

Avances sobre el efecto del catalizador en el fraguado de ureaformaldehído en tableros de teпа

Advances on the effect of catalyst on the cure process of ureaformaldehyde in teпа boards

C.D.O.: 862.2

HERNAN POBLETE W.¹, ANIBAL PINTO S.²

¹Instituto de Tecnología de Productos Forestales, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

²Forestal Tornagaleones, Chumpullo s/n, Valdivia, Chile.

SUMMARY

Due to some basic characteristics like wood acidity and density, teпа (*Laurelia philippiana* Looser) is not considered suitable for particleboard production with ureaformaldehyde as adhesive. In this study the unfavourable hardening environment for ureaformaldehyde was modified correcting the pH-value, increasing the amount of catalyst (NH₄Cl). Ammonium chloride (20% solution) was applied in six different levels: 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0 percent based solid weight of resin. The pH-value and gel-time of the adhesive was reduced by increasing the amount of ammonium chloride. Increased catalyst level also significantly reduced the formaldehyde release of the boards.

RESUMEN

La madera de teпа (*Laurelia philippiana* Looser) presenta algunas características, como su baja densidad y su valor de pH, que resultan negativas en la fabricación de tableros de partículas con ureaformaldehído. En el presente estudio se corrigió el ambiente desfavorable para el fraguado, aumentando la cantidad de catalizador (NH₄Cl). El cloruro de amonio (en solución al 20%) fue agregado en seis niveles diferentes: 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 y 3.0 (base resina sólida) y un testigo sin catalizador. Los resultados indican que al aumentar el nivel de catalizador se reduce el valor de pH y el tiempo de gelificación. La emanación de formaldehído también se vio significativamente disminuida al aumentar el contenido de catalizador.

INTRODUCCION

La madera de teпа se presenta como una materia prima que al ser utilizada para la producción de tableros de partículas con ureaformaldehído no da buenos resultados (Poblete, 1986; Poblete y Peredo, 1990).

Poblete y Peredo (1990) concuerdan con Poblete (1986) en que al procesar teпа, debido a que su madera es de baja densidad, debe ser sometida a compresiones muy altas para alcanzar las densidades y espesores deseados de tablero.

Otra desventaja de la baja densidad de teпа es que se reduce la cantidad de resina disponible por unidad de superficie, ya que a menor densidad aumenta la superficie interna del material (Poblete y Peredo, 1990).

Por último, la madera de teпа presenta un grado de acidez que es desfavorable para el fraguado de la ureaformaldehído. Al respecto, son pocos los estudios que hacen referencia explícita a la acidez de teпа. Poblete *et al.* (1991) midieron el valor de pH en madera de teпа con y sin mancha, y con tres contenidos diferentes de humedad. En estado húmedo, secada a 40°C y secada a 103°C, observándose diferencias importantes. La madera sin mancha posee un pH más ácido (6.68 - 5.73) que la madera manchada (7.35 - 7.14).

Poblete y Zarate (1986) indican que las reacciones químicas que ocurren durante el fraguado de los adhesivos siguen su curso óptimo con un determinado rango de pH, y este rango es específico para cada adhesivo. Estos autores señalan que la ureaformaldehído requiere de un pH entre 3 y

3.5. Con estos valores de pH resulta evidente que la madera de tepa no es adecuada para ser tratada con ureaformaldehído.

Son varios los investigadores que señalan que en la fabricación de tableros de partículas se requiere de un pH específico (Parameswaran, 1974), el que normalmente debe ser ajustado agregando al adhesivo sustancias catalizadoras (Poblete y Zarate, 1986).

La adición de catalizadores y retardantes puede ser la solución a los problemas de fraguado que la acidez de la madera provoca al adhesivo, ya que estos productos reaccionan con el agua durante el prensado, liberando compuestos que determinan el ambiente de pH en que fraguará el adhesivo (Poblete, 1983).

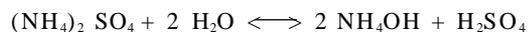
Para el caso de la ureaformaldehído se utilizan como catalizadores el cloruro de amonio (NH_4Cl) o el sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$). El primero genera durante la reacción ácido clorhídrico (HCl) y el segundo libera ácido sulfúrico (H_2SO_4). Ambos ácidos reducen el valor pH del ambiente en que fragua el adhesivo.

