

EL DISEÑO AMBIENTALMENTE INTEGRADO Y EL ECODISEÑO EN LA ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS DE BAMBÚ CON ADHESIVO FENOL FORMALDEHIDO

WILVER CONTRERAS MIRANDA^{1,2},
STYLES WILL VALERO²,
MARY OWEN DE CONTRERAS³,
VICENTE CLOQUELL BALLESTER⁴,
MARÍA TERESA RONDÓN SULBARÁN²,
ERIC BARRIOS PEREZ⁵,
DARÍO ANTONIO GARAY JEREZ¹ y
ÁNGEL CONTRERAS⁶

INTEGRATED ENVIRONMENTAL DESIGN AND ECO-DESIGN IN THE PRODUCTION OF AGGLOMERATED BOARD MADE OF BAMBOO PARTICLES AND PHENOL FORMALDEHYDE ADHESIVE

RECIBIDO: 11-07-10

ACEPTADO: 13-12-10

- 1 Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado, Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Mérida, Venezuela, E-mail: wilver@ula.ve; dargaray@ula.ve
- 2 Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Mérida, Venezuela, E-mail: mariat@ula.ve; styles@ula.ve
- 3 Universidad de Los Andes, Facultad de Arquitectura y Diseño, Escuela de Diseño Industrial, Mérida, Venezuela, E-mail: marowen3@hotmail.com
- 4 Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Proyectos de Ingeniería, Valencia, España, E-mail: vacloque@upvnet.upv.es; vacloque@dpi.upv.es
- 5 Universidad Nacional Experimental de Guayana (UNEG), Centro Biotecnológico de Guayana (CEBIOTEG-UNEG), E-mail: ericjbarrios@yahoo.com
- 6 Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Ingeniería Forestal, Mérida, Venezuela.

RESUMEN

En esta investigación se aplica exitosamente la metodología del Diseño Ambientalmente Integrado, que engloba Ecodiseño y con ella se logra la mejora ambiental y social, entre otros aspectos, de la elaboración de los productos forestales de valor agregado denominado tableros aglomerados de partículas de bambú con adhesivo fenol formaldehido (FF) y resinosidad al 5%. Al desarrollar la propuesta de la Rueda de Sostenibilidad de Productos y Servicios Industriales Coclowen para evaluar estos tableros, dentro de la escala de valoración del producto, se obtuvo un resultado de buen nivel de sostenibilidad. Los tableros no cumplen con lo establecido por la Norma Venezolana COVENIN N° 847-91 para tableros aglomerados de partículas de madera, pero sí con la mayoría de propiedades definidas en la Norma Europea E-1 para tableros aglomerados bajos en formaldehido; y son mejores, en su condición, respecto a los tableros aglomerados de partículas de

ABSTRACT

This article reports a case of successful implementation of Integrated Environmental Design methodology which incorporated Eco-Design. With this method, we have accomplished environmental as well as social improvement in the process of preparing a value-added forest product called agglomerated particle board, consisting of bamboo particles and phenol formaldehyde adhesive at R5% resin content. In developing a proposal made by Coclowen Group of Product Sustainability and Industrial Service, a high level of sustainability was obtained upon evaluating these boards using a product value scale. The board did not however, meet the standard established by the Venezuelan regulatory statute, CONVENIN No.847-91. On the other hand, in the majority of the properties, the board complied with E-1 European standard defined for agglomerated wood particle fiberboard. It had superior characteristics as compared to agglomerated

bambú manufacturados con urea formaldehído y una resinosidad al 8%. Por ello y de existir plantaciones forestales de gramíneas en Venezuela, los tableros investigados pueden ser comercializados en el ámbito nacional e internacionalmente para fomentar su uso en la estructuración de muebles, recubrimientos de mamparas de paneles o puertas, entarimados para pisos y entrepisos de edificaciones, gabinetes, entre otros usos constructivos. Por emplear el FF, el cual es un adhesivo de características estructurales, los tableros de bambú pueden llegar a ser empleados en zonas húmedas, siempre y cuando las partículas lignocelulósicas sean tratadas con sustancias preservantes sostenibles, para ser recubiertos posteriormente con un acabado final de poliuretano o con cerámicas, en caso de baños y cocina.

