

# Caracterización de la madera de *Salix*. 1: Influencia del sitio, clon, edad y altura de muestreo

M. S. Villegas<sup>1\*</sup>, M. C. Area<sup>2</sup> y R. M. Marlats<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Diagonal 113 y 61, La Plata, Buenos Aires, Argentina.*

<sup>2</sup> *CONICET - PROCYP, Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Misiones, F. de Azara 1552, Posadas, Misiones, Argentina.*

## Resumen

Se caracterizó la madera de dos clones de sauces (*Salix*) implantados en el Delta del río Paraná, Argentina, según sus propiedades ópticas, composición química, densidad básica, tilosis y estado sanitario, analizando las variaciones en las características anteriores de acuerdo al sitio, clon, edad y altura de muestreo.

El sauce americano presentó promedios más altos de celulosa y densidad y menores porcentajes de lignina, extractivos y tilosis. El híbrido 131/27 tuvo la madera más blanca y con menos superficie deteriorada. El sitio más adecuado para ambos clones fue el menos inundable.

La blancura, L\* y la densidad básica se incrementaron, mientras la superficie con defectos y el porcentaje de tilosis decrecieron en sentido base-ápice dentro de cada individuo. Dicho porcentaje también disminuyó transversalmente de médula a corteza.

De los 6 tipos de madera descriptos, los anillos grises y la zona oscura resultaron similares a la madera sana. Las manchas castañas se caracterizaron por su baja blancura y elevada tilosis, si bien la más oscura fue rica en lignina y pobre en celulosa, mientras que la más clara tuvo el más alto porcentaje de solubles en NaOH al 1%. La mancha azul se caracterizó por su elevado tenor de extractivos y escasa blancura.

**Palabras clave:** sauce, propiedades ópticas, densidad, tilosis, composición química, estado sanitario.

## Abstract

### Wood characterization of *Salix*. 1. Influence of the site, clone, age and sampling height

The wood of two *Salix* clones cultivated in the Delta of Paraná River in Argentina was characterized according to their optical properties, chemical composition, basic density, tyloses content and health condition, analysing variations in terms of site, clone, age and sampling height.

American willow showed more cellulose content, higher density and less lignin, extractives and tyloses than the 131/27 hybrid. The wood of the last one had the smallest damaged area in the disks and the highest brightness values. The most appropriate site for both clones was the one less affected by flood.

Brightness, L\* and basic density increased, whereas deteriorated area decreased from bottom to tip within each tree. The tyloses percentage also decreased, both in vertical and horizontal directions.

Six different types of wood were defined. Between them, “grey-coloured rings”, result of flood, and “dark zone”, may be considered similar to “healthy wood”. Three types of stains were responsible for the main changes in the wood analysed. The “brown stains” showed low brightness and high tyloses, but the darkest one showed high lignin and low cellulose contents. The “light-brown stain” had the highest alkali-soluble substances content. The “blue stain” showed low brightness and high extractives content.

**Key words:** willow, optical properties, density, tyloses, chemical composition, healthy state.

\* Corresponding author: [silvillegas@agro.unlp.edu.ar](mailto:silvillegas@agro.unlp.edu.ar)

Received: 03-11-08. Accepted: 26-05-09.

## Introducción

Las Salicáceas (sauces y álamos) son muy apropiadas para la elaboración de pulpas de alto rendimiento destinadas a la fabricación de papel periódico. Su baja densidad favorece la impregnación con reactivos químicos y el desfibrado mecánico, en un proceso de tipo químicomecánico (Repetti, 1990). Según la Comisión Nacional del Álamo (2004), existen en Argentina casi 46.000 ha con plantaciones de sauces, destinadas prácticamente en su totalidad a la industria celulósico-papelera. Dos de los principales cultivares utilizados son *Salix babylonica* var. *sacramenta* (sauce americano) y *Salix babylonica* x *Salix alba* cv. 131/27 (sauce híbrido 131/27).

En este estudio serán analizados algunos atributos involucrados en el concepto de calidad celulósico-papelera de la madera de los dos clones mencionados: densidad básica, propiedades ópticas (blancura, luminosidad y coordenadas cromáticas), composición química, estado sanitario y tilosis. Se pondrá énfasis en el análisis de cambios de coloración que se han denominado “tipos de madera”. En una segunda parte de esta investigación, se establecerán relaciones entre las variables analizadas y su posible influencia sobre las propiedades ópticas de las maderas.

La densidad básica de la madera es la propiedad que más ha sido estudiada como indicadora de calidad celulósico-papelera (B. de Guth y Ragonese, 1980; B. de Guth y Piussan, 1987; B. de Guth, 1987; Zobel y Talbert, 1988; Cerrillo *et al.*, 1992; Deka *et al.*, 1992; Mát-yás y Peszlen, 1997; Novaresi *et al.*, 1997; Villegas *et al.*, 2002; Monteoliva *et al.*, 2002-2003, 2004; Villegas y Marlats, 2005; Monteoliva, 2007), por su relación con los rendimientos del proceso industrial, las resistencias del papel y su opacidad.

En los pulpados de alto rendimiento se elimina solamente una parte de los compuestos responsables del color, ya que no se aplican tratamientos deslignificantes que disminuirían el rendimiento. Es así que las propiedades ópticas en una pulpa de alto rendimiento son similares a las del material original (Lindholm, 1999). La blancura (*brightness*) es la propiedad óptica más comúnmente usada. Sin embargo, cuando los materiales son coloreados, los valores de blancura por sí solos no dan información adecuada, siendo necesario determinar los parámetros de color para poder caracterizar de forma más completa y significativa su apariencia visual (Forsskåhl, 1999). Existen numerosos antecedentes sobre determinaciones de propiedades ópticas en pulpas y papeles, muy pocos en madera. En *Salix*, varios auto-

res han analizado la blancura en pulpa y/o papel, entre ellos, Repetti *et al.* (1981); García Volonté y Suárez (1989); Piussan *et al.* (1990), Novaresi *et al.*, (1997), Monteoliva *et al.* (2007). En un estudio anterior a éste (Villegas, 2003) se compararon metodologías de medición de blancura y color en tablas y madera molida de dos clones de sauce y se analizaron las variaciones de estas propiedades. Las rodajas de madera utilizadas entonces (Villegas, 2003) presentaban manchas y marcas oscuras que posiblemente debían su color a ataques microbiológicos. Por otra parte, los suelos donde crecen los clones de sauce analizados, están sujetos a periódicas inundaciones, llegando a veces a quedar los árboles sumergidos hasta más de 1m de altura desde la base, durante meses. Esa exposición prolongada al agua podría ser causa de algunas de las manchas mencionadas.

Los componentes o grupos coloreados de la madera (cromóforos) se encuentran principalmente en la lignina y extractivos (Gardner y Hillis, 1962; Lorås, 1980; Hillis, 1987; Imamura, 1989; Forsskåhl, 1999; Lindholm, 1999). Los contenidos de celulosa y solubles en NaOH 1% se consideran indicadores de la cantidad y extensión del deterioro ocasionado por microorganismos (Shema, 1955; Lindgren y Eslyn, 1961; Kim y Singh, 2000). Esta degradación se debe principalmente a la acción fúngica, aunque ciertas bacterias pueden degradar madera sana lignificada. Según Forsskåhl (1999), para obtener una pulpa clara y estable es esencial partir de materia prima de alta calidad, sin daños causados por insectos y microorganismos.