Las reacciones de descomposición de los catalizadores que ocurren durante el prensado son las siguientes, según Poblete y Roffael (1985):

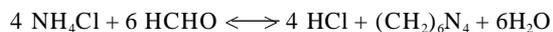
1.- Cloruro de amonio



2.- Sulfato de amonio



Además, el cloruro de amonio puede reaccionar con el formaldehído, liberando ácido clorhídrico, agua y hexametilnotetramina.



En general, la literatura revisada indica que el catalizador tiene un efecto importante sobre las propiedades de los tableros. Este efecto se debe a la acción que el aditivo tiene sobre el fraguado del adhesivo. La magnitud de los cambios en las propiedades depende del valor de pH de la especie.

Entre los cambios interesantes se cita la reducción en la emanación de formaldehído.

El nivel de formaldehído liberado depende de una combinación de factores, como el tipo de materia prima, adhesivo, tipo y cantidad de

catalizador y una serie de variables de elaboración de los tableros de partículas (Roffael, 1982; Sánchez y Poblete, 1990).

El tipo y cantidad de catalizador usado en la formulación del adhesivo tiene un efecto en la emisión de formaldehído. Así lo demuestran Roffael, Rauch y Bismarck (1975), quienes a través del método WKI determinaron el efecto al aumentar el nivel de catalizador, cloruro de amonio, en la emanación de formaldehído. Para ello utilizaron dos especies de valor de pH distinto, encontrando que la emanación de formaldehído se reduce al incluir catalizador en la preparación del adhesivo.

En relación al tipo de catalizador, Ginzel (1973) comparó siete diferentes catalizadores usados para el fraguado de la ureaformaldehído, determinando que cloruro de amonio es el que más reduce la emanación de formaldehído.

Observaciones similares realizaron Petersen *et al.* (1974), quienes encontraron que el cloruro de amonio es más efectivo que el cloruro de magnesio y el sulfato de aluminio en la reducción de la emanación de formaldehído de los tableros. Petersen *et al.* (1974) incrementaron el nivel del catalizador, desde el 0.5% hasta un máximo de 2.5%, y determinaron las emanaciones a través de tres métodos. Los resultados de los diferentes métodos muestran, aunque con valores distintos, la misma tendencia, una reducción de la emanación al aumentar el nivel de catalizador.

En un estudio similar Wittmann (1962) prueba cinco niveles de cloruro de amonio, de 0.5% hasta 2.5% (en relación al peso de la resina sólida), y determinó que para una misma temperatura y tiempo de prensado la emanación disminuye a medida que se aumenta el nivel de catalizador, excepto al inicio, cuando se aumenta desde 0.5% a 1%, donde la emanación aumenta. La emisión de formaldehído más baja se alcanzó con el nivel de catalizador mayor, es decir, 2.5%, el tiempo de prensado más largo (25 minutos) y con la menor temperatura de prensado (158°C).

MATERIAL Y METODO

Para la elaboración de los tableros se utilizó madera de tepa, libre de falso duramen, de árboles jóvenes recién cortados, cuya edad fluctuaba entre los 15 y 25 años.

El adhesivo utilizado fue ureaformaldehído,

aplicado en solución, en una concentración del 50% de sólidos.

El catalizador utilizado fue cloruro de amonio (NH_4Cl) en solución al 20%. El catalizador se aplicó en seis niveles distintos. Estos niveles equivalían a 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 y 3.0% del peso de resina sólida y además un testigo sin catalizador.

La madera descortezada se transformó en astillas en un astillador Klöckner, para luego ser viruteadas en un molino Pallman PZ-6. Las partículas de madera fueron tratadas en un secador Heraeus TU-h2. El material madera permaneció a una temperatura media de 50°C . De esta forma se redujo el contenido de humedad a un valor entre 4 y 8%.

En la fabricación de los tableros se empleó un factor de encolado del 8%.

Los tableros se confeccionaron de un espesor de 16 mm y de una sola capa, con partículas del tipo capa media. La densidad calculada fue 650 kg/m^3 .

El ciclo de prensado contempló una presión máxima 3.0 N/mm^2 , una presión media de 1.5 N/mm^2 y un tiempo total de prensado de siete minutos. La temperatura de prensado se mantuvo constante a 150°C .

