

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA MADERA DE CHOPO

M.C. García Vallejo, E. Cadahía Fernández, B. Fernández de Simón

INIA-CIFOR, Apartado 8.111, 28080 Madrid; e-mail: garcival@inia.es

RESUMEN

Se estudia la composición química de la madera de albura y duramen, a 1,3 y 6,5 m del suelo, en árboles de 3 clones de *Populus x euroamericana* de distinta densidad ("Virginie de Frignicourt" o Canadá blanco, Flevo e I-214), de una parcela de Montañana (Zaragoza). Los análisis incluyen la comparación de los contenidos de compuestos extraíbles, holocelulosa, lignina y cenizas, así como de las concentraciones de sílice, fósforo, calcio, magnesio y potasio, y la observación de la presencia de cristales de carbonato cálcico. La madera de duramen se diferencia de la de albura por los mayores contenidos de cenizas, potasio, calcio y magnesio y por la abundancia de cristales de carbonato cálcico. No se encontraron diferencias significativas entre los distintos clones ni en la composición de la madera a distintas alturas del tronco.

PALABRAS CLAVE: Chopo, madera, albura, duramen, composición química

SUMMARY

The chemical composition was investigated of sapwood and heartwood taken at heights of 1.3 and 6.5 m in the stems of 3 *Populus x euroamericana* clones ("Virginie de Frignicourt", Flevo and I-214) from a 14 year old plantation in the province of Zaragoza (Spain). The analyses include a comparison of extractive and lignin contents, total carbohydrates, and ash, as well as the contents of silica, phosphorous, calcium, magnesium and potassium and the presence of calcium carbonate crystals. Heartwood differs from sapwood by higher contents of ash, potassium, calcium and magnesium, and by the abundance of calcium carbonate crystals. No significant differences were found either among the different clones or in the wood composition at different heights of stem.

KEY WORDS: Poplar, sapwood, heartwood, chemical composition

INTRODUCCIÓN

Las características químicas (extractos, lignina, celulosa, cenizas, etc.) de la madera de distintas especies y clones de chopo han sido estudiadas desde diferentes aspectos, especialmente en relación con su aprovechamiento como materia prima celulósica (Goyal *et al.*, 1999, Benea & Muntean, 1996); o con su poder calorífico (White, 1987) o su higroscopicidad (Kolin & Janazic, 1996). La información más completa sobre la madera española procede del estudio realizado en el INIA sobre diversos materiales celulósicos, entre ellos la madera de chopo (Alonso Aguilar, 1976; y datos no publicados). Los datos corresponden a 16 muestras de madera de distintas especies y clones de *Populus*, entre las que figuran una del clon I-214 y dos del clon "Canadá blanco". Eran muestras utilizadas para ensayos de obtención de pasta de celulosa, probablemente mezcla de albura y duramen. Los valores medios obtenidos para las distintas características químicas, expresados en % de madera seca, fueron: extracto en alcohol/benceno, $2,32 \pm 0,80$; extracto en éter (sólo 3

muestras), $0,77 \pm 0,12$; solubilidad en agua caliente, $2,82 \pm 0,93$; solubilidad en sosa, $20,45 \pm 3,30$; lignina, $22,03 \pm 2,14$; holocelulosa, $79,70 \pm 3,77$; cenizas, $0,89 \pm 0,43$. Se ha investigado también la influencia de algunas variables, como tipo de madera (albura y duramen), densidad o altura en el tronco, sobre las características químicas de la madera. Así, en el estudio de la composición química de las maderas de 3 clones de *Populus x euramericana* (I-214, "Ostia" y "Robusta") realizado por Miljkovic (1984), se observó que las maderas de albura presentaban, en general, mayores contenidos de lignina y menores concentraciones de hidratos de carbono que las maderas de duramen, pero no se encontraron diferencias significativas entre las maderas de los distintos clones. Sin embargo, en otro estudio realizado con muestras de madera, tomadas a 1,3, 5 y 11 m del suelo, en árboles de varios clones (Kolarov, 1976), el clon de menor densidad (I-214) dio contenidos más bajos de celulosa y más altos de lignina que los demás clones.