El desarrollo de tilosis es un proceso fisiológico normal que indica la transformación de albura en duramen en muchas especies de latifoliadas (Leitch *et al.*, 1999). La presencia de tñlides disminuye o anula la penetración de líquidos en la madera, de gran importancia en el proceso de pulpado, ya que se ve afectada la impregnación de la madera con los licores de cocción, resultando la tilosis un carácter no deseable para la industria celulósico-papelera. Normalmente la madera de Salicáceas de uso industrial (para aserrado o triturado) tiene muy poca o ninguna tilosis, debido fundamentalmente a que los árboles son de corta edad (12-13 años) y por lo tanto la cantidad de tejido duraminizado es escasa. La evaluación de tilosis tiene como objeto comprobar si en la zona analizada hay disminución o detención de la conducción, como una probable consecuencia del deterioro.

El objetivo de este trabajo es caracterizar las maderas en estudio desde el punto de vista de sus propiedades ópticas, composición química, densidad básica, tilosis y

estado sanitario, analizando las variaciones en las características anteriores según el sitio, clon, edad y altura de muestreo.

## Material y métodos

Se trabajó con 2 clones de sauce: *Salix babylonica* var. *sacramenta* (sauce americano) y *Salix babylonica* x *Salix alba* cv. *Rio Po 9416* 131/27 (híbrido 131/27), procedentes de plantaciones comerciales ubicadas en islas del Delta del río Paraná, Argentina. Se tomaron muestras en tres sitios de producción:

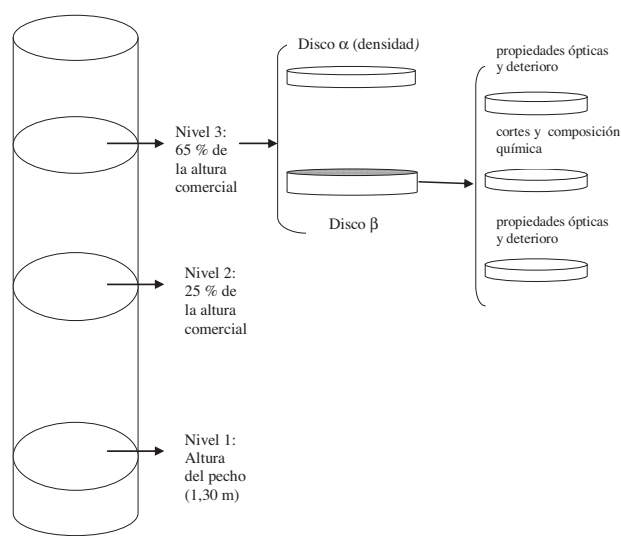
1. Establecimiento “Las Animas”, ubicado en el Delta Medio, con inundación recurrente y largos períodos de anegamiento. Villa Paranacito, Entre Ríos, Argentina (33° 45' LS; 59° 05' LO).

2. Establecimiento “Las Carabelas” (dentro de dique), en el Bajo Delta, terreno protegido de las inundaciones por un dique de 5,50m de cota y con sistemas de bombeo para el desalojo rápido del agua que ocasionalmente pueda afectarlo. Los suelos han sido cultivados los últimos 70 años. 1° Sección de Islas, Buenos Aires, Argentina (34° 30' LS; 59° 00' LO).

3. Establecimiento “Las Carabelas” (fuera de dique), idéntica localización geográfica al sitio 2, pero el terreno cuenta con un dique de menor cota (3,50m), siendo afectado por inundaciones recurrentes, en las que el tiempo de evacuación del agua está condicionado por las sudestadas del Río de La Plata. Los suelos son prácticamente vírgenes, siendo ésta la primera rotación de cultivos de *Salix*.

En cada sitio de crecimiento se seleccionaron 8 árboles por clon, cuatro jóvenes (6-9 años de edad) y cuatro cercanos a la edad habitual de corta (11-13 años). De cada ejemplar se extrajeron muestras a tres niveles sobre el fuste: altura de pecho (AP: 1,30m), 25% y 65% de la altura comercial (HC), denominados 1, 2 y 3 respectivamente. En cada uno de ellos se retiraron dos discos de 4-5 cm de espesor: uno fue utilizado para las determinaciones de densidad (disco  $\alpha$ ) y el otro para evaluar las restantes propiedades (disco  $\beta$ ) (Figura 1). Una vez retiradas las rodajas, fueron identificadas y colocadas en bolsas de polietileno negro.

El disco  $\alpha$  de cada nivel de altura fue descortezado y dividido en dos muestras semicirculares mediante sierra de mano. En cada una de ellas se determinó la densidad básica según la norma T 258 om-06. Para ello se sumergieron las muestras en agua durante 10 días hasta saturación, se determinó el volumen saturado pesando el



**Figura 1.** Esquema del muestreo por árbol, especificando el destino de cada rodaja.

líquido desplazado y finalmente se secaron en estufa a  $103 \pm 2$  °C hasta peso constante. La densidad básica se calculó como Peso seco / Volumen saturado.

El disco  $\beta$  fue dividido transversalmente hasta obtener tres rodajas de menor espesor.

Las rodajas superior e inferior se pulieron con lijas de granulometría decreciente (desde 40 a 180) hasta lograr una superficie lisa y pareja. Mediante observación visual se distinguieron diferentes sectores en cada rodaja, denominados “sano” (S), “anillo gris” (AG), “zona oscura” (ZO), “mancha azul” (MA), “mancha castaño oscuro” (MM) y “mancha castaño claro” (MMc). Estos tipos de madera fueron hallados a la AP, y en menor cantidad al ascender sobre el fuste. Las rodajas pulidas se escanearon y mediante un análisis de las imágenes se cuantificaron los porcentajes de área de la rodaja afectada por cada tipo de defecto, incluyendo la presencia de nudos. Cuando se encontraban presentes en ambas rodajas, los valores se promediaron para obtener un porcentaje por altura de muestreo.

Se determinaron las propiedades ópticas de cada sector de la rodaja (blancura y coordenadas de color CIE-Lab  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ). Las mediciones se realizaron con un espectrofotómetro Technidyne Color Touch modelo ISO, utilizando iluminante D65, observador 10°.

En la rodaja intermedia del disco  $\beta$ , se marcó un radio y se extrajeron 3 cubos de 1 cm de lado, ubicados en forma proporcional a la longitud del radio, registrando la presencia de defectos. De cada cubo se hicieron cortes con micrótopo por duplicado, según la metodo-

logía tradicional seguida en anatomía de maderas para microscopía óptica (Jane, 1956). Las observaciones se realizaron con aumento de 100x. Se contaron el número total de vasos y se calcularon los porcentajes de vasos con tilosis.

Una vez retirados los cubos para microscopía óptica, el resto de la rodaja intermedia (sólo a 1,30 m) se astilló respetando el tipo de madera observada macroscópicamente. Se agruparon las astillas de los 4 árboles de igual sitio, clon y edad, se molieron en un molino tipo Wiley, al cual estaba acoplado un tamiz de 40 mesh, recogiendo la fracción que pasó a través del mismo. Quedaron así conformadas 21 muestras, sobre las que se determinó contenido de extractivos en alcohol-benceno, solubles en agua, solubles en NaOH 1%, lignina soluble e insoluble, según las normas TAPPI T 204 cm-07, T 207 cm-08, T 212 om-07, T UM 250 y T 222 om-06, respectivamente. Se determinó celulosa según Seifert (1956) y se calcularon los contenidos de lignina total y hemicelulosas (= 100 - (celulosa + solubles en agua caliente + extractivos en alcohol-benceno + lignina total).

