



Análisis del proceso de elaboración de muebles de piezas curvadas de chapas de madera

Analysis of the process of elaboration of furniture of curved pieces of wooden foils

Betsy Alicia Cordero Quintans

Ingeniera Mecánica. Empresa Eléctrica, Pinar del Río, Cuba. betsy.cordero@elecpri.une.cu ;  <https://orcid.org/0000-0002-9937-8382>

Daniel Alvarez Lazo

Doctor en Ciencias Forestales, Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca, Cuba. daniel@af.upr.edu.cu ;  <http://orcid.org/0000-0001-7627-0152>

Ignacio Esteves Valdez

Doctor en Ciencias Forestales, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador. E-mail. ignacioestevez57@gmail.com ;  <http://orcid.org/0000-0001-8143-8466>

Para citar este artículo/To reference this article/Para citar este artigo

Cordero Quintans, B. A., Alvarez Lazo, D., & Estevez Valdez, I. (2022). Análisis del proceso de elaboración de muebles de piezas curvadas de chapas de madera. *Avances*, 24(3), 285-297.

<http://avances.pinar.cu/index.php/publicaciones/article/view/704/2007>

Recibido: 10 de febrero de 2022

Aceptado: 16 de junio de 2022

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es la modelación matemática del proceso de elaboración de piezas conformadas de láminas de madera de *Pinus caribaea*, *Pinus tropicales*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* y *Bursera simaruba*. Las láminas

de madera fueron obtenidas a partir de una tecnología con bajos consumos de portadores energéticos. Los trabajos se desarrollaron en los laboratorios de la Universidad de Pinar del Río, se utilizaron las normas GOST para determinar la resistencia mecánica de las

piezas conformadas. Los datos relacionados con la magnitud de los radios de curvatura de las especies investigadas resultaron ser adecuados para la elaboración de las piezas conformadas. Con aumento del grosor de las chapas de madera, el radio de flexión disminuyó bruscamente, destacándose en este sentido las chapas de 1 mm, que proporcionaron los radios más fuertes. Las especies investigadas constituyen materia prima óptima para la producción de muebles de piezas conformadas de madera. A su vez, es significativo establecer que las piezas conformadas de chapas de *Eucalyptus citriodora* son las que presentaron una mayor resistencia mecánica. A partir de la determinación de la resistencia normada de las piezas se pudo dirigir correctamente el proceso productivo de la elaboración de muebles de piezas conformadas con la mayor resistencia permitida.

Palabras clave: especie; diseño; calidad; resistencia; portadores energéticos.

ABSTRACT

The objective of work is the mathematical modeling of the process of elaboration of pieces made of *Pinus caribaea*, *tropical Pinus*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* and

INTRODUCCIÓN

El problema que pretendemos abordar esta relacionado con las grandes existencias maderables que abundan en los ecosistemas forestales que no son utilizadas en su plena potencia debido al desconocimiento de las posibilidades de aplicación de aquellas

Bursera simaruba wood sheets. The wooden sheets were obtained from a technology with low consumptions of energy payees. The work were developed in the laboratories of the University of Pinegrove of the River, in which the norms GOST was used to determine the mechanical resistance of the conformed pieces. The data related with the magnitude of the radii of curvature of the investigated species were suitable to be adapted for the elaboration of the conformed pieces. With increase of the thickness of the wooden foils, the flexion radius diminished abruptly, standing out in this sense the foils of 1 mm that provided the strongest radii. The investigated species constitute an optimal raw material for the production of furniture of wooden conformed pieces. At the same time, it is significant to establish that the conformed pieces of foils of *Eucalyptus citriodora* are the ones that presented a bigger mechanical resistance. Starting from the determination of the normed resistance of the pieces, it was possible to correctly direct the productive process of the elaboration furniture of pieces conformed with the greatest possible resistance.

Key words: species; design; quality; resistance; energy payees.

especies que se denominan en la actualidad especies menos conocidas, u especies menos utilizadas, según la nomenclatura utilizada por la Organización Mundial de Maderas Tropicales, aspectos que han sido abordados

por Valdés, Alvarez y Fernández (2014) y Valdés et al. (2019).

