La madera de *Casuarina equisetifolia* L., química e índices de calidad de pulpa

Julio César Villaseñor Araiza¹
José Guadalupe Rutiaga Quiñones¹

RESUMEN

En la albura y duramen de la madera de *Casuarina equisetifolia* L. se determinó, de acuerdo con la metodología de las Normas ASTM, el contenido de holocelulosa, alfa-celulosa, lignina, cenizas y sustancias extraíbles en agua fría, en agua caliente y en etanol-benceno. El duramen de la madera de casuarina presentó mayor cantidad de alfa-celulosa, cenizas y sustancias extraíbles que la albura. Los contenidos de lignina y holocelulosa son similares en ambas muestras.

Se preparó material disociado por el método rápido con una mezcla de ácido nítrico, ácido acético glacial, ácido láctico y glicerina en partes iguales. Las dimensiones de las fibras se midieron en el material disociado en un microscopio óptico y con los datos obtenidos se calcularon los coeficientes de rigidez, flexibilidad, de Peteri y la relación de Runkel. Las fibras de la madera de casuarina son de pared gruesa y, de acuerdo con los índices de calidad de pulpa para papel, se clasifican como regulares para papel, con un grado de calidad IV.

PALABRAS CLAVE:

Casuarina equisetifolia, composición química de la madera, pulpa y papel, índices de calidad de pulpa, relación de Runkel.

ABSTRACT

The content of holocellulose, alfa-cellulose, lignin, ash, and extractives in cold water, hot water and ethanol-benzene was determined in sapwood and heartwood of *Casuarina equisetifolia* L. according to ASTM standards. The heartwood of casuarina wood has a greater alfa-cellulose, ash and extractives content than does its sapwood. The contents of lignin and holocellulose are similar in both samples.

Fibrous material was prepared by the rapid method with a mixture of nitric acid, acetic acid, lactic acid and glycerine in equal parts. The fibers in this material were measured with a microscope and with the obtained data the indices for stiffness, flexibility, Peteri coefficient and Runkel ratio were calculated. The fibers of casuarina wood have a thick wall cell and according to the pulp index quality they are classified as regular for paper, with a IV quality grade.

KEY WORDS:

Casuarina equisetifolia, chemical composition of wood, pulp and paper, pulp index quality, Runkel ratio.

1 Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Apartado Postal 2-27. Morelia, Michoacán, 58041 México.
Manuscrito recibido el 7 de enero de 1999. Aceptado el 3 de diciembre de 1999

INTRODUCCIÓN

Debido a la demanda creciente de papel con propiedades especiales es necesario emplear también pulpas con características especiales. Aunque las propiedades de las pulpas no son los únicos factores que afectan la calidad del producto terminado, es importante que las pulpas a utilizar sean especiales para cada tipo de papel y para cada fábrica en particular (Mayer, 1963). Para la utilización comercial de las maderas en la producción de pulpa para papel es necesario conocer las características técnicas de ellas y en este sentido se han buscado indicadores confiables para clasificar la calidad de las pulpas y su influencia en el producto terminado, el papel.

Entre las características a tomar en cuenta se encuentran las propiedades físicas y químicas de las maderas, las características de sus fibras, sin olvidar también el proceso de pulpeo y los tratamientos a los que se somete la pulpa celulósica en la industria misma. Tomando en cuenta las características morfológicas de las fibras, se han determinado índices o coeficientes que relacionan las dimensiones de las fibras, que tienen influencia en las propiedades de la pulpa, como por ejemplo la densidad, resistencia al paso del aire, resistencia a la tensión e índice de rasgado y en las propiedades generales de impresión (Tomolang y Wangaard, 1961). Estos coeficientes son conocidos como índices de calidad de pulpa para papel y son una gran ayuda para conocer el comportamiento o calidad de la pulpa celulósica al fabricar papel. A continuación se comentan trabajos desarrollados en este sentido.

La FAO (1953) menciona que las dimensiones de las fibras afectan significativamente las propiedades del papel, sobre todo la relación longitud/diámetro, en que un valor alto representa una alta resistencia al rasgado.

La relación del diámetro del lumen con el diámetro de la fibra determina la flexibilidad.