Los seis niveles de catalizador y el testigo dieron origen a siete tipos de tableros. Para cada tipo se fabricaron cuatro repeticiones, por lo tanto se elaboraron un total de 28 tableros.

Durante la preparación de las materias primas, durante el fraguado y en los tableros se controlaron las propiedades que se describen a continuación:

Grado de acidez o valor de pH. El valor de pH de la madera fue determinado en una solución al 10% de partículas de madera en agua destilada. Esta mezcla se agitó a 200 rpm durante cuatro horas y se midió el valor de pH en los extractos con las partículas en suspensión. Esta determinación se llevó a cabo antes y después del secado.

Densidad. Se determinó en las astillas, con volumómetro y con una balanza de precisión.

Tamaño de las partículas. Para su determinación se siguió la metodología descrita por Poblete (1979).

Contenido de humedad. Este factor se determinó antes y después del secado de las partículas por el método de pérdida de peso.

Determinación de ácidos volátiles. Para intentar determinar el efecto del incremento en catalizador sobre la acidez del medio en que fra-

gua el adhesivo se realizó un ensayo de determinación de ácidos volátiles.

Para este ensayo se tomó una muestra de partículas encoladas con la solución de adhesivo y catalizador inmediatamente después del encolado. Luego se pesó 1 g de estas partículas en un vaso de papel aluminio y se introdujeron en un colador metálico. Este artefacto con las partículas se suspendió sobre 10 ml de agua destilada en un recipiente de acero inoxidable (capacidad 500 ml). El recipiente se cerró herméticamente y se mantuvo en estufa a una temperatura de 100°C durante 30 minutos. Luego de este tratamiento se dejó media hora en refrigeración, para condensar el vapor de agua producido. La determinación de la cantidad de ácido liberado se realizó por diferencias entre el valor de pH de la solución obtenida y el del agua destilada.

Determinación del tiempo de gelificación. Para realizar la determinación se tomaron muestras de 60 ml de cada formulación. Estas muestras fueron suspendidas en un baño de agua caliente, 50°C . Para obtener el tiempo de gelificación de las distintas formulaciones de adhesivo, es decir, ureaformaldehído y cloruro de amonio, se utilizó un equipo marca Techne.

Determinación de emanación de formaldehído: método WKI. Se determina en probetas de 25 mm • 25 mm. Estas probetas se suspenden en una botella de polietileno de 500 ml sobre 50 ml de agua destilada. Se cierra herméticamente y se mantiene en estufa a una temperatura de 40°C durante 48 horas. Luego se deja media hora en refrigeración para completar la absorción del formaldehído (HCHO) en el agua destilada. Finalmente se determina por yodometría la cantidad de formaldehído en el agua destilada.

La emisión de formaldehído se expresa sobre el peso seco del tablero, por lo que debe determinarse el contenido de humedad de las muestras.

RESULTADOS

CARACTERIZACION DE LA MADERA Y DEL ADHESIVO

Contenido de humedad y densidad de la madera. Las determinaciones del contenido de humedad y densidad de la madera utilizada se presentan en el cuadro 1.

Resulta conveniente recordar que la madera de tepa provenía de árboles jóvenes, con edades entre

CUADRO 1

Contenido de humedad y densidad básica de la madera de tepa.
Valores promedios, máximos, mínimos y desviación estándar (DE).
Moisture content and density of tepa wood. Average, maximum, minimum and standard deviation values.

Parámetro	Promedio	Max	Mín	DE
Contenido de humedad antes del secado (%)	132.5	167.0	98.0	48.790
Contenido de humedad después del secado (%)	3.5	4.0	3.0	0.707
Densidad básica (g/cm ³)	0.395	0.400	0.389	0.008

15 y 25 años. La madera fue cortada e inmediatamente astillada y viruteada, ello explica el alto contenido de humedad inicial (133%). Cabe hacer notar que al momento de fabricar los tableros las partículas tenían un contenido de humedad entre 4 y 5%.

En relación a la densidad de la madera, por tratarse de individuos jóvenes, se obtuvieron valores bajos (densidad básica de 0.395 g/cm³), que, aunque similares a los encontrados por Poblete y Peredo (1990), son notoriamente inferiores a los que aparecen en la literatura, 0.550 g/cm³ al 12% de humedad (Díaz-Vaz *et al.*, 1989).