La acumulación de componentes minerales en la madera tiene también una gran importancia ya que está relacionada con el movimiento de la savia, la actividad bacteriana y/o la formación de cristales que pueden dañar algunos utensilios metálicos durante el procesado industrial de la madera. Sin embargo, no hemos encontrado muchos trabajos sobre el contenido mineral de la madera de chopo. Uno de los más interesantes es el realizado por Fukazawa *et al.* (1985) con muestras de madera de 2 clones del chopo japonés (*P. maximowiczii*), tomadas a 0,3 y 1,3 m. Los valores medios obtenidos, respectivamente, para las maderas de albura y duramen fueron: cenizas, 680 y 4267 ppm; potasio, 300 y 4267 ppm; calcio, 44 y 64 ppm; magnesio, 23 y 101 ppm; y sodio, 36 y 15 ppm. Las maderas a 1,3 m dieron, en general, contenidos más altos de cenizas, potasio y magnesio, y más bajos de calcio y sodio. Janin & Clément (1972) estudiaron también los componentes minerales en los anillos de albura y duramen de 3 árboles de *P. robusta*, obteniendo los siguientes valores medios para la albura y el duramen, respectivamente: fósforo (como P_2O_5), 0,72 y 0,08 ‰; potasio, 2,97 y 5,72 meq/100 g; calcio, 6,45 y 40,40 meq/100 g; y magnesio, 2,98 y 7,47 meq/100 g. Como puede observarse, la madera de duramen se diferencia de la de albura por contenidos más altos de cenizas, calcio, magnesio y potasio; siendo el calcio el principal elemento diferenciador en *P. robusta*, mientras que en *P. maximowiczii* es el potasio.

En cuanto a la formación de cristales, Clément & Janin (1973) comprobaron la formación de cristales de carbonato cálcico en la madera de chopo en un estudio de 28 especies y clones de este género, en el que únicamente las especies de la sección *Leuce* no presentaron esta característica; y concluyeron que la formación de cristales es un proceso ligado a la duramenización e independiente de la naturaleza del suelo. Taniguchi *et al.* (1987) comprobaron también la presencia de depósitos de carbonato cálcico, con estructura de calcita, en los vasos de la madera de duramen de *P. maximowiczii*, y observaron que, en el parénquima del floema, el calcio se encontraba en forma de oxalato monohidratado.

Con este trabajo queremos contribuir a un mejor conocimiento de la composición química de la madera española de chopo, estudiando también su posible variación dentro del árbol (albura y duramen, a distintas alturas del tronco), y entre clones de distintas densidades.

MATERIAL Y MÉTODOS

Muestras. Se estudiaron 8 árboles, de 14 años de edad, de tres clones del híbrido *Populus x euroamericana* (Dode) Guinier, uno de densidad alta ("Virginie de Frignicourt" o Canadá blanco) –3 árboles-, uno de densidad media (Flevo) –3 árboles-, y otro de densidad baja (I-214) –2 árboles-, de una parcela de Montañana (Zaragoza). De cada árbol se tomaron dos discos de 5 cm, a 1,3 y 6,5 m del suelo, y se separó la madera de albura de la de duramen. Las distintas muestras de albura y duramen fueron astilladas, molidas y tamizadas, determinándose la humedad en el serrín obtenido.

Características químicas. Se determinaron aplicando las Normas TAPPI correspondientes: TAPPI T 204 om-88, extracto en diclorometano; TAPPI T 207 om-88, solubilidad en agua caliente; TAPPI T 212 om-83, solubilidad en sosa al 1 %; TAPPI T 222 om-83, lignina insoluble en ácido (lignina Klason); y TAPPI T 211 om-85, cenizas; con la excepción del contenido de holocelulosa que se determinó por el método de Wise-Murphy (WISE *et al.*, 1946).

Componentes minerales. Para la determinación de sílice, fósforo, magnesio, calcio y potasio, se realizó la digestión previa de la madera con ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno (Norma BS 5666: Parte 3:1991). La sílice se determinó por calcinación del residuo de la digestión, en horno mufla a 525±25 °C (Norma TAPPI 245 om-94); y fósforo, magnesio, calcio y potasio, por espectrofotometría de emisión de plasma ICP, en la solución obtenida en la digestión.