La morfología de las fibras reviste singular importancia en la estructura y propiedades del papel, por ejemplo, las fibras de paredes delgadas tienden a colapsarse fácilmente formando listones que contribuyen a que el papel sea resistente (Berwyn, 1970; Sánchez, 1971); de ahí la importancia de las características físicas y morfológicas y las relaciones de las dimensiones de las fibras con las propiedades del papel.

Rodríguez (1970) plantea que la resistencia a la tensión aumenta proporcionalmente a la raíz cuadrada de la longitud media de la fibra; mientras que la resistencia al rasgado, se incrementa en forma proporcional a la raíz cuadrada del cubo de la longitud media de la fibra; que la resistencia a la explosión, aunque esencialmente depende del enlazamiento de las fibras, también está relacionada con la longitud media; y que la porosidad guarda relación directa con la longitud media de las fibras.

Huerta y Corral (1975) determinaron los índices de calidad de pulpa para papel en pulpas de coníferas, basándose en un estudio anatómico de las fibras.

Larios *et al.* (1979) determinaron las dimensiones de las traqueidas de la madera de *Pinus hartwegii* y de *Abies religiosa*. Con base en estos datos calcularon los índices de calidad de pulpas para papel, reportando que ambas especies se clasifican como regulares.

Fuentes (1987) estudió la madera de *Pinus montezumae* determinando las dimensiones de las traqueidas y con ellas calculó los índices de calidad de pulpa para papel. Posteriormente obtuvo pulpa *Kraft* de la misma madera, determinando igualmente, los índices de calidad, clasificando a la madera como buena para

papel, no encontrando alteraciones por el efecto del proceso de pulpeo Kraft.

Entre los trabajos relacionados con la madera de casuarina se encuentran el del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (1984) de Costa Rica, consistente en un estudio, que abarca aspectos anatómicos, requerimientos ecológicos, plagas y enfermedades, reproducción y rendimiento. Tamarit (1996), con base en un estudio bibliográfico de datos anatómicos, clasifica a las fibras de la casuarina como buenas para papel.

OBJETIVOS

El presente trabajo sobre la *Casuarina equisetifolia* L., especie originaria de Australia que crece en muchas regiones de México y aparentemente es de rápido crecimiento, tiene como objetivos conocer la composición química general de su madera, determinar las dimensiones de sus fibras (longitud, diámetro, diámetro del lumen y grosor de su pared celular) y con ellas, calcular los coeficientes de rigidez, de flexibilidad, de Peteri y la relación de Runkel.

METODOLOGÍA

Recolección del material de estudio. El árbol de casuarina fue recolectado en el poblado de San Pedro de los Sauces del Municipio de Tarímbaro, Michoacán, México. Los ejemplares botánicos fueron identificadas por el Biólogo M. en C. Xavier Madrigal Sánchez y quedaron depositadas en el Herbario de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. El árbol presentó un diámetro de 40 cm a 1.3 m de altura (dap) y una altura total de 18 m.

Análisis químico. Del árbol derribado se obtuvo una rodaja de 30 cm a la altura de 1.3 m de la base del fuste, de la que se

separaron piezas representativas de albura y duramen. Este material se preparó para realizar, por triplicado, el análisis químico de acuerdo con las técnicas de la ASTM (1981), determinando los contenidos de holocelulosa, " -celulosa, lignina, sustancias extraíbles (en etanol-benceno, agua fría y en agua caliente) y las sustancias inorgánicas (cenizas). Las cenizas fueron analizadas mediante fluorescencia de Rayos X en un equipo Philips PW 1410 bajo las siguientes condiciones de operación: velocidad del papel 2.0 cm/min, 30 mA, 50 kV, rango 1×10^{-4} , cristal Li200 y tubo de cromo.