Una densidad muy baja de la madera implica tener que incluir un mayor volumen de partículas y, por consiguiente, se provoca una reducción de la cantidad de resina disponible al tener el tablero una superficie interna mayor (Poblete y Peredo 1990).

Acidez de la madera. En el cuadro 2 se presentan los valores de variación del pH de la madera por el efecto del secado.

Los resultados muestran que al secar las partículas hubo una disminución del valor de pH de la madera, pero en una proporción menor a la esperada según lo que se menciona en la literatura (Packman, 1960; Albin, 1975; Poblete y Roffael 1985). Debe destacarse el amplio rango de variación del pH después del secado, con más de dos puntos de diferencia entre el valor máximo y el mínimo. De esta manera, si se observan los valores mínimos, antes y después del secado, la variación del pH es poco más de un punto, lo que resulta significativo, dada la escala logarítmica que posee la determinación del grado de acidez.

En general, los valores de pH registrados, antes y después del secado, concuerdan con el comportamiento señalado por Poblete (1983) y por Poblete y Roffael (1985), en el sentido de que la temperatura, aplicada durante el secado, reduce el valor de pH; esto se explicaría por la separación de los grupos acetilo de las hemicelulosas, y mejora levemente las condiciones para el fraguado del adhesivo.

CUADRO 2

Determinación del valor de pH de la madera antes y después del secado.
Valores promedios, máximos, mínimos y desviación estándar (DE).
pH-value of wood before and after drying. Average, maximum, minimum and standard deviation values.

Parámetro	Promedio	Máx	Mín	DE
pH antes del secado ¹	6.65	7.18	6.14	0.482
pH después del secado ²	6.41	7.71	5.13	1.240
pH del agua destilada	5.21	5.40	5.01	0.164

¹ pH medido a un contenido de humedad del 133%

² pH medido a un contenido de humedad del 4%

CUADRO 3

Dimensiones y coeficientes de esbeltez (CE.) de las partículas.
Particle dimensions and slendernes (CE.)

Rango de tamaño (mm)	Proporción (%)	Largo (mm)	Espesor (mm)	CE.
> 4.0	32.3	20.40	0.36	57.20
4.0 - 2.0	20.5	11.03	0.34	32.77
2.0 - 1.4	11.4	7.70	0.28	27.18
1.4 - 1.0	12.3	6.93	0.30	23.37
1.0 - 0.5	17.7	4.83	0.22	22.31
< 0.5	5.7	2.77	0.17	16.27
Promedio ponderado		11.60	0.30	36.07

Tamaño de partículas y adhesivo disponible. A través del análisis del tamaño de las partículas fue posible determinar el coeficiente de esbeltez ponderado. Estos resultados se presentan en el cuadro 3.

Debido a la baja densidad de la madera, el coeficiente de esbeltez ponderado (36.07) es inferior a lo citado como óptimo (60-120) por diferentes autores (Ginzel y Peraza 1966). Sin embargo, el coeficiente de esbeltez parece adecuado si se le compara con los obtenidos en otros estudios que utilizaron madera de tepa. Poblete y Peredo (1990) determinaron un coeficiente de 24.90.

El espesor ponderado de las partículas junto con la densidad de la madera tienen relación directa con la cantidad de adhesivo disponible por unidad de superficie. En este caso se calculó una cantidad de resina disponible de 4.74 g/m². Este valor resultó más bajo que el obtenido por Poblete y Peredo (1990), 12.39 g/m².

Características del adhesivo. La resina ureaformaldehído fue caracterizada a través de los parámetros que se presentan en el cuadro 4.

CUADRO 4

Caracterización del adhesivo
Adhesive characteristics.

Características del adhesivo		
PH	8.05	
Densidad	1.265	g/ml
Formaldehído libre	0.23	%
Porcentaje de sólidos	60.62	%
Curado (100°C)	87	seg
Viscosidad Brookfield	134.8	cps

EFFECTOS DEL NIVEL DEL CATALIZADOR

Tiempo de gelificación del adhesivo. Con el objeto de determinar el efecto del pH del ambiente sobre el adhesivo algunos autores recomiendan medir el tiempo de gelificación del adhesivo (Poblete y Zarate, 1986; Johns y Niazi, 1980).

