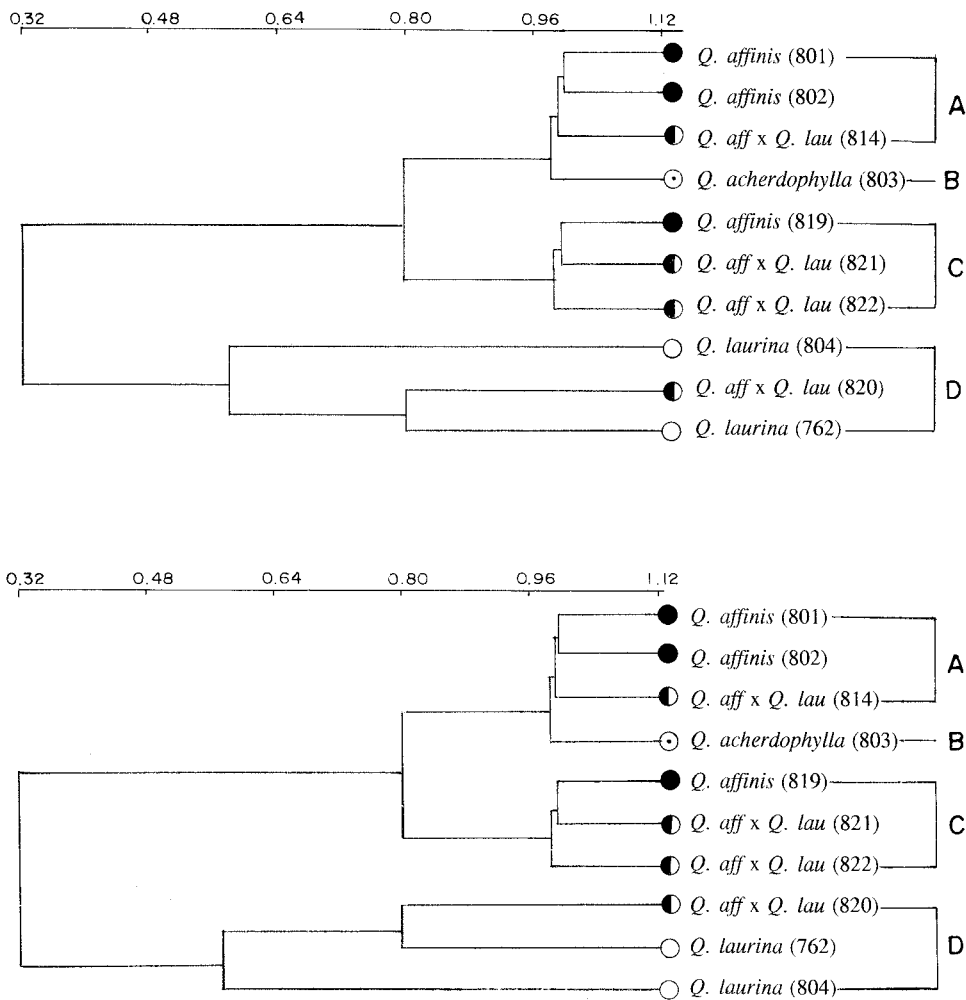


Fig. 5. Fenogramas obtenidos con datos cualitativos: porosidad, anillos de crecimiento, color de albura y tipo de grano.