Dimensiones de las fibras e índices de calidad. De otra rodaja de 5 cm, obtenida a 1.0 m de la base del árbol derribado, se obtuvieron cubos en la dirección de los cuatro puntos cardinales, a 5 cm de la corteza interna en dirección a la médula, con los que se preparó material disociado mediante el proceso rápido con una mezcla de ácido nítrico, ácido acético glacial, ácido láctico y glicerina en partes iguales. El material disociado fue teñido con verde yodo y las preparaciones fijas se montaron con resina sintética. Se midieron cincuenta fibras en la dirección de cada punto cardinal en un microscopio óptico y los datos fueron analizados con un nivel de confianza estadística del 95 %, es decir, con un nivel de significancia de 0.05. Posteriormente se calcularon los índices de calidad de pulpa mediante las siguientes relaciones (Dadswell *et al.*, 1959):

$$CR = \frac{2W}{D} \quad (1)$$

$$CF = \frac{l}{D} \quad (2)$$

$$IE = \frac{L}{D} \quad (3)$$

$$RR = \frac{2W}{I} \quad (4)$$

donde:

CR = índice o coeficiente de rigidez
 W = grosor de la pared de la fibra
 D = diámetro de la fibra
 CF = coeficiente de flexibilidad
 I = diámetro del lumen
 IE = índice de esbeltez o coeficiente de Peteri
 L = longitud de la fibra
 RR = relación de Runkel

La clasificación de los índices de calidad de pulpa para papel de la madera de casuarina se hizo con base a la clasificación de Runkel presentada por Petroff y Nordmand (1968) y por Porres y Valladares (1979), (Tablas 1, 2 y 3).

RESULTADOS

Análisis químico. En la Tabla 4 se presentan los valores promedio (prom) y

desviación estándar (s) de los resultados del análisis químico de la albura y del duramen de la madera de casuarina.

Mediante el análisis de fluorescencia de Rayos X se detectaron en la albura los elementos químicos Fe, Cu y trazas de Fr, U, At, Pt, Re, Er y Tb, y en el duramen Ba, Fe y trazas de Fr, U, At, Pt, W, Re, Er y Tb.

Dimensiones de las fibras e índices de calidad de pulpa. En las figuras 1, 2, 3 y 4 se presentan los resultados de las dimensiones de las fibras de las piezas de los cuatro puntos cardinales. En las Tablas 5, 6, 7 y 8 se dan los promedios (prom), desviaciones estándar (s) y los coeficientes de variación (cv) para las dimensiones de las fibras de las cuatro zonas de muestreo de la rodaja de estudio. En la Tabla 9 se resumen las dimensiones promedio de las fibras de la madera de casuarina. Los índices de calidad de pulpa para papel calculados con las dimensiones por zona de muestreo se presentan en la Tabla 10.

Tabla 1. Clasificación del coeficiente de rigidez

RANGO	GROSOR DE LA PARED
mayor de 0.70	Muy gruesa
de 0.70 a 0.50	Gruesa
de 0.50 a 0.35	Media
de 0.35 a 0.20	Delgada
menor de 0.20	Muy delgada

Tabla 2. Clasificación de Runkel

GRADO	RANGO	CLASIFICACION
I	menor de 0.25	Excelente
II	de 0.25 a 0.50	Muy buena
III	de 0.50 a 1.00	Buena
IV	de 1.00 a 2.00	Regular
V	mayor de 2.00	Mala

Tabla 3. Clasificación del coeficiente de flexibilidad

RANGO	GROSOR DE PARED	CARACTERÍSTICAS
menor de 0.30	Muy gruesa	Las fibras no se colapsan. Muy poca superficie de contacto. Pobre unión fibra-fibra.
de 0.30 a 0.50	Gruesa	Las fibras se colapsan muy poco. Poca superficie de contacto. Poca unión fibra-fibra.
de 0.50 a 0.65	Media	Abarca lo anterior.
de 0.65 a 0.80	Delgada	Fibras parcialmente colapsadas, con una sección transversal elíptica. Buena superficie de contacto. Buena unión fibra-fibra.
mayor de 0.80	Muy delgada	Las fibras se colapsan. Buena superficie de contacto. Buena unión fibra-fibra.