Identificación de los cristales de carbonato cálcico, por microscopía. Se realizó el estudio sobre un corte transversal de la muestra de madera, utilizando una lupa estereoscópica mod. Olympus S2H10 de 70X, con iluminación anular. El ion carbonato se identificó por tratamiento superficial del corte, donde se habían detectado los cristales, con ácido clorhídrico diluido y observación del desprendimiento de anhídrido carbónico; y el ion calcio, por tratamiento con solución de ácido yódico y observación de los cristales de yodato cálcico formados.

Análisis estadístico. El análisis univariante se realizó aplicando el programa BMDP-7D. Mediante este análisis se determinaron los valores medios y las desviaciones estándar de cada variable para cada tipo de muestra; así como el nivel de significación de las diferencias entre tipos de muestras (Test de Student Newman-Keuls). Para el análisis multivariante discriminante canónico se utilizó el programa CAND.SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los valores medios de las características químicas, en cada uno de los diferentes tipos de muestras estudiados, expresadas como porcentaje de madera seca. Los valores medios totales de las características mostradas en la tabla, para todas las muestras estudiadas, son algo diferentes de los obtenidos en análisis anteriores realizados en el INIA (Alonso Aguilar, 1976; y datos no publicados): los contenidos de holocelulosa son ligeramente superiores; y los de extractos (comparados con los extractos en éter, de polaridad semejante) y los valores las solubilidades en

agua caliente y sosa, inferiores; mientras que los contenidos de lignina y cenizas son prácticamente iguales. De acuerdo con estos resultados, las muestras estudiadas para este trabajo presentarían mejores cualidades como materia prima celulósica (Goyañt *al.*, 1999, Benea & Muntean, 1996) y mayor higroscopicidad (Kolin & Janazic, 1996) que las analizadas anteriormente. Las maderas de albura y duramen no presentaron diferencias en los contenidos de lignina y holocelulosa, al contrario de lo observado por Miljkovic (1984); mientras que el contenido de cenizas fue mucho más alto en la madera de duramen que en la de albura. En cuanto a la relación entre densidad y composición de la madera sólo se cumplió lo observado por Kolarov (1976) para los clones "Canadá blanco" y "Flevo", el primero con concentración media más alta de lignina y más baja de holocelulosa que el segundo; pero no para el clon I-214.

De acuerdo con el Test de varianza de Newman-Keuls, solamente el contenido de cenizas presentó diferencias significativas claras entre las maderas de albura y duramen, con valores del orden de cinco veces superiores en la madera de duramen que en la madera de albura. También se observaron pequeñas diferencias significativas en el extracto de diclorometano y en los contenidos de holocelulosa y lignina, que no permitieron la diferenciación de los distintos tipos de muestras.

Tabla 1. Características químicas (media y desviación estándar), en % de madera seca de albura y de duramen de tres clones de chopo de distinta densidad