Palabras clave: tableros aglomerados de partículas, resinosidad, fenol formaldehído, cerramientos internos, muebles, sostenibilidad.

bamboo particles board with urea formaldehyde at R8% resin content. Agglomerated particle board with bamboo particles and phenol formaldehyde adhesive at R5% resin content was in fact better than the bamboo particles board with urea formaldehyde at R8% resin content. In Venezuela, there are considerable areas of bamboo forest. We thus conclude that the researched board can be put into use at national and European level for such items as furniture structure, covering for panels and doors, floor platform, mezzanine flooring for buildings, and cabinets among other uses. By using phenol formaldehyde, which has a structural adhesive properties, bamboo boards can be used also in humid climate. Lignocellulosic particles are needed to be treated with sustainable preservative substances and be coated with polyurethane or ceramic as a finish in case of bathroom or kitchen environment.

Key words: agglomerated particle board, resin content, phenol formaldehyde, internal walls, furniture, sustainability.

1. INTRODUCCIÓN

La industria mecánica del sector forestal mundial, en los últimos años ha venido realizando esfuerzos por contribuir con el Desarrollo Sostenible global. Muestra de ello es la consolidación de los procesos de certificación de los bosques naturales y plantaciones forestales por el Consejo de Gestión Forestal (Forest Stewardship Council-FSC) y el Programa de Reconocimiento de Certificación Forestal (The Programme for the Endorsement of Forest Certification-PEFC); los procesos de Investigación y Desarrollo (I + D); y la mejora de procesos, productos y servicios a partir de los principios de la Ecoeficiencia con sus estrategias de los Procesos más Limpios (P+L), la Reingeniería y el Ecodiseño/Diseño para el Medio Ambiente en procura de alcanzar productos industriales sostenibles.

De ahí que, el presente trabajo sea estructurado en seis grandes fases de investigación, fundamentándose en la aplicación contextual del Diseño Ambientalmente Integrado (dAI) y el Ecodiseño para la generación de un producto forestal industrial de tableros aglomerados de partículas de bambú (*Bambusa vulgaris*) y FF. El Ecodiseño, entendido éste según Contreras

(2009a), como la estrategia metodológica de la Eco-eficiencia que proyecta el establecimiento de una relación armoniosa y respetuosa del sistema de ciclo de vida de un producto industrial respecto al medioambiente, los medios de producción, los beneficios económicos y la sociedad que use estos productos.

Además, se resalta la interrelación entre el Ecodiseño y el ámbito de la ciencia y tecnología de los tableros aglomerados de partículas de madera, haciendo especial énfasis, y con visión de futuro, en el uso de uno de los materiales de construcción alternativos, como lo es el uso de la gramínea del bambú (*Bambusa vulgaris*), con proyección a la guadua (*Guadua angustifolia*) y otras gramíneas.

El desarrollo del presente trabajo tiene características técnicas muy particulares, la cual está articulada con las nuevas tendencias que marcan los tiempos actuales con respeto a la mejora de la calidad medioambiental que el sector industrial, tanto nacional como internacional, debe acatar.

Por consiguiente, esta investigación tiene su importancia técnica, dado que proyecta un proceso metodológico que pudiera transformarse en guía a ser aplicada por equipos multidisciplinares de profesionales del diseño industrial,

arquitectura, ingeniería y otras, para procurar el desarrollo de productos forestales innovadores, así como la mejora y rediseño de los productos forestales tradicionales, pudiendo alcanzar la denominación de productos industriales sostenibles.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se fundamentó en la propuesta metodológica planteada por Contreras *et al.* (2009), del Diseño Ambientalmente Integrado (dAI), el cual contempla en su concepción filosófica diversas etapas o fases del proceso metodológico y que en el presente proyecto de investigación, se llegan a particularizar al definirse seis grandes fases aplicadas al diseño industrial de productos forestales de tableros aglomerados de partículas, para ser empleados en la elaboración de paneles estructurales, tal como cerramientos de uso externo e interno haciendo uso del adhesivo FF (según la mejor resinosidad (R_{1-n} %) que se determine), además de aplicar los principios del dAI y del Ecodiseño. El proceso metodológico de cada una de las fases se expone a continuación:

1. *Fase de planificación y diagnóstico.* El proceso de conceptualización del presente trabajo, es parte de una de las líneas de investigación desarrolladas desde el año 1990, en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF-ULA-Minamb) con el fin de promocionar el establecimiento de plantaciones de gramíneas en todo el territorio de Venezuela (Contreras *et al.*, 2001a) para la construcción de viviendas e insumos constructivos del medio rural y urbano (CVG Proforca, 2007), cuya visión ha encontrado eco en la actualidad por parte del gobierno nacional a través de Proforca, antiguamente denominada CVG-Proforca, en los Llanos Occidentales, específicamente en los estados Barinas y Apure; la visión prospectiva

e innovadora del diseño y manufactura de nuevos productos forestales de alto valor agregado a partir de gramíneas (Contreras y Owen *de C.*, 1997); la elaboración de tableros aglomerados de partículas y elementos laminados encolados con calidad estructural de bambú y caña brava (Contreras y Owen *de C.*, 1997); seguidos posteriormente con la incorporación de tratamientos de preservación a los tableros aglomerados de partículas de bambú realizados por Moreno *et al.* (2007) y más recientemente, en los estudios de preservación de las cañas de bambú para fines constructivos desarrollados por Encinas (2005), González *et al.* (2009) y Peña *et al.* (2009); además de los estudios de determinación de los esfuerzos de diseño de las cañas de bambú de la plantación existente en el Sur de Lago de Maracaibo (Valero *et al.*, 2005) y de manchas existentes en el estado Barinas (Valero *et al.*, 2010). En resumen, con el pasar del tiempo, aumenta el interés por hacer de las gramíneas de caña brava (*Gynerium sagittatum*), bambú (*Bambusa vulgaris*) y guadua (*Guadua angustifolia*) parte de la cultura constructiva en el país, así como su integración al paisaje del medio rural nacional, en parques y sectores residenciales urbanos, contribuyendo a proyectarla como materia prima de futuro para suplir las necesidades, cada día más apremiantes, del sector forestal venezolano en todas sus industrias. Por ello, el proceso de planificación y diagnóstico se desarrolló en las instalaciones del Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado (CEFAP) y en el LNPF-ULA-MINAMB de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes. Consistiendo esta tarea en la planificación de la investigación, el estudio del estado del arte en materia de tableros aglomerados de partículas con bambú y el uso del FF como adhesivo respecto a

investigaciones, propuestas de uso, ventajas y desventajas respecto a otros tableros aglomerados.

Todo esto permitió hacer una proyección de nuevas e innovadoras alternativas constructivas, aún en fase de evaluación y análisis, donde estas gramíneas son la principal materia prima para la elaboración de sistemas constructivos e insumos constructivos a ser empleados en la manufactura de edificaciones sociales en Venezuela, dado el déficit habitacional por la que atraviesa este país, el cual es considerado en más de 2,5 millones de viviendas. De ahí la importancia del presente proyecto, el cual es generar, desde el LNPF-ULA-MINAMB, nuevas alternativas de tipos de tableros aglomerados de partículas a partir de gramíneas como el bambú, guadua o caña brava, los cuales pueden sustituir a los tableros de virutas orientadas (OSB) con madera de pino caribe (*Pinus caribaea* var *hondurensis*) que se tienen previsto usar en los proyectos de viviendas que llevará a cabo la empresa estatal PDVSA-Industrial, quien sustituye a Proforca en esta tarea, según lo expuesto por Contreras *et al.* (2008) (2009).

2. *Fase de generación de alternativas del diseño industrial del producto.* Se definió el proyecto de diseño industrial enmarcado en la elaboración de un tipo de tablero aglomerado de partículas homogéneo haciendo uso del adhesivo FF, siguiendo la clasificación de la Confederación Española de Empresarios de la Madera (Confemadera, 2010) relacionado a los "tableros de partículas atendiendo al acabado superficial", que se subdividen en función de los tratamientos específicos a que hayan sido sometidos, caso específico de uno de ellos, el "tablero de partículas con un determinado contenido de formaldehído", entendidos éstos como aquellos cuyo contenido de formaldehído se expresa en mg

de HCHO/100 g de tablero absolutamente seco; el uso propuesto de los tableros, en este trabajo, es para espacios exteriores y donde se requiera de la mayor resistencia a la humedad, lo cual llegaría a conformar un tablero estructural de paneles de entramado de madera revestido con tableros a ambos lados.