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA), mediante los programas STATGRAPHICS Plus 5.1 y STATISTICA 7. Las fuentes de variación consideradas fueron: sitio, clon, edad y altura de muestreo. Los componentes químicos de la madera fueron analizados a un único nivel (AP). Para el análisis de las propiedades ópticas y la composición química de la madera, los dos clones en estudio fueron agrupados de acuerdo a la edad en un factor combinado clon-edad. Se incluyeron además, el tipo de madera al analizar la composición química y las propiedades ópticas y el tipo de madera y la posición radial para el análisis de tilosis. Se compararon los promedios de las respuestas mediante el test de Tukey, para aquellos efectos principales que presentaron diferencias significativas en el análisis.

## Resultados

En la Tabla 1 se presentan los valores medios de las características estudiadas, según el clon, sitio y edad analizados.

La densidad básica varió según el sitio, la edad, el clon y en sentido vertical dentro del árbol. Las interacciones sitio-edad ( $p=0,01$ ) y clon-edad ( $p=0,00$ ) resultaron estadísticamente significativas. En ambos clones la densidad básica aumentó dentro del árbol en sentido base-ápice ( $p=0,00$ ). En sauce híbrido ascendió de 393-

394  $\text{kg/m}^3$  en los dos primeros niveles a 403  $\text{kg/m}^3$  en el nivel superior, mientras en sauce americano los promedios fueron de 428  $\text{kg/m}^3$  a la altura de pecho, 436  $\text{kg/m}^3$  en la segunda altura muestreada y 441  $\text{kg/m}^3$  al 65% de la altura comercial. En la Figura 2 se muestra la variación de las propiedades en sentido vertical dentro del árbol.

Tres interacciones dobles resultaron estadísticamente significativas ( $p=0,00$ ) al analizar la superficie con defectos: sitio-clon, sitio-edad y sitio-nivel de muestreo axial. El área afectada en cada rodaja disminuyó a lo largo del fuste en sentido base-ápice para ambos clones y los tres sitios considerados. A 1,30m se registraron importantes diferencias entre las locaciones, que presentaron promedios de 35,4% el sitio 1, 24,8% el sitio 2 y 10% de la rodaja con deterioro en el sitio 3. En cambio, en el nivel superior de muestreo los valores fueron muy similares y se invirtieron las posiciones relativas (1,2%, 1,7% y 6,1%, sitios 1, 2 y 3, respectivamente) (Figura 2).

El contenido de tilosis en los vasos varió según el tipo de madera ( $p=0,00$ ), resultando significativas las interacciones clon-sitio ( $p=0,03$ ), altura de muestreo-edad ( $p=0,00$ ) y clon-posición radial ( $p=0,01$ ). En la Figura 3 se presentan los valores de tilosis y propiedades ópticas discriminados por tipo de madera. El mayor porcentaje de vasos con tilosis correspondió a la mancha castaño oscuro (MM) y los valores más bajos a S y ZO (Tabla 1, Figura 3).

La tilosis disminuyó al ascender en el árbol, tanto en los individuos jóvenes como en los de edad de corta (Figura 2), detectándose diferencias significativas entre la altura del pecho (1,30m) y los niveles superiores de muestreo axial. Los árboles adultos siempre presentaron mayor número de tildes que los jóvenes. El porcentaje de vasos con tilosis fue la única propiedad analizada en sentido horizontal dentro del árbol. Los valores disminuyeron desde la médula hacia la posición central, para luego estabilizarse hacia la corteza.

Las propiedades ópticas variaron con el tipo de madera, el sitio, la edad y el clon (todos  $p=0,00$ ). La blancura ( $p=0,00$ ),  $L^*$  ( $p=0,00$ ) y  $b^*$  ( $p=0,03$ ) se modificaron además en sentido axial dentro del árbol, caracterizándose por un incremento en los valores medios en sentido base-ápice a lo largo del fuste (Figura 2). La coordenada  $a^*$  no tuvo variaciones en sentido axial dentro del árbol.

Los componentes químicos variaron según el tipo de madera ( $p=0,00-0,01$ ), a excepción de los extractivos en agua caliente y hemicelulosas. En la Figura 4 se grafica

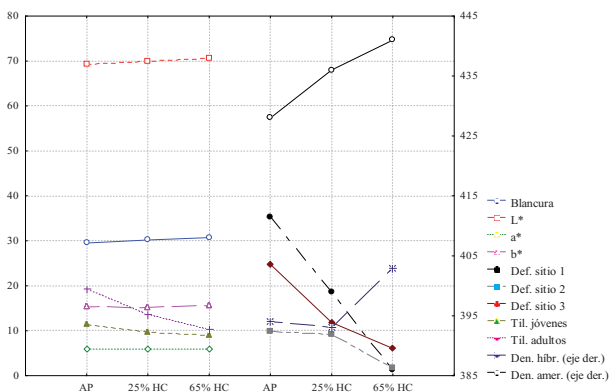
**Tabla 1.** Valores medios de propiedades de la madera de los dos clones analizados

	Sauce americano						Sauce híbrido						Tipos de madera					
	sitio 1		sitio 2		sitio 3		sitio 1		sitio 2		sitio 3		S	AG	ZO	MA	MMc	MM
	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A						
<b>DB</b>	440	430	446	448	419	427	407	379	416	401	404	375	-	-	-	-	-	-
<b>TIL</b>	12,6	18,6	6,1	12,2	8,1	11,5	15,7	14,0	7,7	12,1	10,5	17,9	10,5	16,3	7,2	15,4	17,0	21,7
<b>DET</b>	20,6	10,6	1,17	18,9	14,7	23,7	21,9	20,3	1,02	6,58	3,35	15,1	-	-	-	-	-	-
<b>BL</b>	29,0	24,9	32,7	27,8	32,3	29,2	32,3	30,7	37,0	35,3	35,6	33,8	33,2	32,5	31,0	28,7	29,6	25,3
<b>L*</b>	69,3	65,5	74,2	68,3	72,6	69,4	71,9	70,0	77,1	74,9	75,2	73,0	73,4	72,6	70,6	68,1	69,4	64,9
<b>a*</b>	6,5	6,3	6,4	6,4	5,7	5,8	5,9	5,6	5,6	5,6	5,1	5,3	5,9	5,4	5,7	5,3	6,2	6,2
<b>b*</b>	15,6	16,0	18,9	16,6	16,6	15,8	15,2	14,3	18,1	16,5	16,6	15,5	17,0	16,3	15,0	14,2	15,0	14,8
<b>AB</b>	2,52	2,26	2,27	2,22	2,14	1,74	2,90	2,69	2,36	2,42	2,00	2,06	2,26	2,27	2,29	2,85	2,15	2,31
<b>Af</b>	1,98	0,95	1,47	2,15	1,68	1,53	1,86	2,25	1,84	2,13	1,39	1,51	1,64	1,05	2,38	2,63	2,00	1,78
<b>Ac</b>	3,50	2,33	2,87	3,57	3,55	2,55	3,74	3,59	2,88	3,22	2,94	2,84	3,18	3,13	2,13	3,77	2,77	3,30
<b>CEL</b>	43,9	45,2	45,3	45,6	44,2	47,1	44,0	44,0	44,7	45,6	43,3	42,9	45,3	45,7	43,3	43,8	43,26	42,3
<b>Li</b>	21,8	22,0	21,4	23,0	22,2	21,6	21,0	22,9	21,7	21,6	22,2	22,8	21,8	21,7	22,2	22,3	21,91	23,0
<b>Ls</b>	1,81	1,68	1,62	1,62	1,94	1,71	2,24	1,83	2,04	1,96	2,24	2,04	1,84	1,77	2,15	2,01	2,11	2,06
<b>Lt</b>	23,6	23,7	23,0	24,6	24,2	23,3	23,3	24,7	23,7	23,6	24,5	24,9	23,6	23,4	24,3	24,4	24,03	25,1
<b>álc</b>	21,0	19,9	20,3	20,3	20,2	19,7	21,5	21,6	21,2	20,9	20,9	20,6	20,6	19,9	20,3	21,4	22,14	20,7
<b>HEM</b>	30,3	29,2	31,5	29,8	31,5	29,5	30,4	30,8	31,5	30,7	32,1	32,1	30,5	29,5	32,1	30,5	32,22	31,9