	Albura		Duramen	
	1,3 m	6,5 m	1,3 m	6,5 m
<u>Densidad alta (Canadá blanco)</u>				
Extracto en diclorometano	0,46±0,11ab	0,47±0,08ab	0,35±0,03a	0,41±0,06ab
Solubilidad en agua caliente	2,57±0,23a	2,53±0,06a	2,12±0,21a	2,17±0,33a
Solubilidad en sosa	18,41±0,32a	18,20±0,92a	16,48±0,70a	16,46±0,20a
Lignina	23,29±0,02b	23,17±0,29b	22,00±0,12ab	23,20±0,51b
Holocelulosa	81,90±1,25ab	81,98±0,93ab	82,04±0,88ab	81,01±0,85a
Cenizas	0,28±0,02a	0,29±0,03a	1,44±0,04b	1,55±0,19b
<u>Densidad media (Flevo)</u>				
Extracto en diclorometano	0,44±0,01ab	0,40±0,05ab	0,45±0,01ab	0,43±0,03ab
Solubilidad en agua caliente	2,33±0,16a	2,37±0,40a	2,22±0,20a	2,62±0,10a
Solubilidad en sosa	17,89±0,48a	16,97±2,07a	17,57±1,10a	17,24±0,89a
Lignina	20,99±0,73a	20,65±0,93a	21,25±0,82a	22,05±0,71ab
Holocelulosa	84,65±0,46b	83,90±0,33ab	83,28±0,22ab	82,75±0,43ab
Cenizas	0,33±0,02a	0,34±0,03a	1,48±0,01b	1,50±0,03b
<u>Densidad baja (I-214)</u>				
Extracto en diclorometano	0,48±0,00ab	0,48±0,03ab	0,54±0,01b	0,52±0,01ab
Solubilidad en agua caliente	2,51±0,20a	2,61±0,40a	2,27±0,25a	2,41±0,20a
Solubilidad en sosa	17,63±0,12a	18,72±0,09a	17,00±0,64a	17,91±0,57a
Lignina	22,89±0,32b	23,44±0,62b	22,86±0,49b	23,44±0,63b
Holocelulosa	83,97±0,88ab	83,79±0,78ab	83,12±1,62ab	83,29±2,70ab
Cenizas	0,35±0,03a	0,33±0,03a	1,24±0,47b	1,36±0,30b

Para cada variable, letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas, con un nivel de confianza del 95 % (Test de Student Newman-Keuls)

El análisis discriminante multivariante de las características químicas estudiadas (Fig. 1) dio 2 funciones discriminantes que representan el 92 % de la dispersión total,

con una correlación canónica de 0,9864 para la función 1 y de 0,8981 para la función 2. Como puede observarse, la función 1, con la contribución principal del contenido de cenizas y, en mucha menor proporción, del de holocelulosa, permite distinguir claramente la madera de albura de la de duramen. La función 2, con una contribución importante del contenido de lignina, separa las muestras de madera de las de albura en tres grupos correspondientes a los tres clones de distinta densidad estudiados. Sin embargo, este agrupamiento no tiene lugar con las muestras de madera de duramen; ni tampoco se produce un agrupamiento de las muestras de acuerdo con su altura en el tronco.

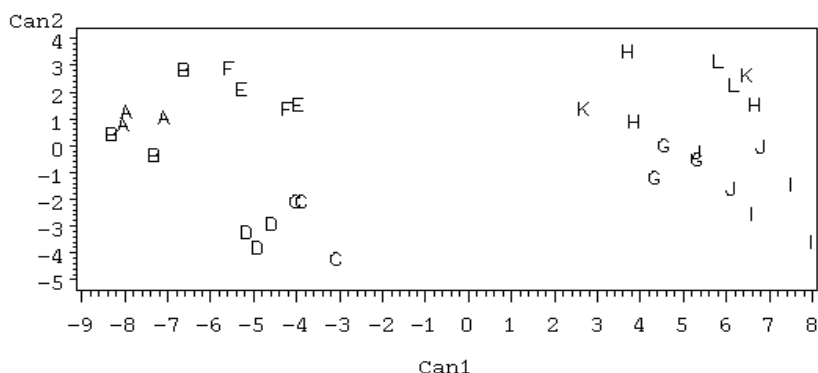


Figura 1. Análisis discriminante multivariante de las características químicas, proyección sobre los dos ejes canónicos principales. A y B: *m.a.* de *d.a.*, a 1,3 y 6,5 m; C y D: *m.a.* de *d.m.*, a 1,3 y 6,5 m; E y F: *m.a.* de *d.b.*, a 1,3 y 6,5 m; G y H: *m.d.* de *d.a.*, a 1,3 y 6,5 m; I y J: *m.d.* de *d.m.*, a 1,3 y 6,5 m; y K y L: *m.d.* de *d.b.*, a 1,3 y 6,5 m (*m.a.*=madera de albura; *m.d.*=madera de duramen; *d.a.*=densidad alta; *d.m.*=densidad media; *d.b.*=densidad baja)

