

## Caracterización de la madera de *Salix*. 2: Relaciones entre propiedades ópticas y otros atributos del leño

M. S. Villegas<sup>1\*</sup> y M. C. Area<sup>2</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 analizaron posibles relaciones entre algunas características de la madera de sauces (*Salix*) y se determinó su influencia sobre las propiedades ópticas de la madera.

En los dos sauces estudiados, la presencia de manchas en la madera ocasionó disminuciones de blancura, L\* y b\*, acentuándose a medida que aumenta la superficie deteriorada y un incremento en el contenido de tilosis.

La madera más blanca presentó los mayores valores de L\*, siendo también más amarilla y menos roja, exceptuando la zona oscurecida en sauce americano y las manchas castañas y azul en sauce híbrido, donde los parámetros a\* y b\* correlacionaron positivamente.

La presencia de deterioro en la madera se relacionó con disminuciones de densidad en ambos clones, exceptuando la mancha castaño oscuro de sauce americano, que provocó aumentos de densidad en las rodajas que la presentan.

Las manchas de la madera afectaron su composición química. En sauce americano la madera más oscura presentó más lignina insoluble y total. En el híbrido, los extractivos en agua caliente y en alcohol-benceno se relacionaron con la mancha azulada y con los solubles en NaOH, medida utilizada generalmente como indicadora del grado de deterioro de la madera.

### Abstract

#### Wood characterization of *Salix*. 2: Relationships between optical and other wood properties

The objective of this study was to establish relationships between some characteristics of the wood of *Salix* and their possible influence on its optical properties.

In both willow clones, the presence of stains caused the decrease of brightness, L\*, and b\*. This effect was intensified in the more deteriorated areas. Tyloses increased with the presence of such stains.

The whiter wood showed the highest values of L\*, being more yellow and less red, except for the “dark zone” in the American willow, and the “brown stains” and the “blue stain” in the hybrid willow, in which the parameters a\* and b\* correlated positively.

The presence of defects in the wood was related to the decrease of density in both clones, except for the “dark-brown stain” in the American willow, which caused the increase of disks density when present.

The content of insoluble and total lignin correlated negatively with brightness and L\* in American willow, and with basic density in the hybrid. In the last clone, the extractives in hot water and alcohol-benzene, correlated with the alkali-soluble substances content (frequently used as a measure of decay degree), and also played an important role in determining the tendency to blue color in the stains of the wood.

**Key words:** willow, colour, brightness, 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

Los sauces *Salix babylonica* var. *sacramento* (sauce americano) y *Salix babylonica* x *Salix alba* cv. 131/27 son utilizados en Argentina como materia prima para la fabricación de papel periódico a través de procesos de tipo quimimecánico. En este tipo de pulpados de alto rendimiento no se aplican blanqueos deslignificantes, por lo que las propiedades ópticas de la pulpa resultan similares a las del material original (Lindholm, 1999). A mayor blancura de la madera, es posible una mejor economía de reactivos en el blanqueo.

El color de la madera es importante para ambos destinos, pulpado y productos sólidos. Sin embargo, la medición cuantitativa y objetiva del color en el leño no es una práctica habitual cuando se evalúa su calidad. La colorimetría cuantitativa permite definir y evaluar el valor estético que la madera presenta para el usuario a lo largo de toda la cadena productiva, clasificar especies, estudiar cambios debidos a fotooxidación, secado artificial, vaporización u otros tratamientos térmicos, mejorar la variabilidad del color en la madera y determinar las propiedades ópticas más deseables para pulpa y papel (Janin *et al.*, 2001).

El presente trabajo forma parte de una investigación más amplia que se ha plasmado en dos publicaciones. En la primera parte (Villegas *et al.*, 2009), se caracterizó la madera de ambos clones de sauce en términos de densidad básica, composición química, deterioro, tilosis y propiedades ópticas (blancura,  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ). Se detectaron importantes variaciones en el color, identificándose y analizándose seis tipos de madera: madera normal (S), anillos grises (AG) producto de inundaciones, zonas oscurecidas (ZO) y tres tipos de manchas: azul (MA), castaño claro (MMc) y castaño oscuro (MM), causadas por microorganismos de etiología aún no determinada. Tales cambios de coloración afectan la calidad de esta materia prima, habitualmente caracterizada por una tonalidad clara que favorece su utilización papelería.

En esta segunda parte de la investigación, se establecen relaciones entre las variables analizadas y las propiedades ópticas de las maderas, con el objeto de inferir posibles consecuencias sobre la pulpa resultante.

La bibliografía reporta algunos antecedentes sobre el tema. Se han definido relaciones entre las medidas de color y la densidad de la madera para especies de *Juglans* (Hiller *et al.*, 1972), *Eucalyptus* (Scurfield, 1976; Unsal *et al.*, 2003; Mori *et al.*, 2004), *Pinus* (Burgois *et al.*, 1991), *Calycophyllum* (Sotelo Montes *et al.*,

2008) y varias frondosas de bosques secundarios de Japón (Nishino *et al.*, 2000).