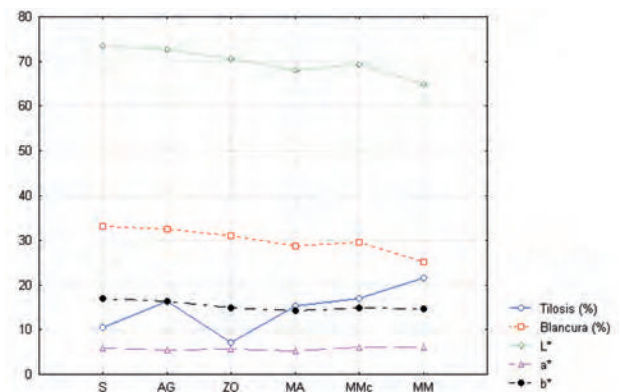
DB: densidad básica (kg/m<sup>3</sup>), TIL: tilosis (%), DET: superficie deteriorada (%), BL: blancura (%), L\*, a\*, b\*, AB: solubles en alcohol-benceno (%), Af: solubles en agua fría (%), Ac: solubles en agua caliente (%), CEL: celulosa (%), Li: lignina insoluble (%), Ls: lignina soluble (%), Lt: lignina total (%), álc: solubles en NaOH al 1% (%), HEM: hemicelulosas (%), J: árboles jóvenes, A: árboles adultos, S: madera sana, AG: anillos grises, ZO: zona oscura, MA: mancha azul, MMc: mancha castaño claro, MM: mancha castaño oscuro.

la composición química de cada tipo de madera. El sitio influyó en el contenido de celulosa (p=0,049) y de solu-

bles en alcohol-benceno e NaOH al 1% (p=0,00). El factor combinado clon-edad fue significativo para celu-

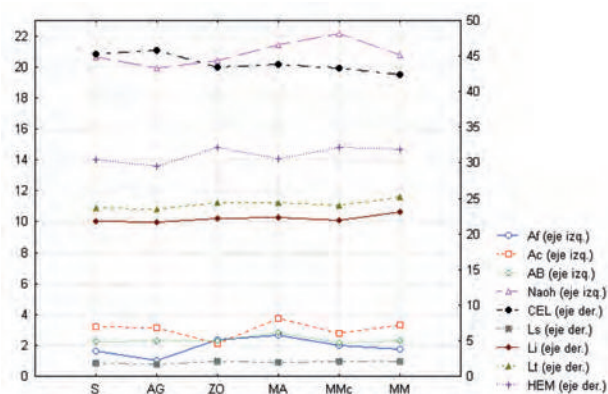


**Figura 2.** Variación axial de blancura (%); L\*, a\*, b\*; superficie con defectos (%) en los sitios 1, 2 y 3; tilosis (%) en árboles jóvenes y adultos y densidad básica (kg/m<sup>3</sup>) para sauce americano e híbrido.



**Figura 3.** Valores medios de vasos con tilosis (%), blancura (%), L\*, a\* y b\*, según los tipos de madera analizados (S: sana; AG: anillo gris; ZO: zona oscura; MA: mancha azul; MMc: mancha castaño claro; MM: mancha castaño oscuro).





**Figura 4.** Valores medios (en %) de solubles en agua fría (Af), agua caliente (Ac), alcohol-benceno (AB) y NaOH al 1% (Naoh), contenido de celulosa (CEL), hemicelulosas (HEM) y ligninas insoluble (Li), soluble (Ls) y total (Lt), para cada tipo de madera.

losa, extractivos en alcohol, NaOH, lignina soluble (todos  $p=0,00$ ), hemicelulosas ( $p=0,02$ ) y solubles en agua caliente ( $p=0,03$ ).

## Discusión

### Tipos de madera

Las propiedades ópticas, la composición química y el porcentaje de vasos con tilosis se vieron modificados según el tipo de madera estudiado. Los resultados al evaluar las propiedades ópticas concuerdan con lo esperado, según la apreciación visual de las coloraciones presentes en cada tipo de madera. La madera sana resultó más blanca que los demás tipos. Los AG fueron diferentes a todos los tipos de manchas y similares a S y ZO. El tipo de madera más oscura fue MM, presente generalmente en sauce americano y a la edad adulta. Los valores de  $L^*$  (luminosidad) siguieron la misma tendencia que los de blancura. La MM presentó el más bajo valor promedio y los registros más altos correspondieron a la madera sana, que no presentó diferencias con los AG tampoco para  $L^*$ . En términos generales puede afirmarse que los defectos encontrados en las rodajas y que han sido clasificados como “tipos de madera”, provocan el oscurecimiento de las mismas. Las diferencias en los valores de blancura, que alcanzan a 8 puntos al comparar la mancha castaño oscuro con la madera sana, resultan de crucial importancia cuando la especie va a ser sometida a un proceso de pulpado de alto rendimiento, en el que el color de la pulpa obtenida depende direc-

tamente de la materia prima de la que se partió. Es así que cuanto más oscura sea la madera, menor blancura se alcanzará en la pulpa. Todas las maderas mostraron valores positivos de  $a^*$  y  $b^*$ , ubicándose en el cuadrante rojo-amarillo del espacio de color CIELab (Tabla 1, Figura 3), sin que se registraran variaciones relevantes. Sólo las diferencias superiores a 2 puntos ocurridas para  $b^*$  entre S y las manchas MA y MM, así como entre MA y AG, pueden considerarse de importancia práctica. S y AG volvieron a semejarse, con los valores más altos de  $b^*$ , indicando un grado más elevado de amarillez que el resto, mientras que MA presentó el menor valor, diferenciándose estadísticamente de todos los demás tipos de madera. Debido a que la máxima diferencia en  $a^*$  fue de 0,9 puntos, todos los tipos de madera deben considerarse de similar tinte rojizo. Los valores de blancura,  $L^*$  y  $b^*$  registrados por los AG resultaron superiores a lo esperado, posiblemente debido a errores de medición, dado que el ancho de los anillos era inferior a la abertura circular del espectrofotómetro y probablemente se involucró madera sana en la lectura. De todas maneras, son anillos bastante claros, de color semejante a la zona oscurecida (ZO). Esta última, con 31,0% de blancura, no parece coincidir con el calificativo de “oscura” usado para describir esta zona. En realidad, fue una denominación utilizada para definir un sector menos blanco que la madera normal, pero sin relacionar ese calificativo con los demás defectos presentes ni con los valores mensurables de blancura.