Tabla 4. Composición química de la madera de *C. equisetifolia*

COMPONENTES	ALBURA (%)		DURAMEN (%)	
	prom	s	prom	s
Holocelulosa	63.6	0.3	62.5	0.5
" -Celulosa	36.0	0.9	46.9	0.6
Lignina	35.9	0.2	37.9	0.5
Extraíbles				
etanol-benceno	14.6	0.2	19.6	0.2
agua fría	3.6	0.1	11.9	0.3
agua caliente	5.9	0.2	15.3	0.2
Inorgánicos	0.5	0.02	1.5	0.05

DISCUSIÓN

Análisis químico. Los resultados presentados en la Tabla 4 indican que el duramen contiene, en general, mayor porcentaje de componentes químicos que la albura, lo que concuerda con datos bibliográficos (Hillis, 1987), sobre todo de extraíbles en agua y en etanol-benceno, aunque esto no siempre es el caso, ya que por ejemplo, se ha encontrado que la albura

de *Q. laurina* contiene mayor cantidad de extraíbles que el duramen (Rutiaga *et al.*, 1999). La alta cantidad de sustancias extraíbles presentes en la madera de casuarina pudiera ser una desventaja en los procesos de pulpeo, ya que ciertos extractos producen amarillamiento en pulpas (Fengel y Wegener, 1984). Las sustancias fenólicas interfieren en las reacciones de pulpeo, sobre todo si son del tipo *m*-hidroxi derivados; algunas forman

Figura 1. Comparación de la longitud de las fibras en los puntos de muestreo.

Figura 2. Comparación del diámetro de las fibras en los puntos de muestreo.

Figura 3. Comparación del diámetro del lumen en los puntos de muestreo.

Figura 4. Comparación del espesor de pared celular de las fibras en los puntos de muestreo.

Tabla 5. Longitud de las fibras

ZONA DE MUESTREO	PARÁMETROS	LONGITUD DE FIBRAS (micras)	DIÁMETRO DE FIBRAS (micras)	DIÁMETRO DE LUMEN (micras)	ESPESOR DE PARED CELULAR (micras)
Norte	prom	1302.0	16.3	7.8	4.3
	s	231.1	3.1	2.6	1.3
	cv	17.7	19.2	33	29.4
Sur	prom	1273.3	14.8	7.3	3.7
	s	178.2	3.3	2.4	1.4
	cv	14.0	22.6	33.1	36.9
Este	prom	1253.1	16.4	7.7	4.3
	s	172.0	3.3	2.7	1.5
	cv	13.7	20.4	35.1	35
Oeste	prom	1233.1	16.9	8.5	4.4
	s	160.2	4.1	3.1	1.4
	cv	13.0	24.1	36.8	33

Tabla 6. Dimensiones de las fibras

CARACTERÍSTICAS	VALOR PROMEDIO (micras)
Fibras	
Longitud	1265.4
diámetro	16.2
lumen	7.8
espesor de pared	4.2

Tabla 7. Índices de calidad de pulpa de las fibras de madera de *Casuarina equisetifolia* L.

ÍNDICES	ZONA DE MUESTREO			
	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
Rigidez	0.53	0.50	0.52	0.52
Flexibilidad	0.48	0.49	0.47	0.50
Peteri	79.9	86.0	76.4	72.9
Runkel	1.10	1.01	1.12	1.04

complejos con el hierro, pudiendo provocar corrosión en los digestores durante el cocimiento (Libby, 1980). El contenido de cenizas en el duramen (1.5 %) es ligeramente más alto que los valores en la literatura para maderas latifoliadas de zonas templadas (Cutter *et al.*, 1980; Fengel y Wegener, 1984). La composición química de las cenizas de esta madera es poco común; elementos como el Ca, K, Mg, Ba, Fe y Cu son frecuentes y las tierras raras pocas veces se presentan, para los cuales el método de análisis es importante. Sin embargo, algunos de los elementos químicos aquí detectados, también fueron encontrados, mediante este mismo método, en el duramen de las maderas *Dalbergia granadillo* (por ej.: Ba, Fe, Er) y *Platymiscium lasiocarpum* (por ej.: Ba, Cu, Er, At) (Rutiaga y García, 1998). En madera de *Picea rubens*, fueron detectados, mediante el análisis de activación de neutrones, entre otros, Cu, Er, Ba, Fe (Young y Guinn, 1966). Es conocido que algunos compuestos inorgánicos, por ejemplo el oxalato de calcio, alteran las herramientas de corte al trabajar la madera, este elemento y el silicio no fueron detectados en este análisis, por lo que se esperaba no contar con estos problemas. Por otro lado, las sustancias inorgánicas de la madera tienen un significado relevante en cuanto al estudio nutricional, en la relación planta-suelo, en el efecto del crecimiento de organismos destructores, así como en la resistencia al ataque de insectos y barrenadores marinos (Browning, 1967). En términos generales, la composición porcentual es comparable con los datos presentados en la literatura para maderas latifoliadas (Fengel y Wegener, 1984; Hillis, 1987).