La relación entre las propiedades ópticas de la madera y sus componentes químicos ha sido estudiada en algunas especies de *Eucalyptus*, *Pseudotsuga*, *Juglans*, *Pinus*, *Betula*, *Picea* (Scurfield, 1976; Lorås, 1980; Dellus *et al.*, 1997; Burtin *et al.*, 2000; McDonald *et al.*, 2000; Luostarinen y Luostarinen, 2001; Mori *et al.*, 2004). Los cromóforos de la madera se encuentran principalmente en la lignina y extractivos (Gardner y Hillis, 1962; Hillis, 1987; Imamura, 1989; Forsskåhl, 1999; Lindholm, 1999). El contenido de celulosa y los solubles en NaOH 1% se miden como indicativos del grado de deterioro microbiológico de la madera. Esto podría estar relacionado con las propiedades ópticas de la misma, ya que los diferentes tipos de microorganismos (celulolíticos o ligninolíticos) producen manchas que alteran el color, además del rendimiento. 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. Dentro de las Salicáceas, los sauces tienen mayor contenido de extractivos que los álamos (Repetti, 1990). La bibliografía reporta análisis de composición química realizados en distintos clones de sauce, sin que se hayan relacionado con el color de la madera.

El objetivo de este estudio es establecer relaciones entre algunas propiedades de la madera y sus características ópticas, infiriendo posibles consecuencias sobre las pulpas resultantes.

## Material y métodos

Se estudiaron los clones *Salix babylonica* var. *sacramento* (sauce americano) y *Salix babylonica* x *Salix alba* cv. *Rio Po 9416* 131/27 (sauce híbrido 131/27). Se tomaron muestras (rodajas) a tres alturas sobre el fuste (altura del pecho: 1,30m; 25% y 65% de la altura comercial), de 24 árboles de cada clon, ubicados en tres sitios productivos del Delta del río Paraná (Argentina) y de dos edades (joven y adulto). Se determinaron las siguientes propiedades:

- densidad básica de la rodaja según la norma T 258 om-06
- porcentaje de área de la rodaja afectada por cada tipo de defecto (anillos grises, zona oscura, mancha castaño oscuro, mancha castaño claro, mancha azul)
- porcentaje total con deterioro en cada rodaja

- propiedades ópticas de cada tipo de madera (incluyendo la madera sana o normal): blancura (%) y las correspondientes al sistema de color CIELab ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ). En este sistema, el eje  $L^*$  es conocido como Luminosidad y se extiende desde 0 (negro) a 100 (blanco);  $a^*$  representa rojo cuando es positivo y verde cuando es negativo y  $b^*$  amarillo si es positivo y azul si es negativo. Las determinaciones se efectuaron con un espectrofotómetro Technidyne Color Touch modelo ISO, utilizando una fuente D65, observador 10°.
- porcentaje de vasos con tilosis, determinado por observación al microscopio óptico en 3 posiciones radiales (proporcionales a la longitud del radio y equidistantes entre sí) en cada una de las rodajas, registrando a qué tipo de madera pertenecía cada corte
- composición química de cada tipo de madera, utilizando sólo las rodajas a la altura del pecho (AP: 1,30m) y reuniendo para cada muestra las astillas de los 4 árboles de igual sitio, clon y edad. Se determinaron los contenidos 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.

Más precisiones sobre la metodología pueden encontrarse en Villegas *et al.* (2009).

Se analizaron posibles relaciones entre las características estudiadas, para cada clon por separado, a través de análisis de correlación de Pearson efectuados mediante los programas STATGRAPHICS Plus 5.1 y STATISTICA 7. Los análisis estadísticos y resultados se estructuran según tres apartados:

*1- Relaciones entre propiedades ópticas, presencia- ausencia de manchas, densidad, superficie manchada y tilosis*

Datos en letra normal: Las correlaciones ( $n=216$ ) se efectuaron con valores correspondientes a cada una de 3 posiciones radiales en cada una de las rodajas analizadas (9 datos por árbol). Como los distintos tipos de manchas presentes fueron los responsables de los cambios de coloración en las maderas de sauce analizadas, tal como surge de la primera parte de esta investigación (Villegas *et al.*, 2009), la madera normal, los anillos grises y la zona oscurecida se consideraron pertenecientes a un mismo grupo, que se llamó libre de manchas (0),

mientras que las manchas castañas y azul se reunieron para configurar el grupo manchado (1).

Datos en negrita: corresponden a valores medidos exclusivamente en las rodajas con manchas (dos valores por rodaja, uno por cada cara);  $n=59$  para sauce americano y  $n=65$  para sauce híbrido.

*2- Relaciones entre propiedades ópticas y composición química*

La composición química fue determinada en una muestra por tipo de madera para cada combinación clon-sitio-edad, con astillas provenientes de la altura del pecho, y se correlacionó con los valores de propiedades ópticas de las mismas rodajas utilizadas en el análisis químico;  $n=11$  para sauce americano;  $n=10$  para sauce híbrido.

*3- Relaciones entre propiedades ópticas, superficie con defectos, tilosis y densidad para cada tipo de madera*

Se analizaron los valores pertenecientes a cada tipo de madera por separado: sana (S) ( $n=72$ ), mancha castaño oscuro (MM) ( $n=19$  en sauce americano,  $n=8$  en sauce híbrido), zona oscura (ZO) ( $n=8$ ), mancha azul (MA) ( $n=4$  en sauce americano,  $n=21$  en sauce híbrido), mancha castaño claro (MMc) ( $n=10$  en sauce americano,  $n=5$  en sauce híbrido), anillos grises (AG) ( $n=4$  en sauce americano,  $n=6$  en sauce híbrido).