Para caracterizar las diferentes mezclas de adhesivo y catalizador utilizadas en los tableros se midió el tiempo de gelificación, a 50°C, de cada mezcla del adhesivo con cloruro de amonio. Estos resultados se presentan en el cuadro 5.

Se encontró un alto grado de correlación (r = -0.95) entre el porcentaje de catalizador y el tiempo que demora el adhesivo en pasar del estado líquido al de gel.

Los tiempos de gelificación obtenidos muestran que el catalizador tiene un efecto importante en el fraguado de la ureaformaldehído. A través de este ensayo se demuestra que al aumentar la cantidad de catalizador, el tiempo de gelificación disminuye, debido a una mayor concentración de ácido clorhídrico generado por el catalizador. Paralelamente se controló el valor de pH de las mezclas, comprobándose que este valor desciende de 7.5 a 5.8.

De acuerdo con los tiempos de gelificación obtenidos a 50°C de temperatura, se requiere de una dosis pequeña de catalizador para acelerar significativamente el fraguado del adhesivo. Con cantidades de catalizador superiores a 2.5% la rapidez del fraguado no mejoró significativamente. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Kehr (1962) y Johns y Niazi (1980).

Considerando los resultados de la variación de pH en las partículas y los de la variación del tiem-

po de gelificación, el nivel 2.5% de catalizador se muestra como el más adecuado para la elaboración de tableros con la especie tepa.

Emisión de formaldehído. Aplicando el método WKI se determinaron los niveles de emisión de formaldehído (HCHO) de los diferentes tipos de tablero, valores que se presentan en el cuadro 5.

De acuerdo con los resultados del cuadro 5, la emisión de formaldehído en los tableros se vio reducida por el aumento de la cantidad de catalizador, lográndose la emisión más baja (51.68 mg de formaldehído por 100 g de tablero) con el nivel 3% de catalizador.

Al realizar un análisis de regresión para la emisión de formaldehído fue posible ajustar una ecuación en función del porcentaje de catalizador. Los resultados de este análisis se presentan a continuación:

$$\text{WKI} = 87.1270 - 12.5167 \cdot C$$

Donde:

r : - 0.9594

ES : 4.3005

WKI : Emisión de formaldehído (mg HCHO/100 g de tablero)

C : Nivel de catalizador (%)

r : Coeficiente de regresión

ES : Error estándar de la estimación

El alto coeficiente de regresión ($r = - 0.96$) está señalando una fuerte influencia del porcentaje de catalizador en la emanación de formaldehído.

La reducción del nivel de emisión por efecto del catalizador, y específicamente por el cloruro de amonio, ya había sido estudiada por Wittmann (1962); Petersen *et al.* (1974) y por Roffael, Rauch y Bismarck (1975), quienes encontraron una respuesta similar al agregar distintas cantidades de catalizador al adhesivo.

Si bien no existe una norma legal que permita controlar las emanaciones por medio de los resultados del método WKI, es posible comparar los valores de emisión con una tabla de exigencias para el método "Perforator". De acuerdo a esta clasificación, los tableros con un nivel de catalizador de 2% hasta 3% de cloruro de amonio requieren del recubrimiento de todas las superficies y de los cantos, a fin de reducir la emanación y permitir su utilización. Los tableros con niveles de catalizador inferiores al 2% no podrían ser comer-

cializados por registrar emanaciones superiores a los 60 mg HCHO/100 g de tablero.

La reducción en la emanación de formaldehído se debe a que la incorporación de catalizador, bajo las condiciones dadas de tiempo y temperatura, permite que el adhesivo fragüe, dejando cada vez menos formaldehído libre sin reaccionar e impidiendo que pueda emanar al exterior. Lo anterior se da por la tendencia a reaccionar que muestran el amoníaco y la urea con el formaldehído, según lo señala Wittmann (1962).