En la etapa inicial de diseño conceptual del producto, se llegó a proponer cuatro alternativas de tipos de tableros aglomerados de partículas con bambú, según: a. Procedencia de la obtención de las cañas de bambú dentro de la plantación; b. Calidad y tamaño de las partículas; c. Cantidad de adhesivo de FF usado, referenciado por la resinosidad (R%); d. Tipo de tratamientos de labrado mecanizado para garantizar la calidad del encolado.

3. *Fase de cribado de alternativas, mediante el análisis de ciclo de vida (ACV) y requerimientos de diseño del producto industrial.* En el cribado se realizó primero el diseño del Sistema Producto (SP), el cual permitió el desarrollo del Análisis de Ciclo de Vida del producto planteado, llegándose a aplicar el método ACV-Coclowen preliminar y el estudio de los requerimientos de diseño según lo propuesto por Contreras y Cloquell (2006). Para el desarrollo del ACV en este trabajo es importante definir, entre otros, los límites, alcances, unidad funcional y otros detalles técnicos según lo propuesto por la Norma ISO 14.040 (1997); ISO 14.042 (2000); y AENOR (1996; 1998) con la norma UNE 150.040. Respecto al presente proyecto, a continuación se hace mención de algunos de los más importantes aspectos técnicos del ACV de la alternativa definitiva:
- *Inventario del Sistema Producto:* Tableros aglomerados de partículas de bambú y adhesivo FF.

- *Norma:* Series ISO 14.040.
- *Sector:* Forestal de Venezuela.
- *Industria:* Industria Mecánica Forestal, Industria de Tableros.
- *Objetivo:* Determinar los principales impactos ambientales que se suceden en el Sistema Producto de los tableros aglomerados de partículas de bambú encolados con FF, haciendo uso del método ACV- Coclownen preliminar, para poder definir las valoraciones de los mismos.
- *Alcances:* Realizar el ACV-Coclownen preliminar para la industria de tableros aglomerados de partículas haciendo uso del bambú y adhesivo fenol formaldehído, ubicada en la población rural de Cuatro Esquinas Municipio Francisco Javier Pulgar del estado Mérida, Venezuela, para definir y valorar los impactos ambientales que se suceden, haciendo uso de indicadores como: daños ocasionados a la salud humana, ecosistemas y recursos naturales, para poder proyectar así decisiones para la mejora.
- *Funciones del sistema estudiado:* Desarrollo de la manufactura industrial de tableros aglomerados de partículas de bambú de las plantaciones forestales de gramíneas proyectadas en la Zona Sur del Lago de Maracaibo del estado Mérida de Venezuela.
- *Unidad Funcional (UFun):* se define como Unidad Funcional a 1 m² de tablero aglomerado homogéneo de partículas de bambú (**Bambusa vulgaris**) con un espesor de 19 mm. El adhesivo empleado es termoendurecible de FF en una resinosidad de R 5%. Sus características más importantes son las de ser un tablero desnudo, es decir, sin acabados superficiales o elementos de recubrimiento (chapas, láminas de melamina, machihembrado de madera de pino caribe o revestimientos de cerámica). Su densidad teórica es de 700 kg/m³.
- *Sistema de producto y límites:* Se definió el Sistema Producto, con sus entradas, etapas de procesos y salidas a través de las principales etapas del ciclo de vida del producto de los tableros de partículas elaborados con bambú y adhesivo de FF al 5% de resinosidad.
- *Nivel de dificultad:* La determinación de los impactos ambientales, según las características propias de método ACV-Coclownen Simplificado preliminar, presenta en el actual trabajo un alto nivel de dificultad por el grado de detalles, especificidad y análisis de cada uno de los procesos industriales. Además, se pretende que con el nivel científico tecnológico de los expertos que realizan el ACV en el área de la tecnología de productos forestales, como lo recomienda Eriksson *et al.* (2005) y Pennington *et al.* (2004), se debe tratar de disminuir, en la medida de lo posible, el nivel de subjetividad de las valoraciones de los impactos ambientales y sus indicadores.
- *Procedimientos utilizados en la asignación de cargas:* Análisis de ciclo de vida a partir del método analítico y gráfico ACV-Coclownen Simplificado preliminar propuesto por Contreras y Cloquell (2006).
- *Comentarios técnicos:* La definición del método de análisis de ciclo de vida a partir del modelo gráfico analítico ACV – Coclownen, propone a partir de las distintas etapas que conforman el Sistema Producto, hacer una valoración cualitativa prospectiva de un número mínimo de tres expertos para cada uno de los indicadores ambientales, tecnológicos, sociales y económicos. Con la identificación de los impactos ambientales en los procesos industriales del proyecto en estudio, así como la connotación social y económica, se pueden tomar las decisiones para las recomendaciones y mejoras respectivas del Sistema para aumentar sus niveles de sostenibilidad.