## Resultados

*1- Relaciones entre propiedades ópticas, presencia- ausencia de manchas, densidad, superficie manchada y tilosis*

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para sauce americano y 131/27, respectivamente, según datos de cada una de las posiciones horizontales. Los valores en negrita corresponden a rodajas manchadas exclusivamente.

*2- Relaciones entre propiedades ópticas y composición química*

La Tabla 2 expresa los resultados de las correlaciones efectuadas en sauce americano e híbrido, respectivamente. Se utilizaron datos medidos a la altura del pecho (1,30m) y sólo de aquellas rodajas involucradas en el análisis químico.

*3- Relaciones entre propiedades ópticas, superficie con defectos, tilosis y densidad para cada tipo de madera*

En la Tabla 3 se muestran los resultados para sauce americano e híbrido.

**Tabla 1.** Correlaciones de Pearson estadísticamente significativas para (a) sauce americano y (b) sauce híbrido

|          | <b>a</b> |       |              |              |   |             |              | <b>b</b> |       |      |             |             |   |              |
|----------|----------|-------|--------------|--------------|---|-------------|--------------|----------|-------|------|-------------|-------------|---|--------------|
|          | 1        | 2     | 3            | 4            | 5 | 7           | 8            | 1        | 2     | 3    | 4           | 5           | 7 | 8            |
| <b>2</b> | 0,44     |       |              |              |   |             |              | 0,42     |       |      |             |             |   |              |
| <b>3</b> | -0,75    | -0,48 |              |              |   |             | <b>-0,40</b> | -0,70    | -0,45 |      |             |             |   | <b>-0,68</b> |
| <b>4</b> | -0,78    | -0,49 | <b>0,99</b>  |              |   |             | <b>-0,43</b> | -0,71    | -0,46 |      | <b>0,96</b> |             |   | <b>-0,74</b> |
|          |          |       | 0,99         |              |   |             |              |          |       | 0,97 |             |             |   |              |
| <b>5</b> |          |       | <b>-0,61</b> | <b>-0,59</b> |   | <b>0,57</b> | <b>0,78</b>  |          |       |      |             |             |   |              |
| <b>6</b> | -0,63    | -0,43 | 0,66         | 0,75         |   |             | <b>-0,53</b> | -0,51    |       | 0,59 | <b>0,45</b> | <b>0,85</b> |   | <b>-0,44</b> |
|          |          |       |              |              |   |             |              |          |       |      | 0,76        | 0,42        |   |              |

**1:** Presencia/ausencia de manchas; **2:** Vasos con tilosis (%); **3:** Blancura (%); **4:** L\*; **5:** a\*; **6:** b\*; **7:** Densidad básica de la rodaja manchada (g/cm<sup>3</sup>); **8:** Superficie manchada en cada rodaja (%). El valor indicado corresponde al coeficiente de correlación r. Negrita: datos correspondientes a rodajas con manchas; Normal: datos correspondientes a cada posición radial en cada uno de 3 niveles axiales de muestreo.

**Tabla 2.** Correlaciones de Pearson estadísticamente significativas para (a) sauce americano y (b) sauce híbrido

|                       | <b>a</b> |       |       |   |       |    |       |    |       |       |       |      | <b>b</b> |       |       |       |       |      |       |    |       |       |       |       |
|-----------------------|----------|-------|-------|---|-------|----|-------|----|-------|-------|-------|------|----------|-------|-------|-------|-------|------|-------|----|-------|-------|-------|-------|
|                       | 2        | 3     | 4     | 5 | 9     | 10 | 11    | 12 | 14    | 15    | 17    | 18   | 2        | 3     | 4     | 5     | 9     | 10   | 11    | 12 | 14    | 15    | 17    | 18    |
| <b>2</b>              |          |       |       |   |       |    | -0,61 |    |       |       |       |      |          |       |       |       |       |      |       |    |       |       |       |       |
| <b>2<sub>tm</sub></b> | 0,82     | -0,81 | -0,79 |   |       |    |       |    |       |       |       |      | 0,78     | -0,77 | -0,70 |       |       |      |       |    |       |       |       |       |
| <b>3</b>              | -0,61    |       | 0,99  |   |       |    |       |    |       | -0,66 | -0,62 |      |          |       | 0,99  |       |       |      |       |    |       |       |       |       |
| <b>4</b>              |          |       |       |   |       |    |       |    |       | -0,70 | -0,67 |      |          |       |       |       |       |      |       |    |       |       |       |       |
| <b>5</b>              |          |       |       |   |       |    |       |    |       |       |       |      |          |       |       |       |       |      |       |    |       |       |       |       |
| <b>6</b>              |          | 0,77  | 0,82  |   |       |    |       |    |       |       |       |      | -0,82    |       |       |       |       |      |       |    |       | -0,80 | -0,79 |       |
| <b>7</b>              |          |       |       |   | -0,68 |    |       |    |       |       |       |      |          | 0,69  | 0,79  | -0,78 | -0,69 |      | -0,76 |    |       |       |       |       |
| <b>9</b>              |          |       |       |   |       |    |       |    |       |       |       |      |          |       |       |       | 0,71  |      | 0,65  |    |       |       |       |       |
| <b>12</b>             |          |       |       |   |       |    |       |    |       |       |       |      |          |       |       |       | 0,68  | 0,73 |       |    |       |       |       | -0,71 |
| <b>13</b>             |          |       |       |   |       |    |       |    |       |       |       |      |          |       |       |       | 0,69  | 0,74 | 0,86  |    |       |       |       |       |
| <b>16</b>             |          |       |       |   |       |    |       |    | -0,86 |       |       | 0,79 |          |       |       |       |       |      |       |    | -0,71 | 0,98  |       |       |
| <b>18</b>             |          |       |       |   |       |    |       |    | -0,78 |       |       |      |          |       |       |       |       |      |       |    |       |       |       |       |
| <b>17</b>             |          |       |       |   |       |    |       |    | -0,70 | 0,98  |       |      |          |       |       |       |       |      |       |    |       |       |       |       |