Dimensiones de las fibras e índices de calidad de pulpa.

Longitud de las fibras. La longitud de las fibras presentó mayor variabilidad en el punto norte de la rodaja de estudio como lo muestra la figura 1, con un coeficiente de variación de 17.7 % (Tabla 5). La menor variabilidad correspondió a la zona oeste

(13.0 %). Sin embargo, al nivel de significancia estadística con que se analizaron los datos no hay diferencia estadística entre las cuatro zonas de muestreo. Así, el valor promedio de la longitud de las fibras de los cuatro puntos cardinales fue de 1265.4 micras. La longitud de las fibras es importante en las propiedades de resistencia del papel, ya que por ejemplo la resistencia al rasgado de una hoja de papel se determina casi totalmente por el largo de sus fibras, según J. d' A. Clark, citado por Young (1991), guardando esta resistencia una correlación lineal con la longitud de las fibras (Sánchez, 1971; Young, 1991); la resistencia al doblez también se incrementa al aumentar la longitud de las fibras (Robinson, 1991). Otro aspecto importante es la superficie dispuesta para la unión entre fibras, donde la resistencia a la tensión aumenta al aumentar el área de contacto entre ellas (Swanson y Steber, 1959; Young, 1991). Los factores que influyen en la unión fibra-fibra son las propias características físicas y químicas de las fibras, que a su vez son consecuencia de las propiedades de la especie forestal, además de los procesos de pulpeo y de blanqueo de la pulpa. Esta unión también se ve influida por los tratamientos que recibe la pulpa, como la refinación, prensado en húmedo y el calandrado en la máquina de papel (Robinson, 1991).

Diámetro de las fibras y diámetro del lumen.

En cuanto al diámetro de las fibras, como puede observarse en la figura 2, la variabilidad es muy semejante en los cuatro puntos cardinales, donde la mayor correspondió a la zona oeste con un coeficiente de variación del 24.1 %, como lo señala la Tabla 5, y la menor al lado norte con 19.2 % de coeficiente de variación. Para este caso, también, al nivel de significancia fijado, el diámetro de las fibras es estadísticamente igual en los cuatro puntos cardinales, de manera que la media aritmética del diámetro de las fibras en las cuatro zonas fue de 16.2 micras.

Los resultados para el diámetro del lumen son muy similares al caso del diámetro de las fibras en los que la variabilidad es muy semejante en los cuatro puntos. Para este caso tampoco se encontró diferencia estadística, de manera que la media aritmética para el diámetro del lumen en los cuatro puntos cardinales fue de 7.8 micras. Los diámetros de las fibras juegan un papel importante en la rigidez, flexibilidad y área de contacto entre ellas. Estos aspectos se reflejan en la formación de la hoja de papel, así como en su resistencia y textura; ello debido a que los elementos de paredes gruesas se mantienen casi en forma tubular, siendo menos flexibles además de propiciar una menor área de contacto. Con las fibras de paredes, sucede lo contrario, ya que son más flexibles y se comportan como listones, generando una mayor área de unión entre ellas, dando como resultado un papel más resistente (Tomolang y Wangaard, 1961; Wangard, 1962; Petroff y Nordman, 1968; Berwyn, 1970; Sánchez, 1971; Young, 1991).