La tecnología para la producción de muebles de piezas conformadas de chapas de madera, justifica lo planteado por Faria (2014), al establecer que, mediante la utilización de los adelantos científico-técnicos, se podrá lograr un aprovechamiento

máximo de los recursos disponibles; coincidiendo además con Panic, Hodzic y Nezirevic (2016).

El uso de las piezas conformadas a partir de láminas de madera en la construcción de muebles facilita amplias posibilidades en la creación de nuevas formas de artículos (Figura 1).



Figura 1. Muebles de láminas curvadas encoladas.

Estas láminas se obtienen después de haberse realizado a las trozas una preparación hídrica, y posterior prensado en frío, porque se disminuye el consumo de portadores energéticos.

Por lo tanto, el objetivo del trabajo es la modelación matemática del proceso de

elaboración de piezas conformadas de láminas de madera de *Pinus caribaea*, *Pinus tropicales*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* y *Bursera simaruba*

MATERIALES Y MÉTODOS

Determinación del radio de curvatura de las chapas de madera

Para la elaboración de las chapas de madera conformada se sometieron a las trozas de madera a una preparación hidrotérmica previa, con el objetivo de que la madera alcance una buena plasticidad, que facilite los procesos de descortezado y debobinado de las láminas. Este tratamiento hidrotérmico consiste en el almacenamiento de las trozas en una piscina o estanque de agua a temperatura ambiente a 31°C por un tiempo entre 15 y 20 días, sin gasto de portadores energéticos para la producción de vapor.

El proceso de prensado de las chapas para conformar las piezas, se realizó en frío, sin gasto energético para la producción de calor. Con un tiempo de conformación de 12 horas; coincidiendo con Kostrikov et al. (1987).

En el proceso de diseño de los muebles es necesario conocer los radios permisibles a flexión de las piezas, que depende de la especie de madera, el grosor de la chapa, humedad de la chapa, así como las características de resistencia y deformación, que están interligadas con la elasticidad de la madera, según Shirazinia, Moya y Muñoz (2011). Es significativo tener en consideración que las chapas son obtenidas por rotación, coincidiendo con Girardon (2016), Rahayu-Sekartiing (2016), así como Sozën y Bardak (2021).

Por lo que teniendo en consideración los elementos antes expuestos, la siguiente ecuación posibilita determinar el radio mínimo de flexión permisible de las chapas (r) y resume de alguna manera los factores antes señalados:

$$r = \frac{2 * \delta * E}{\sigma^{comp} * \left(1 + \frac{\sigma^{tracc}}{\sigma^{comp}} \right)^2} \quad [1]$$

Donde:

δ - Grosor de las chapas de madera, mm;

E –módulo de elasticidad de la madera,

MPa; σ_{comp} – Resistencia a la compresión,

MPa; σ_{tracc} – Resistencia a la tracción

Las maderas de las especies investigadas en el transcurso de todo el experimento son las siguientes: *Pinus caribaea*, *Pinus tropicalis*,

Eucalyptus saligna, *Eucalyptus citriodora* y *Bursera simaruba*.

Metodología para determinar la resistencia de las piezas conformadas de las especies investigadas.

La resistencia mecánica de las piezas conformadas se determina a través de los ensayos que a continuación exponemos:

- 1) Resistencia a la compresión
- 2) Resistencia a la Flexión estática
- 3) Resistencia a la hienda

Determinación del tamaño de la muestra e intensidad del muestreo.

Los datos fueron tomados de una población de 100 trozas para las especies *Pinus caribaea*, *Pinus tropicalis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora*, y *Bursera simaruba* procedentes de la empresa forestal integral Costa Sur. Para determinar el número de unidades representativas para el estudio, teniendo como variable de interés el diámetro en la base de las trozas; para determinar el número de unidades representativas para el estudio, a partir de la ecuación expuesta por Chacko (1965), Freese (1967), citados por Alvarez et al., (2020) y Pupo, Alvarez y Estevez (2020).

Las probetas empleadas deben tener forma de prisma rectangular según las normas GOST 9623-72 (1972) y 9625-72 (1972) rusa. El tiempo de acción de la fuerza regularmente orientada y aplicada a la probeta es de 30 segundos.