**2:** Vasos con tilosis en toda la rodaja (%); **2<sub>tm</sub>:** Vasos con tilosis en cada tipo de madera (%); **3:** Blancura (%); **4:** L\*; **5:** a\*; **6:** b\*; **7:** Densidad básica de la rodaja (g/cm<sup>3</sup>); **9:** Superficie deteriorada en toda la rodaja (%); **10:** Extractivos en agua caliente (%); **11:** Extractivos en agua fría (%); **12:** Extractivos en alcohol-benceno (%); **13:** Solubles en NaOH al 1% (%); **14:** Celulosa (%); **15:** Lignina insoluble (%); **16:** Lignina soluble (%); **17:** Lignina total (%); **18:** Hemicelulosas (%). El valor indicado corresponde al coeficiente de correlación r.

**Tabla 3.** Correlaciones de Pearson estadísticamente significativas para (a) sauce americano y (b) sauce híbrido

| <b>a</b>              |                 |           |           |           |          |           | <b>b</b>  |                 |           |           |           |          |           |
|-----------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| 2                     | 2 <sub>tm</sub> | 3         | 4         | 5         | 7        | 8         | 2         | 2 <sub>tm</sub> | 3         | 4         | 5         | 7        | 8         |
| <b>2</b>              |                 |           |           |           |          | AG: -0,98 |           |                 |           |           |           |          | MMc: 0,92 |
|                       |                 |           |           |           |          | S: 0,77   |           |                 |           |           |           |          |           |
|                       |                 |           |           |           |          | MM: 0,78  |           |                 |           |           |           |          |           |
|                       | S: 0,67         |           |           |           |          | MM: -0,67 | MA: 0,88  |                 |           |           |           |          |           |
| <b>2<sub>tm</sub></b> | MM: 0,65        |           |           |           |          | MMc: 0,92 |           |                 |           |           |           |          |           |
|                       | MA: 0,95        |           |           |           |          | AG: 0,96  |           |                 |           |           |           |          |           |
|                       |                 |           |           |           |          | MM: -0,71 | MM: -0,72 |                 |           |           |           |          |           |
|                       |                 |           |           |           |          | MA: -0,51 |           |                 |           |           |           |          | MA: -0,56 |
| <b>3</b>              | S: -0,52        | S: -0,53  |           |           |          | MMc:      | MMc:      |                 |           |           |           |          | MMc:      |
|                       |                 |           |           |           |          | -0,79     | MMc: -    |                 |           |           |           |          | -0,96     |
|                       |                 |           |           |           |          | 0,98      | -0,94     |                 |           |           |           |          |           |
|                       |                 |           | S: 0,98   |           |          |           |           |                 | S: 0,96   |           |           |          |           |
|                       |                 |           | MM: 0,99  |           |          | MM: -0,52 | MM: -0,75 | MM: -0,75       | MM: 0,98  |           |           |          | MM: -0,75 |
| <b>4</b>              | S: -0,57        | S: -0,57  | ZO: 0,91  |           |          | MMc:      | MA: -0,48 | MMc:            | MA: 0,96  |           |           |          | MA: -0,62 |
|                       | AG: -0,99       |           | MA: 0,99  |           |          | -0,87     | MMc:      | -0,90           | MMc: 0,98 |           |           |          | MMc:      |
|                       |                 |           | MMc: 0,98 |           |          |           | -0,99     |                 | AG: 0,95  |           |           |          | -0,93     |
|                       |                 |           | S: -0,50  |           |          | MM: 0,51  |           |                 |           |           |           |          |           |
|                       | ZO: -0,72       | S: -0,60  | MM: -0,47 |           |          |           |           |                 |           |           |           |          |           |
| <b>5</b>              | MMc:            | ZO: -0,79 | MMc:      |           | MM: 0,61 | MA: -0,95 |           |                 | S: -0,64  | S: -0,53  |           | MA: 0,77 |           |
|                       | -0,83           |           | -0,88     |           |          | MMc: 0,65 |           |                 |           |           |           |          |           |
|                       |                 |           | -0,83     |           |          |           |           |                 |           |           |           |          |           |
|                       | ZO: -0,78       |           |           |           |          |           |           |                 |           |           |           |          |           |
| <b>6</b>              | MMc:            | ZO: -0,73 | MM: 0,52  | S: 0,59   | ZO: 0,91 | MA: -0,99 |           |                 | S: 0,61   |           | MM: 0,94  | S: 0,58  |           |
|                       | -0,69           |           | MM: 0,60  |           |          |           |           |                 | MA: 0,56  |           | MA: 0,84  | MA: 0,86 |           |
|                       |                 |           |           |           |          |           |           |                 |           |           | MMc: 0,92 |          |           |
| <b>7</b>              |                 | MA: 0,97  | MA: 0,96  |           |          |           |           |                 |           | MA: 0,51  |           |          |           |
|                       |                 |           |           |           |          |           |           |                 | S: -0,57  | S: -0,58  |           |          |           |
|                       |                 |           |           |           |          |           |           |                 | MM: -0,82 | MM: -0,88 |           |          | MM: 0,94  |
| <b>9</b>              |                 | MM: -0,64 | MM: -0,55 | MM: -0,52 |          | MM: 0,95  | MMc: 0,97 |                 | MA: -0,57 | MA: -0,55 |           |          | MMc: 0,96 |
|                       |                 |           |           |           |          | ZO: 0,96  |           |                 | MMc: -    | MMc: -    |           |          | AG: 0,95  |
|                       |                 |           |           |           |          |           |           |                 | 0,95      | 0,97      |           |          |           |