En cuanto a la composición química, la madera sana y los AG contenían más celulosa y menos lignina (soluble, insoluble y total) que el resto, diferenciándose estadísticamente de MM, MMc y ZO para lignina soluble y sólo de MM para celulosa, lignina insoluble y lignina total. Los promedios de celulosa y lignina total ponen en evidencia lo anterior (Tabla 1, Figura 4). La lignina es el objetivo principal de ataque químico en los procesos de preparación de la pulpa celulósica, mientras que la celulosa es el componente máspreciado y protegido, cuya degradación se intenta minimizar. Las manchas castañas y ZO presentaron los promedios más elevados de lignina soluble, sin diferenciarse entre sí, lo que sugiere una relación entre las tonalidades pardas o castañas y el contenido de lignina. En cambio, un alto contenido de extractivos parecería estar asociado a MA, que presentó la mayor tasa de solubles en alcohol-benceno y solubles en agua fría, junto a ZO y MMc. Si bien el tipo de madera no fue significativo para extractivos en agua caliente, también MA presentó los mayores valores, diferenciándose en el contraste de medias de ZO. En el

caso de los solubles en NaOH al 1%, la MMc tuvo el mayor valor medio, diferenciándose de todos los demás tipos de madera, excepto MA; el promedio más bajo correspondió a los AG (Tabla 1, Figura 4). En la industria celulósico-papelera, la cantidad de extractivos presentes en la madera reviste gran importancia, debido fundamentalmente a la reducción en el rendimiento y el aumento en el consumo de reactivos químicos que ocasionan. Según Gardner y Hillis (1962), Hillis (1987) e Imamura (1989), los extractivos son además los principales responsables de la coloración en la madera de latifoliadas. Sin embargo, otros autores consideran a la lignina como la principal contribuyente al color en las maderas claras (Lorås, 1980; Lindholm, 1999). En cuanto a los contenidos de solubles en NaOH al 1%, parecería que sólo MA y MMc estarían relacionadas con este grupo de compuestos, utilizados habitualmente para determinar el grado de deterioro de la celulosa (Shema, 1955; Lindgren y Esllyn, 1961; Kim y Singh, 2000). Por lo tanto, MM sería un tipo de deterioro que no se manifiesta con aumentos en los solubles en NaOH al 1%.

De acuerdo a lo expuesto, puede suponerse una asociación entre S y AG por un lado, y MM, MMc y MA, por el otro. La madera sana o normal y los AG resultaron muy semejantes en su composición química y propiedades ópticas, caracterizándose por su blancura,  $L^*$  y  $b^*$  elevados, escasa lignina y abundante celulosa. Los vasos de la madera sana presentaron el menor número de tílides, mientras que los AG presentaron valores intermedios. Los anillos grises, presentes exclusivamente en el sitio 1, responden a períodos en los que los árboles estuvieron sometidos a inundaciones. En todas las muestras los anillos marcados fueron los del período de crecimiento 1997-1998, época en la que el desarrollo de los individuos se vio comprometido por el exceso de agua. La MA, más comúnmente presente en sauce híbrido, tuvo alto contenido de extractivos, tendencia a valores bajos de  $a^*$  y  $b^*$ , baja blancura y tilosis intermedia. Las manchas castañas presentaron altos contenidos de tílides y escasa blancura. Mientras que la más oscura (MM) se mostró rica en lignina y pobre en celulosa, la más clara (MMc) tuvo el mayor porcentaje de solubles en NaOH al 1%. La MMc podría pertenecer a un estadio incipiente de la anterior, aunque es difícil comprender por qué al comienzo del deterioro aumentan los solubles en álcali y, a medida que la degradación de celulosa avanza, estos valores no se continúan incrementando, mientras sí lo hace el tenor de lignina. Estos tres tipos de manchas, de etiología aún no determinada,

fueron los principales responsables de los cambios de coloración en las maderas estudiadas. La observación al microscopio óptico de cortes de las zonas afectadas por cada tipo de mancha no permitió dilucidar claramente sus agentes causales. Cultivos de trozos de madera manchada dieron como resultado colonias bacterianas. Esto implica la necesidad de investigar a través de otros procedimientos fitopatológicos el origen de estas manchas, utilizando técnicas apropiadas para bacteriología y observaciones de la madera con microscopía electrónica de transmisión. El tipo ZO, por sus características intermedias, podría considerarse un sector normal de la madera en proceso de duraminización, (aunque la tilosis es tan baja como en la madera sana), o bien, una consecuencia de las inundaciones a las que estuvieron sometidos los árboles. Esta clase de madera, al igual que los AG, no ocasiona mayores inconvenientes a las rodajas afectadas.

### Sitio de crecimiento

El sitio de crecimiento demostró ejercer una gran influencia sobre las diferentes propiedades del leño. Los tipos de madera presentes variaron según el sitio analizado.

La locación 1 (“Las Animas”), afectada por periódicas inundaciones, resultó ser la de mayor superficie con defectos en su madera, donde aparecieron AG como consecuencia de tal fenómeno y ZO. Aparentemente la presencia o ausencia de ambos tipos de madera se relaciona con el grado de anegamiento al que se han visto sometidos los árboles. El sitio 3, con inundaciones menos prolongadas que en el sitio 1, presentó madera con ZO en sauce americano joven y sauce híbrido adulto. El sitio 2, endicado y completamente a resguardo de la entrada de agua, resultó el menos afectado por defectos para ambos clones, ya que las rodajas provenientes de este lugar no presentaron AG ni ZO.

Toda vez que el factor “sitio” o alguna de sus interacciones resultaron significativos en el análisis, la localización de “Las Animas” se destacó como determinante de tal variación. Las interacciones sitio-clon y sitio-edad que resultaron significativas para el área con defectos de cada rodaja, se debieron a las peculiares características del sitio 1. El sauce híbrido presentó allí numerosos AG, resultando más afectado que el americano, mientras que se mantuvo por debajo de dicho clon en los sitios restantes. En la misma locación, la madera de los individuos de menor edad presentó más superficie con defectos que la

de los adultos (presencia de ZO en sauce americano y AG y MA en sauce híbrido); lo opuesto ocurrió en los sitios restantes (Tabla 1).

El contenido de tilosis en los vasos siguió una tendencia muy similar a la de la superficie deteriorada: en los sitios 2 y 3, el sauce americano mostró los más altos porcentajes de tñides, mientras que en el primer sitio fue superado por el híbrido 131/27, a causa de los AG y MA de los árboles jóvenes (Tabla 1). El sitio 2 tuvo los menores promedios de tilosis para ambos clones, mientras “Las Animas” resultó la locación con mayor contenido de tñides en los vasos de sus maderas, lo que implica una desventaja para la industria celulósico-papelera por las dificultades ocasionadas durante la impregnación con los licores de cocción.

La densidad básica también se vio modificada en el sitio 1. La interacción doble entre la locación y la edad se debió a los individuos adultos de sauce americano, que presentaron valores medios inferiores a los de los árboles jóvenes, mientras que en los otros sitios, la tendencia, para este clon, fue la opuesta. El sauce híbrido, en cambio, siguió un patrón similar en todas las locaciones: disminución de la densidad básica al pasar de joven a adulto. En general, esta propiedad tiende a aumentar con la edad (Zobel y Talbert, 1988), si bien la mayoría de los trabajos que evalúan esta relación analizan los cambios de densidad en sentido horizontal dentro del árbol, realizando determinaciones a lo largo de uno o más radios. La disminución ocurrida en el híbrido y en el primer sitio para americano podría deberse a alguno de los defectos presentes. García Volonté y Suárez (1989) y Deka *et al.* (1992) hallaron resultados similares estudiando varios clones de sauce. Los últimos autores analizaron 16 clones y encontraron que los individuos de 1-2 años de edad presentaban madera de mayor densidad que los árboles de 14 años.