Para cada especie se confeccionan 5 bloques curvados encolados, de los cuales se

procesan 10 probetas por ensayo para un total de 50 probetas por ensayo mecánico, coincidiendo con la metodología propuesta por Alvarez (1991). Durante los experimentos se mantienen constantes los siguientes factores experimentales:

- Humedad de las chapas: 6 %
- Temperatura de conformación: temperatura ambiente 31°C
- Tiempo de conformación: 12 horas de conformación
- Tipo de cola: urea formaldehído
- Viscosidad de la resina: 140 s/BZ4
- Gasto de cola: 160 g/m²
- Catalizador: Acido oxálico al 10 % de concentración
- Velocidad de endurecimiento de la cola a temperatura ambiente: 75 segundos

Procesamiento estadístico de los datos

Considerando el paquete estadístico SPSS 15,0 Windows se realiza una prueba de comparación de medias a partir de pruebas paramétricas, con la finalidad de determinar si existen diferencias significativas entre las propiedades de las piezas conformadas para las diferentes especies investigadas en el presente trabajo; coincidiendo en este tipo

de análisis con García et al. (2014) y Moya et al. (2015).

Resistencia normada de las piezas de chapas de madera

La resistencia normada o valor mínimo permisible para la resistencia a la Compresión, Flexión Estática e Hienda de las piezas conformadas de chapas de madera de las diferentes especies investigadas se puede determinar teniendo en consideración los trabajos desarrollados por Kostrikov et al., (1987) y Alvarez (1991), a partir de la siguiente ecuación:

$$R = X - 2,3 S \quad [2]$$

Donde:

R- Resistencia normada, Mpa

X - Media aritmética del valor del índice de resistencia

S – Desviación estándar de la población

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación del radio de curvatura mínimo permisible para las especies investigadas:

El análisis de los resultados permitió deducir que las especies investigadas pueden utilizarse en la elaboración de piezas conformadas de diferentes perfiles (Tabla 1). Elemento este muy significativo ya que es característica en los muebles modernos la presencia de elementos curvados. Obligatoriamente tenemos que establecer

que las especies *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* y *Bursera simaruba*, presentan radios de curvatura más pronunciados que el *Pinus tropicales* y *Pinus caribaea*, lo que nos induce a expresar que estas especies tendrán la posibilidad de crear diseños de muebles de gran expresividad.

Tabla 1. Radios mínimos de flexión de las chapas de madera. Fuente: Elaboración propia.

Especie	Grosor de las chapas, mm		
	1.00	2.00	3.00
Pinus caribaea	62.00	112.00	137.00
Pinus tropicalis	64.37	128.74	193.12
Eucalyptus saligna	45	91	137
Eucalyptus citriodora	41.00	82.00	123.00
Bursera simaruba	54.87	109.23	146.76

Por otra parte, es significativo expresar que las chapas de grosor de 1 mm tienen los radios de curvatura más fuertes. Se entiende por curvatura fuerte, al hecho de que en la misma su derivada supera en valor absoluto a la derivada de la función de menor curvatura.

Para una mejor comprensión de lo antes expuesto, se utilizó un modelo geométrico del caso, considerando las láminas a curvar como dos funciones $f(x)$ definida en $[a, b]$ y $g(x)$ en $[c, d]$, donde $[c, d]$ está contenido en

el intervalo $[a, b]$, para el caso es claro que las funciones son continuas y derivables en sus respectivos intervalos de definición; F_1 y F_2 son dos fuerzas similares que se aplican en los puntos $(a, f(a))$ y $(b, f(b))$ para obtener una curvatura más fuerte transformando la función $f(x)$ en $g(x)$. En la Figura 2, se observa la representación gráfica de lo expuesto anteriormente.