El resultado de los análisis de los componentes minerales de los distintos tipos de madera estudiados se muestra en la Tabla 2. Estos datos ponen de manifiesto importantes diferencias entre la composición inorgánica de la madera de los clones de *P. x euroamericana* estudiados en esta comunicación y las de las maderas de *P. maximowiczii* y *P. robusta* objeto de los trabajos encontrados en la bibliografía. El valor medio del contenido de calcio, encontrado por nosotros, es muy inferior al citado para la última especie y muy superior al encontrado en *P. maximowiczii*. También hay diferencias en los contenidos de cenizas, superior al del chopo japonés, y de magnesio, inferior al de *P. robusta*. Los elementos diferenciadores de las maderas de albura y duramen varían asimismo de una especie a otra. Mientras que en las maderas españolas, al igual que en las del chopo japonés, el duramen se diferencia, principalmente, por los elevados contenidos de potasio, 7 y 14 veces superiores a los de la albura, respectivamente; el principal elemento diferenciador en *P. robusta* es el calcio con concentraciones en duramen 6 veces superiores a las de albura.

En el Test de varianza de Newman-Keuls, todos los componentes minerales, a excepción de la sílice, dieron diferencias significativas entre algunos de los grupos de muestras estudiados. Este comportamiento de la sílice puede ser debido a los contenidos excesivamente altos, 10 veces superiores a lo normal, encontrados en las muestras de albura y duramen tomadas a 6,5 m en uno de los árboles del clon "Flevo"; lo cual influye de manera importante en las medias y las desviaciones de los dos grupos de muestras.

agrupan bien con respecto a la función 2, a la que contribuyen principalmente los contenidos de potasio y de calcio, o con respecto a la función 1. Así, la función 2 permite separar las muestras de duramen de densidad baja de las de densidades media y alta; y la función 1, las muestras I (duramen de densidad media a 1,3 m) del resto de las muestras.

La observación al microscopio de cortes transversales de los distintos tipos de madera puso de manifiesto la presencia de cristales en todas las muestras, mucho más abundantes en la madera de duramen (Fig. 2). Los cristales fueron identificados como carbonato cálcico por desprender anhídrido carbónico, al tratar la superficie de la madera con ácido clorhídrico diluido, y por formar cristales rómbicos característicos de iodato cálcico (Fig. 2), después del tratamiento con ácido yódico.

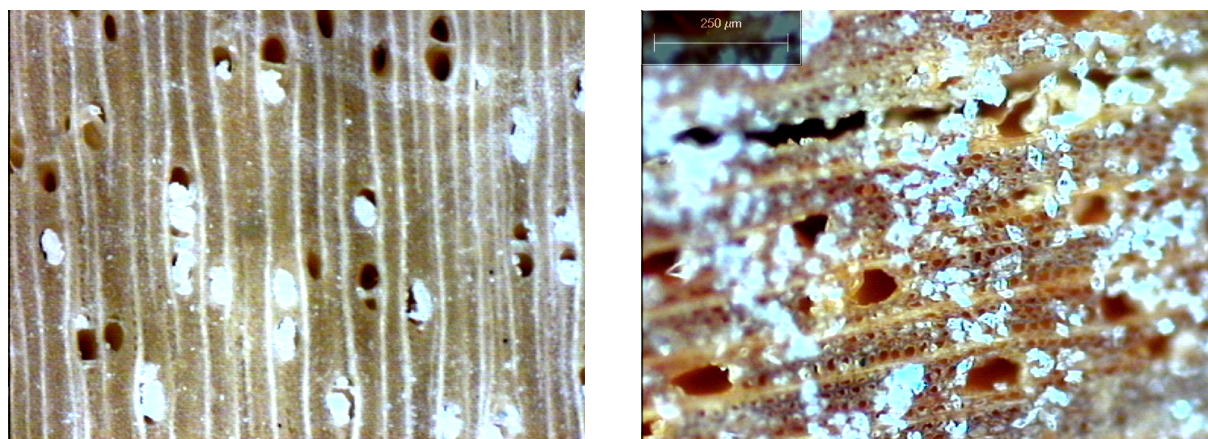


Figura 3. A la izquierda, observación al microscopio (70X) de un corte transversal de madera de duramen de densidad alta, con cristales de carbonato cálcico obstruyendo algunos vasos. A la derecha, cristales de yodato cálcico formados sobre la superficie de la madera tras el tratamiento con ácido yódico.