La localización de “Las Animas” presentó los valores medios más bajos de blancura y  $L^*$ , ubicándose 4 puntos por debajo de los otros dos sitios, que no se diferenciaron estadísticamente (Tabla 1). Esto coincide con lo hallado en un estudio previo para sauce americano e híbrido 131/25 creciendo en los mismos sitios (Villegas, 2003). Las diferencias detectadas en  $a^*$  entre los sitios fueron de tan sólo 0,6 puntos y no representan variación física real. El sitio 2, protegido de la entrada de agua, fue el que presentó el valor medio más alto de  $b^*$  (madera más amarilla), en coincidencia con Villegas (2003), quien para sauce americano halló promedios más elevados de  $b^*$  en la misma locación. El sitio 1 fue

el de menor valor medio, indicando una cierta tendencia hacia el azul, debida a las manchas y a los AG.

El sitio 1 presentó los valores medios más altos de extractivos en NaOH al 1% y en alcohol-benceno (debidos fundamentalmente a las MA presentes en el sauce híbrido) y el más bajo contenido de celulosa (por las MM del americano). Para esta última variable, el sitio 2 resultó el de mayor valor medio. El sitio 3 presentó los menores porcentajes de extractivos (Tabla 1). Los restantes componentes del análisis químico no variaron significativamente según el sitio.

Puede concluirse de este análisis, que el sitio 2, (“Las Carabelas” dentro de dique) es el más apropiado para el crecimiento de ambos clones de sauce, registrándose allí la madera más blanca, de mayor  $L^*$  y densidad básica, con menos superficie afectada por defectos, menor porcentaje de vasos con tilosis y más contenido de celulosa. Esto es coherente con las características que presenta este sitio: ubicado en el Bajo Delta, el terreno se encuentra protegido de las inundaciones por un dique de 5,50m de cota y cuenta con sistemas de bombeo para el desalojo rápido del agua que ocasionalmente pueda afectarlo. Los otros dos sitios, en cambio, soportan frecuentes inundaciones, que pueden persistir por varios meses, afectando notablemente el desarrollo normal de los individuos. Parecería que este factor tiene una importancia fundamental en la determinación del crecimiento de los individuos y de la calidad de la madera producida. En efecto, el sitio 1, del establecimiento “Las Animas”, que soporta frecuentes anegamientos, presentó todas las características opuestas a las mencionadas para el sitio 2, además de un alto porcentaje de extractivos en la madera, resultando la localización menos apropiada.

## Clon y edad

La madera del sauce americano resultó siempre más densa que la del híbrido (Tabla 1), coincidiendo con lo registrado por otros autores para los mismos clones (B. de Guth y Ragonese, 1980; B. de Guth, 1987; G. Volonté y Suárez, 1989; Piussan *et al.*, 1990; Cerrillo *et al.*, 1992; Novaresi *et al.*, 1997, Monteoliva *et al.*, 2007; Monteoliva, 2007). Los valores medios extremos hallados en la bibliografía son, para sauce americano, 375 - 492 kg/m<sup>3</sup> y para el híbrido, 359 kg/m<sup>3</sup> a los 15 años de edad y 405 kg/m<sup>3</sup> a los 4 años (nótese la disminución con la edad en este clon). Dentro del rango de densidades óptimo para la manufactura de pulpa y papel (400 a



600 kg/m<sup>3</sup>) es deseable una mayor densidad de la madera, puesto que así se logran mayores rendimientos en el proceso de pulpado.

El factor combinado clon-edad resultó estadísticamente significativo para blancura, L\*, a\* y b\* (p=0,00). El sauce híbrido posee una madera más blanca y de mayor luminosidad que el americano. En el último clon los promedios variaron según la edad, siendo mayores en los árboles jóvenes, con madera más sana. Aún así, resultaron más oscuros que las rodajas más deterioradas de los adultos del híbrido. Estos resultados concuerdan con la apreciación visual de las rodajas: claramente las de sauce americano resultaron las más afectadas por manchas en los tres sitios, sobre todo a la edad de corta, siendo superado por el 131/27 en 3-6 puntos de blancura y 2-5 puntos de luminosidad. Una diferencia similar fue registrada entre el sauce americano y el híbrido 131/25, relacionado con el de este trabajo (Villegas, 2003). Piussan *et al.* (1990) y Monteoliva *et al.* (2007) determinaron blancura en pulpa mecánica y quimimecánica, respectivamente, resultando el híbrido 131/27 superior al sauce americano por 4 puntos. Los árboles jóvenes de sauce americano tuvieron mayores valores de blancura y luminosidad que los adultos, lo que se relaciona con una mayor sanidad, evidente en las muestras analizadas. Aún así, los individuos jóvenes de este clon no alcanzaron a superar el blanco de los adultos del híbrido, que presentaban más defectos, indicando una clara diferencia clonal en propiedades ópticas. Respecto de la coordenadas cromáticas a\* y b\*, las diferencias fueron menores a 2 puntos, con los menores promedios para el híbrido (Tabla 1).

El 131/27 de corta edad presentó el mayor porcentaje de lignina soluble, extractivos en alcohol-benceno, extractivos en NaOH al 1% y hemicelulosas que las demás combinaciones clon-edad, y junto al americano joven, el más elevado contenido de solubles en agua caliente. El mayor contenido de solubles en alcohol-benceno detentado por el híbrido coincide con lo hallado por B. de Guth y Ragonese (1980) y Monteoliva *et al.* (2007), quienes al analizar árboles de 15 y 13 años, respectivamente, encontraron diferencias de 0,3-0,6% a favor del 131/27. Los más elevados porcentajes de lignina soluble, extractivos en NaOH al 1% y hemicelulosas registrados para el mismo clon son coincidentes con los resultados de al menos uno de los dos sitios analizados por Monteoliva *et al.* (2007). Por su parte, el americano adulto mostró mayor porcentaje de celulosa que los demás, resultado que concuerda con Repetti *et al.* (1981) y Monteoliva *et al.* (2007), mientras que Novare-

si *et al.* (1997) no hallaron diferencias entre los valores de americano e híbrido para este componente. Los árboles de menor edad presentaron más hemicelulosas, lignina soluble, extractivos en alcohol, agua caliente e NaOH al 1% que los de edad de corta (Tabla 1). Repetti *et al.* (1981) hallaron en individuos de sauce americano de 4 años mayores contenidos de solubles en agua fría, NaOH y hemicelulosas y en los ejemplares de 10 años de edad promedios superiores de lignina, celulosa y solubles en agua caliente. Deka *et al.* (1992) también encontraron más hemicelulosas en los árboles jóvenes al analizar 16 clones de *Salix*. Estos autores consideraron que disminuciones en el rendimiento del orden de 5-6% en la pulpa obtenida de individuos jóvenes fueron causadas por el elevado contenido de hemicelulosas que presentaban. Los demás componentes del análisis químico (solubles en agua fría, lignina insoluble y total) no experimentaron variaciones significativas según el clon y la edad.

Evidentemente, cada uno de los clones analizados presentó ventajas y desventajas. El sauce híbrido 131/27 fue el poseedor de la madera más blanca, pero con mayor tendencia a los colores verde-azulados y con menos superficie deteriorada. Presentó, sin embargo, mayor contenido de lignina, extractivos y número de vasos con tílides, y menor contenido de celulosa y densidad básica que el americano.

En cuanto a las edades estudiadas, los individuos adultos presentaron bajo contenido de extractivos y alto tenor de celulosa, pero su madera fue menos blanca, con mayor tendencia a presentar defectos, de menor densidad promedio y con más elevados porcentajes de lignina y tilosis.