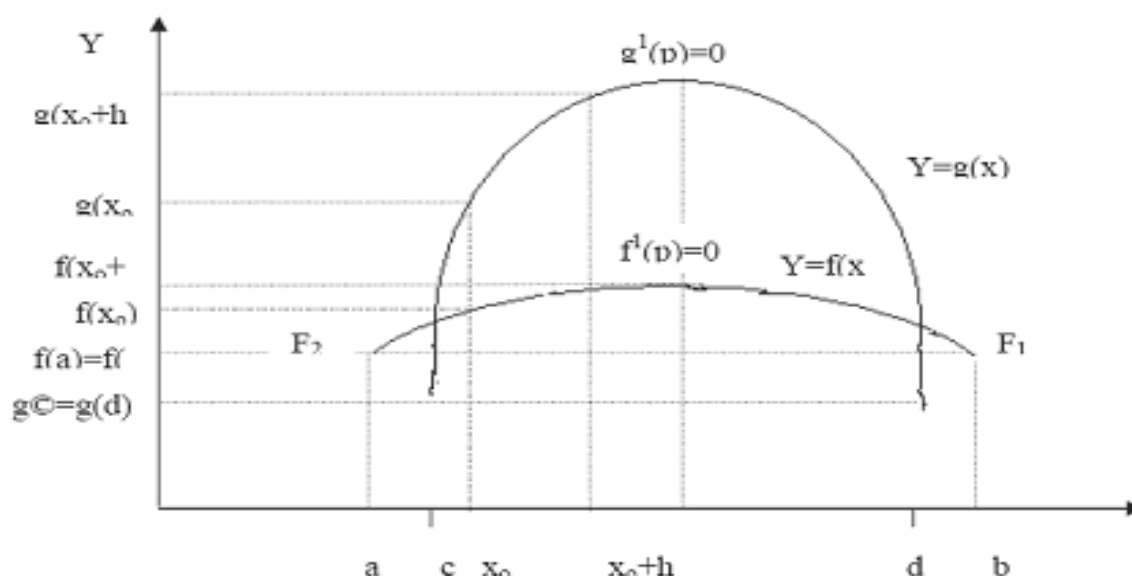


Figura 2. Representación gráfica de las curvaturas de las láminas de madera.

Como se puede apreciar en cualquier punto excepto (p) el modulo de la derivada de $g(x)$

superará al de $f(x)$ en el intervalo (c, d) o sea como:

$$|f'(x_0)| = \left| \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x_0 + h) - f(x_0)}{h} \right| \quad y \quad |g'(x_0)| = \left| \lim_{h \rightarrow 0} \frac{g(x_0 + h) - g(x_0)}{h} \right| \quad [3]$$

Determinando que debido a la curvatura el modo de crecer $f(x)$ y $g(x)$ siempre tendremos que:

$$|f(x_0 + h) - f(x_0)| < |g(x_0 + h) - g(x_0)| \quad [4]$$

Por lo que

$$|g'(x_0)| > |f'(x_0)| \text{ para todo } x_0 \in (c, d) \text{ con } x_0 \neq p$$

Todo lo cual nos permite expresar que, a partir de un aumento del grosor de las chapas, el radio de flexión disminuye y con ello, disminuyen también las opciones de los

diseñadores, de elaborar prototipos caracterizados por la suavidad de líneas y la presencia de perfiles con curvaturas de diferentes dimensiones.

Resultados de los ensayos de resistencia mecánica de las piezas conformadas de chapas de madera de las especies investigadas.

Los resultados obtenidos para la resistencia mecánica de las piezas conformadas de chapas de madera, se encuentran ubicadas en la Tabla 2. El análisis de estos datos permite establecer que las especies investigadas presentan resistencia mecánica

acorde a las exigencias internacionales para la tecnología investigada. Esto es corroborado además si tenemos en cuenta que las magnitudes obtenidas están en los niveles de resistencia para la madera maciza; coincidiendo con Pedroso y Álvarez (2018).

Tabla 2. Resistencia mecánica de las piezas conformadas. Análisis de Anova. **Fuente:** Elaboración propia.

Especie	Compresión, Mpa	Desviación estándar	Flexión estática, Mpa	Desviación estándar	Hienda, Mpa	Desviación estándar
Pinus caribaea	66.67b	5,43	99.92a	3,51	0.34a	0,04
Pinus tropicalis	70.25ab	4,56	97.21a	4,24	0.36a	0,05
Eucalyptus saligna	70.75ab	4,69	99.65a	5,09	0.38a	0,06
Eucalyptus citriodora	74.63a	4,74	102.59a	6,10	0.39a	0,09
Bursera simaruba	34.76c	6,03	67.76b	7,62	0.34a	0,07

Leyenda: Resultados con la misma letra demuestran que no existe diferencia significativa para $p \leq 0,05$

El análisis de estos datos permite establecer que las especies investigadas presentan resistencia mecánica acorde a las exigencias internacionales para la tecnología investigada. Esto es corroborado además si tenemos en cuenta que las magnitudes obtenidas están en los niveles de resistencia para la madera maciza.