**2:** Vasos con tilosis en toda la rodaja (%); **2<sub>tm</sub>:** Vasos con tilosis en cada tipo de madera (%); **3:** Blancura de cada tipo de madera (%); **4:** L\* de cada tipo de madera; **5:** a\* de cada tipo de madera; **6:** b\* de cada tipo de madera; **7:** Densidad básica de la rodaja (g/cm<sup>3</sup>); **8:** Superficie ocupada por cada tipo de madera (excluyendo S) (%); **9:** Superficie deteriorada en toda la rodaja (%); S: madera sana o normal; AG: anillos grises; ZO: zona oscura; MM: mancha castaño oscuro; MMc: mancha castaño claro; MA: mancha azul. El valor indicado corresponde al coeficiente de correlación r.

## Discusión

*1- Relaciones entre propiedades ópticas, presencia-ausencia de manchas, densidad, superficie manchada y tilosis*

La presencia de manchas en la madera de ambos clones se relacionó con disminuciones en la blancura, L\* y b\* y aumentos de tilosis en los vasos (Tabla 1). Esto puede explicarse si se considera que la madera normal y los tipos asociados a ella en este análisis

(ZO y AG) poseen valores de  $b^*$ , blanco y  $L^*$  más elevados que las manchas. Puesto que ha quedado demostrado que la madera manchada tiene tendencia a poseer más tílides (Villegas *et al.*, 2009), es razonable pensar que en la medida en que la madera es más oscura y menos amarillenta, el número de vasos con tílides será mayor.

En ambos clones, la madera más blanca es también la que presenta mayores  $L^*$  y  $b^*$  (amarillez) (Tabla 1). En sauce americano además, mayores valores de blancura y luminosidad van acompañados de un menor grado de rojez ( $a^*$  disminuye). Las manchas castaño rojizo oscuro (MM) presentes en este clon son las principales responsables del oscurecimiento de su madera, lo que explica la relación negativa de  $a^*$ , con blancura y  $L^*$ . En sauce híbrido, se relacionaron positivamente los parámetros  $a^*$  y  $b^*$ . Esto concuerda con las características de las manchas azules (MA) presentes en 2 sitios para este clon, que se distinguen por poseer los menores valores de estas variables, otorgándole a este tipo de defecto una particular coloración azul-verdosa (Villegas *et al.*, 2009).

Al analizar solamente las rodajas con manchas (en negrita, Tabla 1), un aumento en el área manchada resultó en menores valores de  $L^*$ , blancura y  $b^*$  en ambos clones y en un aumento de  $a^*$  en sauce americano. Este último parámetro también se incrementa a medida que lo hace la densidad de la madera manchada en este clon. Esto indicaría, que cuanto más rojizas son las manchas de sauce americano, mayor es su tamaño y más elevada la densidad básica de la rodaja. Si se considera que las manchas MM (las más comúnmente halladas en este clon, con altos valores de  $a^*$ ), se presentan duras y firmes, de consistencia vidriosa al astillarlas y sin signos evidentes de pérdida de resistencia en el tejido, no sorprende que las mismas provoquen un aumento de la densidad en las rodajas, según sea la superficie que involucren. Varios autores corroboran esta relación positiva entre el peso específico de la madera y el color rojizo: Nishino *et al.* (2000) analizaron las relaciones entre color y densidad en 26 latifoliadas japonesas y encontraron incrementos en  $a^*$  a medida que la madera es más densa. Unsal *et al.* (2003) estudiaron la madera de *Eucalyptus camaldulensis* y concluyeron que la disminución de densidad causada por un tratamiento térmico fue acompañada por menores valores de  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$ . Sotelo Montes *et al.* (2008) indican que la madera más densa de *Calycophyllum spruceanum* tiende a ser más rojiza ( $r$ : 0,47 entre  $a^*$  y densidad). Otros estudios, sin embargo, no hallaron relaciones entre las propiedades

ópticas y la densidad de la madera, como ocurrió con el híbrido 131/27 (Tabla 1b): Hiller *et al.* (1972) no hallaron relaciones entre la longitud de onda dominante y la densidad de la madera de nogal (*Juglans nigra*). Mori *et al.* (2004) señalan que la densidad de la madera de eucalipto no influenció su color, ya que no presentó correlaciones significativas con ningún parámetro colorimétrico en su estudio de 11 clones.