4. *Fase de desarrollo técnico de la manufactura del producto industrial final.* La conceptualización del producto final seleccionado en la fase anterior, se enmarca en la presente fase según lo planteado por la Integración Ambiental Total definida por Contreras *et al.* (2007), cuyo contexto visionario es el Sistema Proyecto y su interrelación con el Entorno global donde se desenvuelve. Para el estudio del ACV, el proyecto se ubica en el espacio geográfico de Venezuela en el intervalo de tiempo de mediano plazo (años 2012-2015) y la ubicación hipotética de diferentes plantas industriales en distintas regiones del país adyacentes a las plantaciones de las gramíneas de caña brava, bambú y guadua. Para el trabajo de investigación se ha idealizado una planta industrial con la tecnología existente en el presente en Venezuela en materia de fabricación de tableros aglomerados de partículas, ejemplo la del Grupo Empresarial Di Fiori. La industria es localizada en las cercanías a la población de Cuatro Esquinas del estado Mérida y próxima a las plantaciones forestales de bambú y otras gramíneas, igualmente idealizadas, en las zonas de influencia de ese sector del Sur del Lago de Maracaibo, donde la participación de las comunidades rurales es fundamental para el éxito de la propuesta, según lo establecido por los principios de la Evaluación Estratégica Ambiental del ejecutivo nacional. Como se puede apreciar, el trabajo de la presente fase, es una mezcla de la realidad y la proyección de escenarios futuros a mediano plazo, de manera de poder conciliar el cúmulo de exigencias propias de todo ACV. Por otro lado, el trabajo práctico se desarrolla exclusivamente en el marco de la disposición de la tecnología existente en el LNPF-ULA-MINAMB en las Secciones de Tableros Aglomerados, de Contrachapados y de Ensayos, para la elaboración de los table-

ros y la determinación de los esfuerzos de diseño, en este caso, de un tipo de tableros aglomerados homogéneo de partículas de bambú con adhesivo de fenol formaldehído al 5% de resinosidad.

Por los antecedentes antes descritos en la primera fase de las experiencias desarrolladas en el Laboratorio, además de otras similares a otros países en materia de manufactura de tableros con bambú y adhesivo a base de formaldehído, bien sea de urea o fenol, son marco de referencia técnica para poder validar la presente investigación.

El uso propuesto de los tableros es para espacios exteriores y de mayor resistencia a la humedad, lo cual llegaría a conformar un panel estructural entramado de madera y tableros a ambos lados. Es por ello, que en esta fase se hizo uso de la aplicación de los once niveles y sus estrategias de la Rueda de Sostenibilidad de Productos y Servicios Coclowen según Contreras *et al.* (2010) (Cuadro 2), la cual ha sido desarrollada a partir de la Rueda de Ecodiseño de van Hemel (1998) y ampliada, entre otros factores, por los autores para los aspectos sociales, económicos y político-institucionales para el diseño del producto sostenible obtenido en la Fase 3 de cribado de alternativas, mediante el análisis de ciclo de vida (ACV) y requerimientos de diseño del producto industrial para los tableros aglomerados de partículas de bambú con adhesivo FF, según la tecnología existente actualmente en Venezuela para la manufactura industrial de tableros aglomerados.

Se debe señalar que la Rueda Estratégica del Ecodiseño propuesta por van Hemel (1998), es una de las primeras herramientas de trabajo del Ecodiseño para el rediseño y la mejora ambiental, así como su comparación con el producto ya existente. En años posteriores y en la actualidad, el uso de esta metodología se aplica a los productos eco-

innovadores o productos con criterios de sostenibilidad.