Grosor de pared celular. La figura 4 presenta los resultados de los espesores de la pared celular de las muestras tomadas de las cuatro zonas de muestreo y se observa que la mayor variabilidad correspondió al punto sur, con un coeficiente de variación del 36.9 % y la menor al lado norte con un coeficiente de variación del 29.4 %. Aquí también, de acuerdo con la confianza estadística con que se analizaron los datos, no hay diferencia estadística del grosor de pared celular en las cuatro zonas de muestreo. Así, el valor promedio del grosor de la pared celular de los cuatro puntos cardinales fue de 4.2 micras. El grosor de la pared celular es otra característica de suma importancia, ya que fibras con paredes delgadas tienden a colapsarse más fácilmente formando listones al producirse el papel. Por otro lado, las fibras de paredes gruesas por no colapsarse fácilmente, promueven poca superficie de contacto y por lo tanto crean una unión débil, de modo que el papel formado así es voluminoso, de

baja resistencia a la tensión, explosión y rasgado (Berwyn, 1970).

La variación en las dimensiones de las fibras de la casuarina y por ende en sus índices de calidad de pulpa, aunque estadísticamente es no significativa, pudiera deberse a que la pieza de madera contenía madera de reacción; o bien a las características propias de la madera, que como material biológico, exhibe variación en sus características. Por ejemplo: en las dimensiones de las "fibras" de una especie a otra, de un árbol a otro de la misma especie e inclusive dentro del mismo árbol (Esau, 1976), o a factores como cantidad de luz, humedad, sequía, disponibilidad de auxinas.

Coeficiente de rigidez (2W/D). Con los coeficientes de rigidez presentados en la Tabla 7 y tomando en consideración la clasificación de la Tabla 1, las fibras de la casuarina se clasifican como *gruesas*: fibras que se colapsan muy poco generando poca superficie de contacto y por lo tanto poca unión entre ellas (Tabla 3).

Coeficiente de flexibilidad (I/D). Con los valores calculados del coeficiente de flexibilidad (Tabla 7) y de acuerdo con la clasificación de la Tabla 3, las fibras de la casuarina se clasifican como *gruesas*. El coeficiente de flexibilidad guarda una relación parabólica con la longitud de rompimiento y al ser el coeficiente más alto, la resistencia a la tensión será mayor, y la resistencia al rasgado y al doblez en pulpa sin refinar se verán favorecidas por el incremento del coeficiente de flexibilidad (Tomolang y Wangaard, 1961).

Coeficiente de Peteri (L/D). Los coeficientes presentados en la Tabla 7 son los que tienen mayor significancia sobre los efectos en las propiedades de resistencia de la pulpa, más aún que la longitud de la fibra por sí sola, ya que tiene relación con la resistencia al rasgado en pulpas sin refinar, aumentando el largo de ruptura de la hoja (Tomolang y Wangaard, 1961). Con el

índice de esbeltez aquí encontrado, y apoyado esto con los otros índices de calidad de pulpa, se esperaría que la pulpa obtenida a partir de esta madera fuese de regular calidad, ya que como se mencionó, una pared celular gruesa genera poca superficie de contacto y por ende una unión no resistente. Sin embargo, es importante también mencionar que la calidad de la pulpa se ve influenciada por el proceso de pulpeo, de blanqueo (si es el caso) y por otros tratamientos a los que es sometida (Robinson, 1991).

Relación de Runkel (2W/I). Con estas relaciones, presentadas en la Tabla 7, y de acuerdo con la clasificación de la Tabla 2, las fibras de la madera de casuarina son clasificadas como *regulares* para papel, con un grado de calidad IV.

CONCLUSIONES

El duramen de la madera de casuarina contiene, aunque no siempre, mayor cantidad de sustancias extraíbles y cenizas que la albura. En las cenizas de la albura se detectaron 9 elementos químicos y 10 en las del duramen. Se encontró que los elementos químicos no comunes en albura y duramen fueron el Cu, Ba y W. De acuerdo con el nivel de confianza estadística con que se analizaron los datos, no se encontró diferencia estadística en las dimensiones de las fibras en las probetas de los cuatro puntos cardinales. Las fibras de la madera de casuarina son de pared celular *gruesa*, y de acuerdo con los índices de calidad, se clasifican como *regulares* para papel, con un grado de calidad IV.

REFERENCIAS

American Society for Testing y Materials. 1981. ASTM Standards. Part 22 Wood; adhesives. Philadelphia. 1192 p.