Como se puede apreciar las piezas conformadas de chapas de *Eucalyptus citriodora* es la que presenta una mayor resistencia mecánica, lo cual es un factor muy importante a tener en cuenta debido a la gran problemática que existe en relación al proceso de transformación mecánica de la madera por el surgimiento de deformaciones de la madera aserrada como consecuencia de la liberación de las grandes tensiones de

crecimiento existente en el *Eucalyptus* sp, durante el apeo y aserrado de la madera; según los trabajos desarrollados por Braz et al. (2017); Gril et al. (2017); Pupo et al. (2018).

Por otra parte, es significativo mencionar que la resistencia de encolado y por tanto la facilidad de encolarse las especies es demostrada en el ensayo de resistencia a la hienda; quedando establecido que las especies cuestionadas se encolan correctamente. Aspecto este de gran importancia para la conformación de muebles de elevada resistencia y durabilidad.

Análisis de la resistencia normada de las piezas de chapas de madera

A partir de los resultados expuestos en la Tabla 2, considerando los valores medios de resistencia mecánica de las piezas conformadas en dependencia de la especie y la desviación estándar obtenida, seremos

capaces de elaborar la Tabla 3, que expone la resistencia normada de las piezas conformadas.

Tabla 3. Resistencia regulada de las piezas conformadas de chapas de madera. Fuente: Elaboración propia.

Resistencia regulada (Mpa)	Pinus caribaea	Pinus tropicalis	Eucalyptus saligna	Eucalyptus citriodora	Bursera simaruma
Compresión	54,19	59,76	59,96	63,73	20,89
Flexión	9185	87,46	87,94	88,56	50,23
Hienda	0,25	0,24	0,24	0,18	0,18

La Resistencia normada puede ser utilizada para definir y direccionar la calidad de las piezas durante los procesos de conformación, así como en los cálculos de los diseños de muebles para obtener estructuras con resistencia y durabilidad que satisfagan las exigencias del mercado consumidor,

CONCLUSIONES

Los datos relacionados con la magnitud de los radios de curvatura de las especies investigadas son adecuados para la elaboración de las piezas conformadas. Con aumento del grosor de las chapas de madera, el radio de flexión disminuye bruscamente, destacándole en este sentido las chapas de 1 mm, que proporcionan los radios más fuertes.

Las especies investigadas constituyen materia prima óptima para la producción de muebles de piezas conformadas de madera. A su vez, es significativo establecer que las piezas conformadas de láminas de Eucalyptus

logrando con ello elevar el valor agregado de la madera como materia prima y ofertar un producto que logre diversificar la oferta de diseños de muebles sin disminuir la calidad de los procesos productivos.

citriodora son las que presentan una mayor resistencia mecánica.

A partir de la determinación de la resistencia normada de las piezas se puede dirigir correctamente el proceso productivo de la elaboración de muebles de piezas conformadas con la mayor resistencia permitida.