### Altura de muestreo

El aumento de densidad en sentido vertical dentro del árbol (Figura 2) coincide con lo hallado por Villegas y Marlats (saucе americano en similares sitios del Delta, 2005), por Novaresi *et al.* (híbrido 131/27, 1997) y B. de Guth y Piussan (*Salix nigra*, 1987). Sin embargo, Novaresi *et al.* (1997) citan un aumento seguido de disminución en los valores de densidad del saucе americano, mientras B. de Guth y Ragonese (1980), Villegas *et al.* (2002) y Monteoliva *et al.* (2002-03) no encontraron variaciones significativas de la densidad según la altura de muestreo. En general, la bibliografía reporta diferentes patrones de variación axial de la densidad básica según la especie y para *Salix* se ha demostrado que no

puede definirse una única tendencia (Monteoliva, 2007).

El contenido de tílides en los vasos se vio afectado por el nivel axial a través de la interacción altura de muestreo-edad, explicada por la diferencia entre edades a la altura del pecho: 11,5% de vasos con tilosis en individuos jóvenes, 19,4% en adultos, y la similitud a 65% de HC: 9,1% y 10,3%, respectivamente. El elevado porcentaje de vasos con tilosis observado a la altura del pecho en los árboles adultos del sitio 1, está relacionado con las manchas MM y MA presentes en las rodajas de ambos clones, a ese nivel.

Respecto de la superficie afectada con defectos en cada disco de madera, la tendencia fue una clara disminución de la misma al ascender sobre el fuste (Figura 2). Esto resulta esperable al considerar que la porción superior del tronco es la más recientemente formada y cuenta con una mayor proporción de madera sana, que no ha sufrido consecuencias de anegamientos previos. La interacción sitio-altura puede explicarse por la gran cantidad de nudos, algunas manchas y ZO presentes a la altura 3 en el sitio 3, que no se encontraron a ese nivel en los otros dos sitios.

Los incrementos experimentados por las propiedades ópticas blancura y  $L^*$  en sentido base-ápice a lo largo del fuste (Figura 2), coinciden con lo hallado anteriormente en los mismos sitios para sauce americano y 131/25 (Villegas, 2003). En ese estudio las mediciones fueron realizadas sobre las superficies radiales de tablas y los valores de blancura y  $L^*$  fueron por lo tanto mayores que los actuales. Raymond y Bradley (2002) reportaron el mismo patrón de variación en *Eucalyptus nitens*, describiendo un incremento continuo de la blancura al ascender verticalmente en el árbol y aumentos de  $L^*$  desde la base hasta el 40% de la altura, seguido de una leve disminución. La coordenada cromática  $a^*$  modificó su comportamiento axial según el clon y el sitio considerados, presentando aumentos con la altura en el sitio 1, disminución o aumento en el sitio 2 y disminución en el 3. Esta conducta ha equilibrado los valores medios por altura, presentándose una tendencia general sin variaciones a lo largo del fuste. En el estudio ya mencionado de Villegas (2003), el parámetro  $a^*$  también registró variaciones ascendentes o descendentes según el sitio y clon, evidenciando una clara interacción. Por otra parte, Raymond y Bradley (2002) encontraron leves disminuciones de  $a^*$  con la altura, sin indicar la significancia estadística de este resultado. La tendencia ascendente de  $b^*$  a lo largo del fuste se contrapone a lo hallado por Villegas (2003), quien reportó una disminución de esta propiedad

óptica en sentido base-ápice para sauce americano y ausencia de variación con la altura para el híbrido 131/25. En *Eucalyptus nitens*, tal como ocurriera para la variable  $a^*$ , Raymond y Bradley (2002) describieron un leve descenso de  $b^*$  desde la altura inferior a la superior muestreadas, sin especificar si esta variación resultó significativa. De todas maneras, las diferencias halladas, menores a un punto, no representan físicamente una variación real.

Como comentario final, puede decirse que la variación en sentido vertical dentro del árbol indica que la altura del pecho, habitualmente utilizada como punto de extracción de muestras, posee madera más oscura, menos densa y con más defectos y tilosis que el leño por encima de este nivel, que generalmente no se tiene en cuenta en las evaluaciones. Desde un punto de vista industrial, debería recomendarse no descartar la última porción del fuste, ya que presenta características deseables. El conocimiento de la evolución experimentada por las propiedades de la madera en sentido longitudinal a lo largo del tronco y la consistencia de tales patrones a través de diferentes sitios de implantación, son requisitos indispensables a la hora de desarrollar métodos de muestreo efectivos y eficientes para la evaluación de cualquier atributo de la madera.

## Posición en el radio

La disminución del porcentaje de vasos con tílides en dirección médula-corteza podría estar relacionado con la distribución de los defectos dentro de cada rodaja. En efecto, las manchas castañas, poseedoras de los valores medios más elevados de tilosis, ocuparon una posición central en los discos de madera, desarrollándose a partir de la médula en forma centrífuga, para estar ausentes en la posición más próxima a la corteza. Era esperable, entonces, que el contenido de tilosis siguiera un patrón similar. De todas maneras, las tílides normalmente no se forman en la albura más externa, por lo que la presencia de estas invaginaciones de parénquima en los vasos respondería a daños en la madera (tilosis traumática) (Leitch *et al.*, 1999).

La interacción clon-posición radial que resultara significativa para esta propiedad fue causada por un promedio más alto del sauce americano (16,1%) respecto del híbrido (14,2%) en la posición cercana a la médula y la situación opuesta en las otras dos posiciones radiales (9,27 y 9,19% para el americano; 12,2 y 12,5% para el sauce 131/27). Esto ocurrió fundamentalmente en los

sitios 1 y 2, en la tercera altura de muestreo. Precisamente en este nivel (65% de la altura comercial) la madera se presentó prácticamente libre de defectos, solamente con nudos y algunos esbozos de manchas. Esto indicaría que la mayor tilosis del americano respecto del 131/27 en el tercio próximo a la médula y la situación opuesta en las otras dos posiciones radiales, se debieron al comportamiento de las maderas normales de ambos clones, sin que la presencia de algún defecto en particular pudiera considerarse responsable de dicha interacción.

## Conclusiones

En este trabajo se caracterizó la madera de dos clones de *Salix*, atendiendo a su utilización como materia prima de la industria celulósico-papelera. Se pueden considerar como características favorables a la misma, bajos contenidos de lignina y extractivos, alto contenido de celulosa, blancura y L\* elevadas, escasa superficie con deterioro en la madera y mínimo porcentaje de vasos con tilosis.

Desde este punto de vista, la madera sana y los anillos grises fueron los tipos de madera más adecuados y el sitio mejor protegido de las inundaciones fue el más apropiado para el crecimiento de ambos clones de sauce. Los tres tipos de manchas hallados en la madera presentaron atributos que van en detrimento de la calidad de la pulpa y el sitio sometido a frecuentes anegamientos resultó la localización menos apropiada.

Cada uno de los clones analizados presentó ventajas y desventajas. Del mismo modo, algunas de las características estudiadas se vieron favorecidas al incrementarse la edad de los árboles, pero otras resultaron más ventajosas en los individuos más jóvenes.

La variación axial de las propiedades indica que la porción más elevada del fuste presenta los atributos más deseables para la industria de celulosa y papel.