Considerando el destino celulósico-papelero de los sauces en estudio, es sencillo comprender que las relaciones establecidas en esta primera instancia son contrarias a los requerimientos de la industria. Las maderas claras siempre son preferibles, especialmente para los procesos de alto rendimiento. Las manchas producen pulpas sin blanquear más oscuras que pueden blanquearse a menores niveles de blancura y/o gastar más reactivos de blanqueo para alcanzar un estándar requerido. El aumento de tilosis en los vasos implica una desventaja para el proceso de pulpado, ya que el taponamiento producido obstaculiza la penetración de sustancias en estado líquido o gaseoso, limitando, por ejemplo, la impregnación con los licores de cocción.

## 2- Relaciones entre propiedades ópticas y composición química

En sauce americano, cuanto menor es el contenido de lignina insoluble y total, mayor es la blancura y luminosidad en la madera (Tabla 2a). Una correlación similar fue hallada por Lorås (1980) en *Picea sp.*, quien considera que la lignina es el principal contribuyente al color de las maderas claras. En sentido opuesto, Mori *et al.* (2004) hallaron una correlación positiva entre la luminosidad de la madera y el contenido de lignina soluble. El estudio fue realizado en 11 clones de eucalipto, en los que las sustancias extraíbles son los principales cromóforos de la madera. La tilosis disminuye a medida que aumenta el porcentaje de solubles en agua fría (Tabla 2a), lo que indica que los extractivos no son los responsables del color de las manchas en sauce americano.

En el híbrido 131/27, a medida que aumentan los solubles en agua caliente y en alcohol-benceno y la superficie con defectos en toda la rodaja, la madera tiende a perder amarillez (Tabla 2b). Como se dijo, este clon presentó manchas azules en dos de los sitios analizados. Las mismas se caracterizaron por altos porcentajes de extractivos en agua y en alcohol (Villegas *et al.*, 2009), lo que explica la relación entre los bajos valores de  $b^*$  y tales componentes químicos. Una tendencia contraria es presentada por Mori *et al.* (2004) en eucalipto, quienes describen una correlación positiva entre

b\*, a\* y el contenido de polifenoles, interpretados como los causantes del tinte amarillo-rojizo en esa especie. Varios autores destacan la relación entre el color de la madera y la presencia de extractivos (Gardner y Hillis, 1962; Hiller *et al.*, 1972; Scurfield, 1976; Hillis, 1987; Imamura, 1989; Dellus *et al.*, 1997; Forsskåhl, 1999; Burtin *et al.*, 2000; Loustarinen y Loustarinen, 2001; Mori *et al.*, 2004), si bien no había sido demostrada hasta el momento para el sauce híbrido 131/27. Un mayor porcentaje de solubles se relacionó además con un incremento en la superficie deteriorada en las rodajas del híbrido (Tabla 2b), coincidiendo con lo hallado por Fernández *et al.* (2002), que detectaron un aumento de compuestos fenólicos en madera deteriorada de álamo.

Para el mismo clon, los extractivos en agua (caliente y fría) correlacionaron positivamente con los solubles en NaOH al 1% y con los extractivos en alcohol-benceno. Estos últimos aumentan a medida que disminuyen las hemicelulosas y se incrementan los extractivos en álcali (Tabla 2b). Los solubles en NaOH (1%) son utilizados generalmente como indicadores del grado de deterioro en algunas maderas (degradación de celulosa) y su incremento podría relacionarse con las manchas azules de la madera del sauce híbrido. Estas relaciones entre extractivos no aparecen en sauce americano. En cambio, el contenido de hemicelulosas se relacionó negativamente con el de celulosa y positivamente con el de lignina soluble (Tabla 2a). En los dos clones, un incremento en lignina insoluble provoca el aumento del contenido total de lignina, que se relaciona a su vez, con disminuciones en el porcentaje de celulosa (Tabla 2). Cuando la madera constituye la materia prima de la industria de celulosa y papel, se requieren bajos porcentajes de lignina y extractivos y un mayor contenido de celulosa. Además de las implicaciones mencionadas sobre el color y blancura del producto final, los componentes no celulósicos disminuyen el rendimiento del proceso y pueden interferir perjudicialmente durante el pulpado.

La densidad básica decrece a medida que la madera del híbrido contiene más lignina insoluble, lignina total y tilosis (Tabla 2b). Dicha propiedad correlacionó negativamente con la superficie deteriorada en sauce americano (Tabla 2a). Esto implicaría una relación entre el deterioro causado por las manchas de ambos clones (con elevados contenidos de lignina y tilosis) y disminuciones de la densidad de sus maderas, probablemente por pérdidas de peso.