CUADRO 5

Determinación del tiempo de gelificación y emanación de formaldehído de la mezcla de adhesivo y catalizador
Formaldehyde release and gelation time of adhesive and catalyst mixtures

Catalizador (%)	Gelificación (min)	Formaldehído liberado mg HCHO/100 g de tablero
0.0	462.0 ¹	90.94
0.5	62.2	79.81
1.0	54.8	69.93
1.5	53.4	68.31
2.0	51.3	55.11
2.5	48.5	60.18
3.0	47.8	51.68

1 Esta formulación no gelificó, por lo que transcurrido este tiempo se detuvo el ensayo.

BIBLIOGRAFIA

- ALBIN, R. 1975. "Determinación del pH en diversas especies de los renovales de la provincia de Valdivia", *Bosque* 1(1): 3-5.
- DIAZ-VAZ, J.E., F. DEVLIEGER, H. POBLETE, R. JUACIDA. 1989. *Moderas Comerciales de Chile*. Colección Naturaleza de Chile. Vol .4. Marisa Cuneo Ediciones, Valdivia, 78 pp.
- GINZEL, W. 1973. "Zur Frage des Hydrolyse harnstoffharzgebundener Holzspanplatten", *Holz als Roh-und Werkstoff*. 31 (1): 18-24.
- GINZEL, W. y C. PERAZA. 1966. *Tecnología de tableros de partículas*. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid, 65 pp.
- JOHNS, W. y NIAZI K. 1980. "Effects of pH and buffering capacity of wood on the gelation time of Ureaformaldehyde resin", *Wood and Fiber*. 12(4) 255-263.
- KEHR, E. 1962. "Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzarten und -Sortimente sur Herstellung von Spanplatten", *Holztechnologie*. 3(1): 22-28.
- PACKMAN, D. 1960. "The Acidity of Wood", *Holzforschung* 14: 178-183.
- PARAMESWARAN, N. 1974. "pH and Buffering Capacity of

- Some Tropical Tree Barks", *J. Ind. Acad. Wood Sci.* 5(1): 28-31.
- PETERSEN, H., W. REUTHER, W. EISELE, O. WITTMANN. 1974. "Zur Formaldehydabspaltung bei der Spanplattenerzeugung mit Harnstoff-Formaldehyd-Bindemitteln", *Holz als Roh-und Werkstoff.* 32(10): 402-4102.
- POBLETE, H. 1979. "Inclusión de aserrín en tableros de partículas", *Bosque* 3(1): 39-46.
- _____. 1983. *Veränderungen in Holzspänen Während der Trocknung und des Pressens su Holzspanplatten.* V. Göttingen, Dissertation, 157 pp.
- _____. 1986. "Resistencias mecánicas de tableros de partículas producidos con mezclas de especies chilenas", *Bosque* 7(1): 38-45.
- POBLETE, H. y E. ROFFAEL. 1985. "Über chemische Veränderungen in Holzspänen bei der Herstellung von Harnstoff-Formaldehydharz-gebundenen Spanplatten", *Holz als Roh-und Werkstoff.* 43 (2): 57-62.
- POBLETE, H. y M. ZARATE. 1986. *Influencia de los extraíbles sobre las propiedades de la madera y su utilización como materia prima.* Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Valdivia. Publicación Docente N° 20, 55 pp.
- POBLETE H. y M. PEREDO. 1990. "Tableros de desechos del debobinado de especies chilenas", *Bosque* 11(2): 45-58.
- POBLETE, H., J.E. DIAZ-VAZ y M. PEREDO. 1991. "Avances en la determinación de las causas y efectos de las coloraciones en madera de *Laurelia philippiana*". *Bosque* 12(1): 59-66.
- ROFFAEL, E., W. RAUCH, C. BISMARCK. 1975. "Formaldehydabgabe und Festigkeitsausbildung bei der Verleimung von Eichenspänen mit Harnstoffformaldehydharzen", *Holz als Roh-und Werkstoff.* 33(72): 271-275.
- ROFFAEL, E. 1982. *Die Formaldehyd-Abgabe von Spanplatten und anderen Werkstoffen.* DRW-Verlag. Stuttgart, pp. 89-90.
- SANCHEZ, J., H. POBLETE. 1990. "Efecto de la corteza en la emanación de formaldehído en tableros de partículas", *Ciencia e Investigación Forestal* 4(1): 133-138.
- WITTMANN, O. 1962. "Die nachträgliche Formaldehydabspaltung bei Spanplatten", *Holz als Roh-und Werkstoff.* 20(6): 221-224.