## Referencias bibliográficas

- BONAVÍA DE GUTH E., 1987. Obtención y evaluación de nuevos clones de sauces y álamos en relación a su uso celulósico. 23° Congreso Técnico sobre Celulosa y Papel ATIPCA, Buenos Aires, 2-7 noviembre. Trabajos Técnicos, pp. 43-60.
- BONAVÍA DE GUTH E., PIUSSAN C.M., 1987. Variación de las características del leño del individuo en *Salix nigra* cultivado en el Delta del Paraná. Simposio sobre silvicultura y mejoramiento genético de especies forestales, CIEF, Buenos Aires, 6-10 abril. Tomo IV, pp. 219-235.
- BONAVÍA DE GUTH E., RAGONESE A., 1980. Evaluación de las características del leño en relación a la calidad del papel de algunos híbridos de sauces obtenidos en Castelar (INTA). IDIA n° 393-394, 25-30.
- CERRILLO T., BUNSE G., SPARNOCHIA L., 1992. Productividad de nuevos clones de sauces en el Delta argentino. 19° Sesión de la Comisión Internacional del Álamo, Zaragoza, 22-25 setiembre. Vol. I, pp. 515-529.
- COMISIÓN NACIONAL DEL ÁLAMO DE ARGENTINA, 2004. Informe Nacional, período 2000-2004. En: Informe de Países Miembros, 22° Reunión de la Comisión Internacional del Álamo, Santiago, Chile. 24 pp.
- DEKA G.C., WONG B.M., ROY D.N., 1992. Suitability of hybrid willow as a source of pulp. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 12, 197-211.
- FORSSKÅHL I., 1999. Brightness reversion. En: *Forest Products Chemistry* (P. Stenius, ed.), Papermaking Science and Technology Series (J. Gullichsen y H. Paulapuro, series eds.). Finish Paper Engineers' Association y TAPPI, Jyväskylä, Finland. Vol. 3, Chap. 5, pp. 277-233.
- GARCÍA VOLONTÉ R., SUÁREZ E.A., 1989. Características de algunos sauces para la producción de papel para diarios. Jornadas sobre Silvicultura y Mejoramiento Genético del Género *Salix*, CIEF, Buenos Aires, 20-21 noviembre, pp. 139-144.
- GARDNER J.A.F., HILLIS W.E., 1962. The influence of extractives on the pulping of wood. En: *Wood extractives and their significance to the pulp and paper industries* (W.E. Hillis, ed.). Academic Press Inc., New York, U.S.A., Chap. 11, pp. 367-419.
- HILLIS W.E., 1987. Heartwood and tree exudates. En: *Springer Series in Wood Science* (T.E. Timell, series ed.). Springer-Verlag, New York, U.S.A, 268 pp.
- IMAMURA H., 1989. Contribution of extractives to wood characteristics. En: *Natural Products of Woody Plants II: Chemicals Extraneous to the Lignocellulosic Cell Wall* (J.W. Rowe, ed.), Springer Series in Wood Science (T.E. Timell, series ed.). Springer-Verlag, New York, U.S.A., pp. 843-860.
- JANE F.W., 1956. The structure of wood. Adam and Charles Black. London, U.K., 478 pp.
- KIM Y.S., SINGH A.P., 2000. Micromorphological characteristics of wood biodegradation in wet environments: a review. *IAWA Journal* 21 (2), 135-155.
- LEITCH M.A., SAVIDGE R.A., DOWNES G.M., HUDSON I.L., 1999. Induction of tylosis in *Eucalyptus globulus* chips. *IAWA Journal* 20 (2), 193-201.

- LINDGREN R.M., ESLYN W.E., 1961. Biological deterioration of pulpwood and pulp chips during storage. TAPPI Journal 44 (6), 419-429.
- LINDHOLM C.A., 1999. Bleaching. En: Mechanical Pulping (J. Sundholm, ed.), Papermaking Science and Technology Series (J. Gullichsen y H. Paulapuro, series eds.). Finish Paper Engineers' Association y TAPPI, Jyväskylä, Finland. Vol. 5, Chap. 11, pp. 313-343.
- LORÁS V., 1980. Bleaching. En: Pulp and Paper, Chemistry and Chemical Technology, 3rd ed., (J.P. Casey, ed.), John Wiley & Sons Inc., New York, U.S.A., Vol.1, Chap. 5, pp. 633-764.
- MÁTYÁS C., PESZLEN I., 1997. Effect of age on selected wood quality traits of poplar clones. Silvae Genetica 46 (2-3), 64-72.
- MONTEOLIVA S.E., SENISTERRA M.G., MARQUINA J., MARLATS R., VILLEGAS M.S., 2002-2003. Estudio de la variación de la densidad básica de la madera de ocho clones de sauce (*Salix spp.*). Rev. de la Fac. de Cs. Agrarias y Forestales, U.N.L.P. 105 (1), 29-34.
- MONTEOLIVA S.E., 2007. Salicáceas: variación en la calidad de madera para papel de diario. III Congreso Iberoamericano de Productos Forestales (IBEROMADERA), Buenos Aires, 3-5 julio, Actas en CD, 14 pp.
- MONTEOLIVA S.E., AREA M.C., FELISSIA F.E., 2007. CMP pulps of willows for newsprint. Part 1: Pulps evaluation. Cellulose Chemistry and Technology 41 (4-6), 263-272.
- NOVARESI M.P., DELORENZI F., DE ROSA G.P., CERVANTES P., ROZAS C., 1997. Aptitud de Salicáceas para la industria del papel. CICELPA-INTI, Informe Técnico O.T. N° 18-2927. 19 pp.
- PIUSSAN M., REPETTI R., FONTANA E.A., 1990. Estudio comparativo de las propiedades papeleras del *Salix nigra* N° 4, del híbrido A-131/27 y del sauce americano. 26° Congreso Técnico sobre Celulosa y Papel ATIPCA, Buenos Aires, 12-17 noviembre. Trabajos Técnicos, pp. 485-504.
- RAYMOND C.A., BRADLEY A.D., 2002. Assessment of wood colour in *Eucalyptus nitens*. Appita Journal 55 (2), 118-122.
- REPETTI R., 1990. Relación entre las características de la madera y las propiedades del papel. Seminario sobre Calidad de la Madera en la Producción Forestal, CIEF, Buenos Aires, 7 diciembre. Actas, pp. 11-30.
- REPETTI R., TACCONI R.A., CASAL O.F., CASABONA A., 1981. Pastas de alto rendimiento de sauces de corta rotación. 17° Congreso Técnico sobre Celulosa y Papel ATIPCA, Buenos Aires, 9-14 noviembre. Trabajos Técnicos, pp. FP 49-85.
- SEIFERT K., 1956. New method for rapid determination of pure cellulose. Papier 10 (13/14), 301-306.
- SHEMA B.F., 1955. The microbiology of pulpwood. En: Microbiology of Pulp and Paper, TAPPI Monog., Ser. 15, TAPPI, New York, U.S.A., chap. 2, pp. 28-54.
- VILLEGAS M.S., 2003. Calidad del leño en *Salix*: estudio intraclonal de la variación de la densidad y color de la madera y su interacción con el sitio. Informe de Beca de Iniciación. Univ. Nac. de La Plata, Argentina. 170 pp.
- VILLEGAS M.S., MARLATS R.M., 2005. Variación de la densidad básica de la madera de dos clones de *Salix sp.* L. en sentido axial y radial. Yvyrareta 13, 17-23.
- VILLEGAS M.S., MARQUINA J., MONTEOLIVA S.E., SENISTERRA M.G., MARLATS R.M., 2002. *Salix babylonica* var. *sacramenta* (saucé americano). Variaciones axial y radial de la densidad básica de su madera. II Congreso Forestal Latinoamericano (CONFLAT), Guatemala, 31 julio-2 agosto, Actas en CD, 7 pp.
- ZOBEL B., TALBERT J., 1988. La madera y el mejoramiento genético forestal. En: Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Ed. Limusa, México D.F., México, pp. 407-446.