En ambos clones, cuanto más blanca y luminosa es la madera, menos tñides contienen sus vasos, tal como se

viera en la Tabla 1. Las variables L\*, b\* y blancura volvieron a relacionarse positivamente entre sí, indicando que siempre que aumenta la blancura, lo hacen la luminosidad y la amarillez. No aparecieron en este análisis (con datos de la altura del pecho solamente) relaciones significativas que involucren al parámetro a\*.

Para los dos clones, siempre hubo relación positiva entre la tilosis correspondiente a cada tipo de madera y la de toda la rodaja (Tabla 2), lo que indica que el contenido total de vasos taponados en cada disco de madera se ve afectado en forma directa por las tñides que presentan cada uno de los defectos.

### 3- Relaciones entre propiedades ópticas, superficie con defectos, tilosis y densidad para cada tipo de madera

Se destacarán solamente aquellas relaciones que se presenten por primera vez o que revistan particular interés. En la madera sana de sauce americano, la densidad aumenta a medida que su color tiende al amarillo (Tabla 3a), coincidiendo con las observaciones efectuadas en madera normal de otras latifoliadas (Nishino *et al.*, 2000; Unsal *et al.*, 2003; Sotelo Montes *et al.*, 2008). A medida que la madera de MMc y ZO es más rojiza (mayor a\*), el número de vasos con tñides disminuye. En este último tipo de madera, se incrementan a la vez las coloraciones roja y amarilla, lo que coincide con la tonalidad observada en la zona oscurecida.

En la MM de sauce americano, a medida que aumenta el área de la rodaja afectada por los distintos defectos, la madera de la mancha es más oscura, más roja y con menos tilosis. Esta última característica también decrece a medida que el porcentaje de la rodaja ocupado por MM es mayor. Lo mismo ocurre con los AG, pero en éstos sólo el contenido promedio de tilosis en la rodaja disminuye. Cuando la superficie ocupada en cada disco de madera por MM y ZO se incrementa, también lo hace la superficie deteriorada de toda la rodaja, indicando que estos dos tipos de madera son los de mayor influencia sobre el área total con defectos, ya que abarcan la mayor superficie (Tabla 3a).

La MA de sauce americano, presente sólo en unos pocos árboles, siguió una tendencia opuesta a la de las manchas castañas respecto de a\*. Mientras en las últimas la superficie que ocupan aumenta a medida que son más rojas, en la MA aumenta a medida que es menos rojiza. Este tipo de madera provoca además disminuciones en la densidad de la rodaja a medida que su blancura y L\* decrecen (Tabla 3a). Generalmente, el peso específico de la madera es una propiedad que se relaciona negativamente con la luminosidad y blancura, ocasionando que las maderas más oscuras sean las más den-

sas (Hiller *et al.*, 1972; Scurfield, 1976; Bourgois *et al.*, 1991; Nishino *et al.*, 2000; Sotelo Montes *et al.*, 2008). Sin embargo, este resultado puede deberse a que la mancha azul constituye un defecto de la madera, por lo que es esperable que no se comporte como la madera sana. Unsal *et al.* (2003) reportan oscurecimiento de la madera acompañado de disminuciones de densidad en eucalipto sometido a tratamiento térmico para mejorar su estabilidad dimensional.

En el sauce híbrido 131/27 (Tabla 3b), también aparecieron nuevas relaciones que involucran a  $a^*$ . La madera sana es más blanca y luminosa a medida que tiende al verde (tal como se vio para sauce americano en la Tabla 1a). La MA provoca disminuciones de densidad a medida que su madera es menos roja, menos amarilla y de menor  $L^*$ . La madera sana también es más amarilla cuando su densidad básica aumenta. La relación positiva entre  $a^*$  y peso específico se analizó en el primer apartado para las rodajas con mancha de sauce americano (Tabla 1a). Puede ahora especificarse que este resultado ha sido observado sólo en MA de sauce híbrido y MM de americano (Tabla 3), si bien es una relación habitual en las maderas sanas de otras especies. Algo similar ocurre con  $b^*$ ; generalmente a medida que aumenta el nivel de amarillez, se incrementa la densidad (Nishino *et al.*, 2000; Unsal *et al.*, 2003; Sotelo Montes *et al.*, 2008).

Cuando la MMc del híbrido ocupa un mayor porcentaje del disco de madera, la tilosis de toda la rodaja aumenta, contrariamente a lo acontecido en sauce americano para MM y AG (Tabla 3). Esta contradicción no ha podido explicarse, ya que los tres tipos de madera mencionados son los de mayor número de vasos con tili- des (Villegas *et al.*, 2009), por lo que se esperaba que al aumentar el área ocupada por cada uno, incrementarían la tilosis de todo el disco. A medida que la superficie deteriorada total de la rodaja es mayor, las manchas castañas, MA y la madera sana se oscurecen y la tilosis de los discos con S y MMc se incrementa. El área ocupada por las manchas castañas y los AG influye directamente sobre la superficie deteriorada total de las rodajas involucradas, ya que cuando MM, MMc y AG son más grandes, aumenta la superficie con defectos según altos coeficientes de correlación (Tabla 3b).