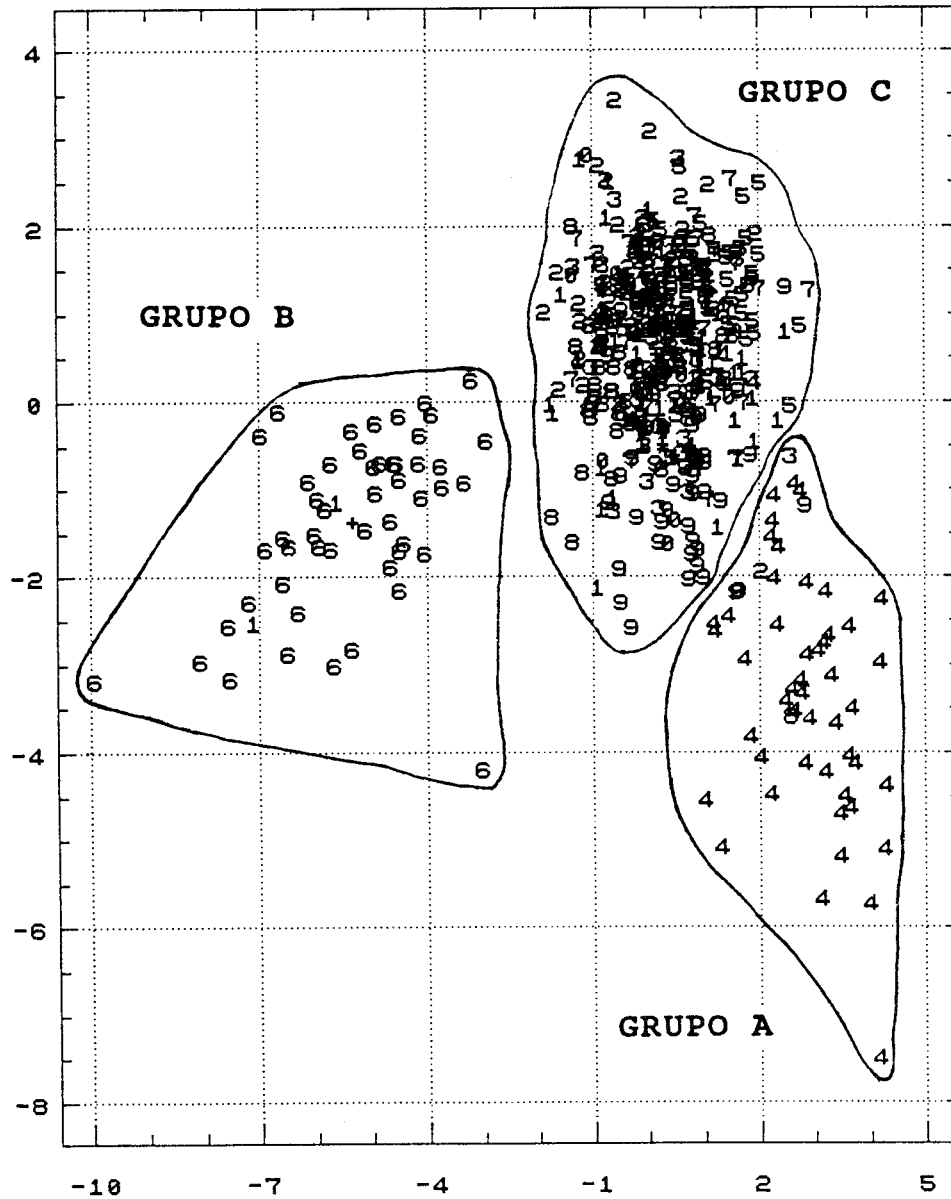


Fig. 6. Análisis discriminante de datos de anatomía de madera. El grupo A está formado por los datos de la muestra de *Quercus affinis* (colecta 801); el grupo B lo forman los datos de la muestra de *Q. laurina* (colecta 804) y el grupo C está formado por los datos de las restantes muestras.

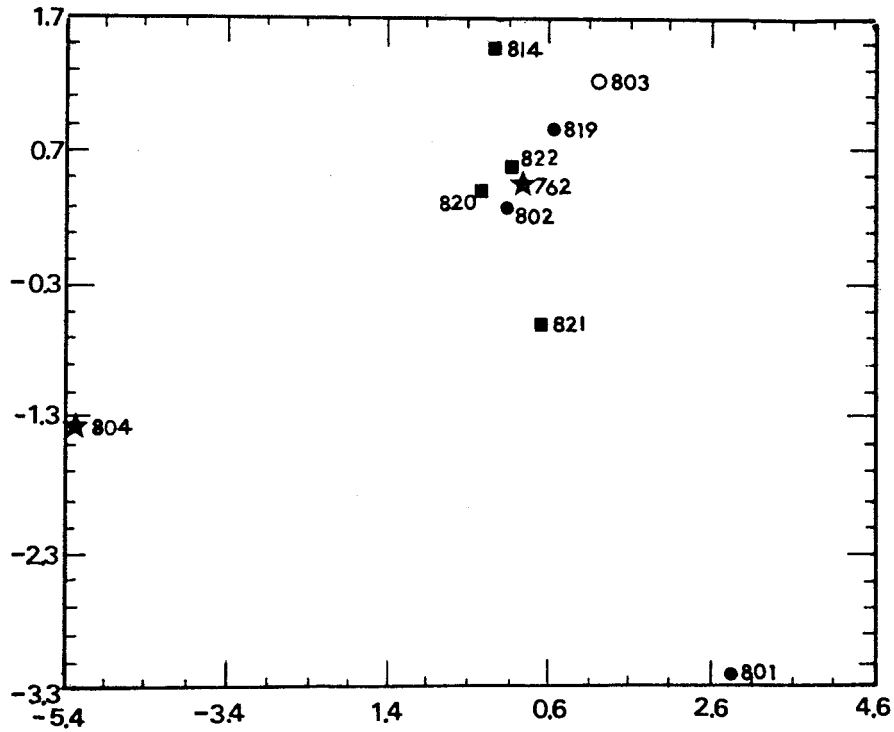


Fig. 7. Gráfica de centroides de datos de anatomía de madera. ● *Quercus affinis*. ★ *Q. laurina*. ■ *Q. affinis* x *laurina*. ○ *Q. acherdophylla*.

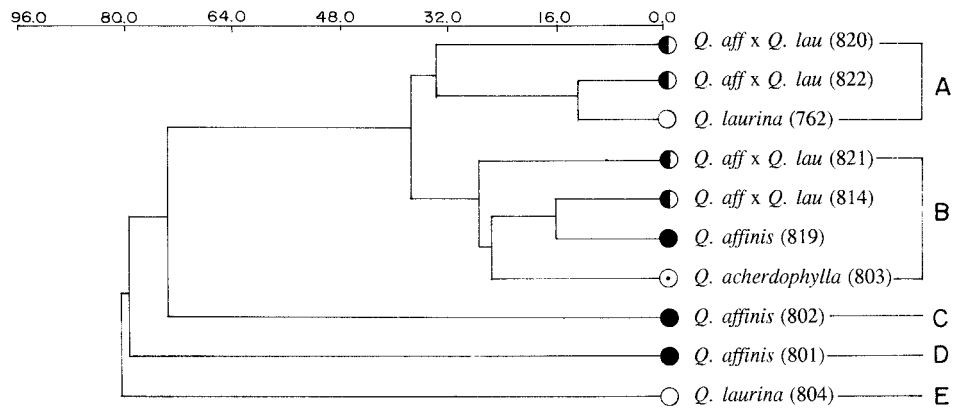


Fig. 8. Fenograma realizado con las variables de anchura y longitud de radios multiseriados y peso específico además de aquellas utilizadas para el análisis discriminante.