Berwyn, B. T. 1970. Pulp properties. In: Kenneth W. Britt. Handbook of pulp

and paper technology. Van Nostrand Reinhold Company. Nueva York. Cap. 3-9. p:225-262.

Browning, B.L. 1967. Methods of wood chemistry. I. John Wiley. Wisconsin. 384 p.

Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanza (CATIE). 1984. Especies para leña, arbustos y árboles para la producción de energía. Turrialba, Costa Rica. 343 p

Cutter, B.E., E.A. McGuinness y D.H. McKown. 1980. Inorganic concentrations in selected woods and charcoals. Wood and Fiber 12: 72-79.

Dadswell, H.E., A.J. Watson y J.W. Nicholls. 1959. What are the wood properties required by the paper industry in the trees of the future?. Tappi 42(7): 521-526.

Esau, K. 1976. Anatomía vegetal. Ed. Omega. Barcelona. 779 p.

FAO. 1953. Raw materials for more paper. Forestry and Forest Products. Study 6. 171 p.

Fengel, D. y G. Wegener. 1984. Wood - chemistry, ultrastructure, reactions. Walter de Gruyter. Berlin. 613 p.

Fuentes S., M. 1987. Efecto de la digestión en los índices de calidad de pulpa para papel, de la madera de *Pinus montezumae* Lamb. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 73 p.

Hillis, W.E. 1987. Heartwood and tree exudates. Springer-Verlag. Berlin. 268 p.

Huerta C., J. y G. Corral L. 1975. Características tecnológicas de las

- pulpas de 10 coníferas. VI Congreso Mexicano de Botánica. Xalapa, México. 10 p.
- Larios S., S.P., J. Huerta C. y C.H. Ramos A. 1979. Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel en Zoquiapan, Méx. Chapingo, Nueva Época, No. 20, Nov.-Dic. 3-8.
- Libby, C.E. 1980. Ciencia y tecnología sobre la pulpa y papel. I. Pulpa. CECSA. México. 534 p.
- Mayer, R.M. 1963. Papeles especiales requieren pulpas especiales. ATCP III(4): 279-284.
- Petroff, G. y D. Normand. 1968. The correlation between the physical and mechanical properties of paper, and dimensional characteristics of paper, from tropical hardwoods. Pulp and paper development in Africa and the Near East. FAO I: 269-287.
- Porres, C. y J. Valladares. 1979. Producción de pulpa y papel con materias primas autóctonas centroamericanas. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. Guatemala. 72 p.
- Robinson, J.V. 1991. Unión de las fibras. *In*: James P. Casey. Pulpa y papel: química y tecnología química. LIMUSA. México. vol. II, cap. 7. p: 137-195.
- Rodríguez J., J. 1970. Los controles en la fabricación del papel. Blume. Madrid. 359 p.
- Rutiaga Q., J.G. y J. García D. 1998. Elementos químicos en el duramen de dos maderas tropicales. (En prensa).
- Rutiaga Q., J.G., E. Windeisen, P. Schumacher y G. Wegener. 1999. Antifungal effect of extracts from *Quercus laurina* Humb. Et Bonpl. Research Trends, India. (En prensa).
- Sánchez E., A. 1971. Características de las diferentes pulpas y su influencia en las propiedades del papel. ATCP XI(1): 26-34.
- Swanson, J.W. y A.J. Steber. 1959. Fiber surface area and bonded area. Tappi 42(12): 986-994.
- Tamarit U., J.C. 1996. Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas. Madera y Bosques 2(2): 29-41.
- Tomolang, F.N. y F.F. Wangaard. 1961. Relationships between hardwood fiber characteristics and pulp properties. Tappi 44(3): 201-216
- Wangaard, F.F. 1962. Contributions of hardwoods fibers to the properties of Kraft pulps. Tappi 45(7): 548-556
- Young, H.E. y V.P. Guinn. 1966. Chemical elements in complete mature trees of seven species in Maine. Tappi 49(5): 190-197.
- Young, J.H. 1991. Preparación de la fibra y flujo de alimentación de pasta. *In*: James P. Casey. Pulpa y papel química y tecnología química. LIMUSA. México. vol. II, cap. 6. p: 25-136.