Las manchas castañas y azul, y en menor medida la madera normal, son responsables de la relación negativa entre blancura,  $L^*$  y tilosis, vista en Tablas 1b y 2b para el sauce híbrido (Tabla 3b). En cambio, para americano, sólo la madera sana y los AG responden a esta relación (Tabla 3a). La correlación negativa entre tilosis

y densidad básica, vista en la Tabla 2b para el sauce híbrido, sólo se observa en Tabla 3b para la madera normal, y con valores de coeficiente de correlación mucho menores.

## Conclusiones

La madera de estos clones de sauce presentó una serie de manchas y marcas que resultan inconvenientes en vista de su destino celulósico-papelero. El análisis de las relaciones entre las características colorimétricas y otras propiedades de la madera permite sintetizar que en ambos clones la presencia de manchas ocasionó oscurecimiento de la madera, incremento en el contenido de tilosis de los vasos e indirectamente, disminuciones de densidad básica (exceptuando la mancha castaño oscuro del sauce americano, que provocó aumentos de densidad en las rodajas que la presentan). En el híbrido 131/27 los extractivos en agua caliente y en alcohol-benceno jugaron un importante papel en la tendencia hacia la coloración azul presentada por las manchas. Además, se relacionaron con el contenido de solubles en NaOH (1%), medida utilizada generalmente como indicadora del grado de deterioro de algunas maderas. En sentido opuesto, en sauce americano sólo se presentó una correlación significativa para extractivos (solubles en agua fría correlacionaron negativamente con tilosis), lo que indica que no pueden considerarse relacionados a la presencia de deterioro en este clon. El contenido de lignina, en cambio, se incrementó al disminuir la blancura y luminosidad de la madera, sugiriendo un papel como principal cromóforo del sauce americano.

## Bibliografía

- BOURGOIS J., JANIN G., GUYONNET R., 1991. La mesure de couleur: Une méthode d'étude et d'optimisation des transformations chimiques du bois thermolysé. *Holzfor- schung* 45 (5), 377-382.
- BURTIN P., JAY-ALLEMAND C., CHARPENTIER J.-P., JANIN G., 2000. Modifications of hybrid walnut (*Juglans nigra* 23 x *Juglans regia*) wood colour and phenolic composition under various steaming conditions. *Holz- forschung* 54 (1), 33-38.
- DELLUS V., SCALBERT A., JANIN G., 1997. Polyphenols and colour of Douglas fir heartwood. *Holzforschung* 51 (4), 291-295.

- FERNÁNDEZ M.P., BREUIL C., WATSON P.A., 2002. Natural clonal variation of wood extractives in *Populus tremuloides*. Canadian Journal of Forest Research 32, 1192-1199.
- 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.
- 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.
- HILLER C.H., FREESE, F., SMITH, D.M., 1972. Relationships in black walnut heartwood between color and other physical and anatomical characteristics. Wood and Fiber Science 4 (1), 38-42.
- 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.
- JANIN G., GONCALEZ J., ANANÍAS R., CHARRIER B., DA SILVA G.F., DILEM A., 2001. Aesthetics appreciation of wood colour and patterns by colorimetry. Part 1. Colorimetry theory for the CIELab system. Maderas. Ciencia y tecnología 3 (1-2), 3-13.
- 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.
- LORÅS 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.
- LUOSTARINEN K., LUOSTARINEN J., 2001. Discolouration and deformations of birch parquet boards during conventional drying. Wood Science and Technology 35, 517-528.
- MCDONALD A.G., FERNÁNDEZ M., KREBER B., LAYTNER F., 2000. The chemical nature of kiln brown stain in radiata pine. Holzforschung 54 (1), 12-22.
- MORI C.L.S.de O., MORI F.A., LIMA J.T., TRUGILHO P.F., OLIVEIRA A.C., 2004. Influência das características tecnológicas na cor da madeira de eucaliptos. Ciência Florestal 14 (2), 123-132.
- NISHINO Y., JANIN G., YAMUDA Y., KITANO D., 2000. Relations between colorimetric values and densities of sapwood. Journal of Wood Science 46, 267-272.
- 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.
- SEIFERT K., 1956. New method for rapid determination of pure cellulose. Papier 10 (13/14), 301-306.
- SCURFIELD G., 1976. Structural features of hardwoods and their influence on paper properties. TAPPI Journal 59 (7), 110-113.
- SOTELO MONTES C., HERNÁNDEZ R.E., BEAULIEU J., WEBER J.C., 2008. Genetic variation in wood color and its correlations with tree growth and wood density of *Calyptophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. New Forests 35, 57-73.
- UNSAL O., KORKUT S., ATIK C., 2003. The effect of heat treatment on some properties and colour in eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) wood. Maderas. Ciencia y tecnología 5 (2), 145-152.
- VILLEGAS M.S., AREA M.C., MARLATS R.M., 2008. Caracterización de la madera de *Salix*.1: Influencia del sitio, clon, edad y altura de muestreo. Enviado a Invest.. Agrar.: Sist. Rec. For.