Con la tecnología de fabricación de muebles de piezas de madera conformada en frío, con ahorro de portadores energéticos, se pueden obtener artículos con la calidad y resistencia mecánica requerida en el mercado consumidor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, D. (1991). *Tecnología para la producción de muebles de piezas conformadas de chapas de madera tropical* [Tesis presentada para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas]. Universidad de Pinar del Río. 100 p.
- Alvarez, D., Sebastiao, J. D., Nazare, F., Silva, S., & Esteves, I. (2020). Análisis de la calidad del aserrado de maderas tropicales en Cabinda, Angola. *CEFORES. Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 1(8), <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/452>
- Braz, R. L., Silva, J. T., Rosado, A. M., Vidaurre, G. B., & Lima, J. G. (2017). Deformação Residual Longitudinal de Clones de *Eucalyptus* em Local Sujeito a Ventos. *Floresta e Ambiente*, 24. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.028013>
- Faria, B. F. (2014). *Metodologia de curvatura de Bamboo Laminado Colado (BLAC) para fabricação de mobiliário-diretrizes para o design* [Tesis de Maestría]. Universidad Estadual Paulista. 115 p.
- García, Y., Alvarez, D., Torriente, P. P., Zoukaneri, I., Echevarría, P., Curbelo, S., Caracciolo, R., & Baracho, E. (2014). Influencia de la procedencia sobre las propiedades físico-mecánicas de la madera de *Pinus tropicalis* Morelet en Viñales; Pinar del Río, Cuba. *CEFORES Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 1(2), 110-120.
- Girardon, S., Denaud, L., Pot, G., & Rahayu, I. (2016). Modelling the effects of wood cambial age on the effective modulus of elasticity of poplar laminated veneer lumber. *Annals of Forest Science* (73), 615–624.
- GOST. Norma 9623-72. (1972). Método de determinación de la resistencia a la compresión de materiales encolados. Moscú. Rusia.
- GOST. Norma 9625-72. (1972). Método de determinación de la resistencia a la flexión de materiales encolados. Moscú.
- Gril, J., Jullien, D., Bardet, S., & Yamamoto, H. (2017). Tree growth stress and related problems. *Journal Wood Science*, 63(5), 411–432. DOI: 10.1007/s10086-017-1639-y

- Kostrikov, P., Herrera, F., Betancourt, Y., & Alvarez, D. (1987). *Tecnología de la producción de muebles de piezas conformadas de chapas de maderas tropicales*. La Habana: Editorial ENPES. 2010 p.
- Moya, L., Cardoso, A., Cagno, M., & O'Neill, H. (2015). Caracterización estructural de madera aserrada de pinos cultivados en Uruguay. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 17(3), 597 – 612.
- Panic, L., Hodzic, A., & Nezirevic, E. (2016). Modern and sophisticated processes of 3D veneer plywood bending. *Acta Technica Corviensis. Bulletin of Engineering, IX(2)*, april-june. ISSN: 206-3809
- Pedroso, M., & Alvarez, N. (2018). Análisis comparativo de las propiedades de la madera laminada y madera maciza utilizadas en las cubiertas de la Parada de Ómnibus: Parcela 19. Varadero. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, v. 18, n. 2/ ISSN 1990-8830 / RNPS 2125
- Pupo, I., Alvarez, D., Morejon, R., Estevez, I., & Prieto, L. (2018). Tratamientos para reducir los índices de rajaduras. *CEFORES. Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 6(3), 260-271.
- Pupo, I., Alvarez, D., & Estevez, I. (2020). Método para reducir los índices de rajaduras en trozas de Eucalyptus sp. *Revista Avances*, v. 22, n. 3, 423-436.
- Rahayu-Sekartiing, I. (2016). Characteristics of lathe check and surface roughness of fast growing wood veneers and their performance on laminated veneer lumber. *Mechanical engineering [physics.class-ph]*. Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM, NNT: 2016ENAM0034. tel-01399983
- Shirazinia, M., Moya, R., & Muñoz, F. (2011). Properties of laminated curves manufactured with steamed veneers from fast-growth tropical wood in Costa Rica. *Madera y Bosques*, 17(2), 85-111.
- Sosën, E., & Bardak, T. (2021). Determination of species of some wood veneers using machine vision. *Color. Research and Application*, 46(6), 1392-1399.
- Valdés, R. H., Alvarez, D., Fernández, R. R., León, M. A., & Simón, N. C. (2019). Análisis de la rugosidad superficial de diferentes maderas en la provincia de Pinar del Río y Artemisa. *CEFORES. Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 7(1), 1-16.

Valdés, R. H., Alvarez, D., & Fernández, R. R. (2014). Análisis de la utilización de diferentes especies maderables en la elaboración de artículos de alta demanda en el mercado de EFI Sierra Cristal perteneciente a la provincia Santiago de Cuba. *Revista Forestal Baracoa*, 33(NE), 14-23.

Avances journal assumes the Creative Commons 4.0 international license