La presencia de cristales, especialmente en la madera de duramen podría dar problemas en el proceso de aserrado (Clément y Janin, 1973).

CONCLUSIONES

La madera de duramen se diferencia de la de albura por los mayores contenidos de cenizas, potasio, calcio y magnesio y por la abundancia de cristales de carbonato cálcico.

No se encontraron diferencias significativas entre los distintos clones ni en la composición de la madera a distintas alturas del tronco.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr.-Ing. D. Antonio Gutiérrez Oliva la selección y preparación de las muestras; a D. Ramón Pérez Balboa y D. Antonio Sánchez Rodríguez su ayuda en la realización de los ensayos; a la Dra. Ingrid Walter Ayneto las determinaciones por espectrofotometría de emisión de plasma; y a D. José Luis Simón Serfaty las observaciones al microscopio y la identificación de los cristales de carbonato cálcico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO AGUILAR, L.; 1976. Análisis químico de maderas de diferentes especies forestales. Comunicaciones INIA. Serie: Tecnología Agraria, No. 2. INIA.

BENEA, V. & MUNTEAN, V.S.; 1996. Cellulose content and the main characteristics of wood-fiber of the *Populus x euramericana* (Dode) Guinier robusta RO-16, I-214 and Sacrau-79 obtained in Danube valley and Danube delta, Romania. Proceedings 20th Session of the International Poplar Commission, Budapest (Hungria), 1-4 octubre 1996; Vol I, 2-10. FAO - International Poplar Commission.

CLÉMENT A. & JANIN G.; 1973. Étude complémentaire de la présence de cristaux de carbonate de calcium dans le bois des peupliers. Existence de cinq zones fonctionnelles reconnues a partir de leurs teneurs en phosphore. Ann. Sci. Forest., 30(1), 63-81.

FUKAZAWA, K.; UJIIE, M.; LEE, K.Y & ISHII, T.; 1985. Inorganic constituents in wood in relation to wetwood and crystal formation. Proceedings Symposium on Forest Products Res. Intern. Achievements and the Future, Pretoria (South Africa). Vol. 1(16-15), pág. 1-9.

GOYAL, G.C.; FISHER, J.J.; KROHN, M.J.; PACKOOD, R.E. & OLSON, J.R.; 1999. Variability in pulping and fiber characteristics of hybrid poplar trees due to their genetic makeup, environmental factors, and tree age. Tappi J., 82(5), 141-147.

JANIN, G. & CLÉMENT, A.; 1972. Mise en évidence de cristaux de carbonate de calcium dans le bois des peupliers. Conséquences sur la répartition des ions minéraux liée a la duraminisation. Ann. Sci. Forest., 29(1), 67-105

KOLAROV, D.; 1976. Studies on the interrelations between the anatomical structure, chemical composition, and physical and mechanical properties of the wood of some hybrid Black Poplar clones. Gorskostopanska Nauka, 13(2), 74-80.

KOLIN, B. & JANEZIC, T.S.; 1996. The effect of temperature, density and chemical composition upon the limit of hygroscopicity of wood. Holzforschung, 50(3), 263-268.

MILJKOVIC, J.; 1984. Chemical composition of sapwood and colored heartwood of some poplar species. Cellulose Chemistry and Technology, 18(1), 49-53.

TANIGUCHI, T.; LEE, K.Y.; FUKAZAWA, K. & HARADA, H.; 1987. Structure of calcium deposits in the xylem and phloem of Japanese poplar. Mokuzai Gakkaishi J. Japan Wood Res. Soc., 33(1), 1-6.

WHITE, R.H.; 1987. Effect of lignin content and extractives on the higher heating value of wood. Wood and Fiber Science, 19(4), 446-452.

WISE, L.E.; MURPHY, M.; D'ADDIECO, A.; 1946. P. Trade J., 122(2), 35