La manufactura de los tableros aglomerados de partículas de bambú, se realizó en las secciones de tableros aglomerados y contrachapados del LNPF-ULA-MINAMB. El material utilizado como materia prima para la producción de tableros aglomerados, está constituido por partículas de bambú, proveniente de la Zona Sur del Lago de Maracaibo, cercano a la población de El Chivo, capital del Municipio Francisco Javier Pulgar del estado Zulia. Como agente aglutinante se utilizó el adhesivo fenol formaldehído (FF), el cual fue fabricado por la Industria Química RESIMON C.A, ubicada en la ciudad de Valencia, estado Carabobo. Una vez desarrolladas las pruebas preliminares definidas en la segunda fase y expuesto en el cuadro 1, se procedió a dar inicio al proceso de manufactura de tableros aglomerados según lo recomendado por la metodología propuesta por Moslemi (1974) y Maloney (1977; 1993).

Se realizó una fase preliminar para determinar, entre otros, la cantidad de adhesivo de FF en los tableros a manufacturar. Estos ensayos preliminares tienen el fin de buscar la mayor racionalidad en el uso del FF respecto al porcentaje de resinosidad (R%), siendo éste adhesivo un producto contaminante tanto en la fase de manufactura como en la etapa de manipulación y especialmente en el proceso de prensado en caliente, el cual genera emisiones altamente peligrosas a la salud de los operadores. Además, el límite de la R% en los tableros a fabricar, no debe afectar las propiedades de humectación y así ver su posibilidad real de aplicación en el proceso de encolado. El FF de la Industria RESIMON C.A., exige que las partículas de madera o bambú estén secas a un contenido de humedad (CH) menor al 4%. Estos ensayos se desarrollaron a partir de la

manufactura de tres (03) tableros pequeños de 20,0 cm x 20,0 cm x 0,19 cm según cada condición, manufacturados en la Sección de Contrachapados del LNPF-ULA-MINAMB con la prensa eléctrica de prototipos. Se diseñaron cuatro alternativas de resinosidad propuestas en las cantidades de R3%, R5%, R7% y R9%; y con tiempos de prensado variables de 5 min, 8 min, 10 min y 12 min, todas con la aplicación a una temperatura de 180 °C.

Una vez determinada la R% más apropiada a los fines de la investigación, se llegó a fabricar finalmente un total de cuatro (04) tableros haciendo uso del adhesivo de FF y una R5%. Posteriormente, y de manera similar a lo desarrollado por Contreras *et al.* (2006), a cada tablero se le extrajeron las probetas correspondientes para los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas según las recomendaciones técnicas de las normas alemanas de la Deustcher Industrie Normen EN 317 y EN 322 (DIN, 1996) y las normas de la American Society for Testing and Materials D1490 modificada para este tipo de adhesivo (ASTM, 1975). La distribución y extracción de las diferentes probetas de ensayos, se realizó a partir del diagrama propuesto por Valero *et al.* (2005), la cual mejora la propuesta de Garay (1988; 1997), por considerarla que incluye más diversidad y mayor distribución de las probetas de ensayos de las diferentes propiedades en el área del tablero manufacturado.

Se compararon los resultados obtenidos con la Norma Venezolana N° 847 – 91 para tableros aglomerados de partículas de madera (COVENIN, 1991), y los resultados obtenidos por Moreno *et al.* (2007) y los valores exigidos por la Norma Europea Clase E-1 para tableros bajos en emisión de formaldehído citada por Masisa (2010a; 2010b). El Cuadro 1, expone las especificaciones técnicas para la producción de table-

ros aglomerados de partículas de bambú, determinándose el contenido de sólidos de los tableros elaborados según la norma americana ASTM (1975).

CUADRO 1.
specificación de la elaboración de los tableros aglomerados de partículas de bambú y adhesivo FF con resinosidad R5% y una densidad teórica de 0,70 g/cm³.

Especificación al 5 R% de Resinosidad	
Peso de Partículas (2 % CH)	3.489,49 g
Fenol-formaldehido (cantidad de sólidos 62,1%), el cual incluye el catalizador en el adhesivo	275,44 g
Soda cáustica	258,24 g
Cantidad de tableros	4

La determinación del Coeficiente de Esbeltez, permitió definir la geometría y tamaño de las partículas, a partir de la toma de porciones de muestras al azar de las cuatro diferentes bolsas contentivas de partículas de bambú, debidamente secadas a un contenido de humedad promedio del 2 %. Estas se pesaron y se clasificaron de acuerdo a su tamaño en grandes, medianas y pequeñas. Cada grupo se pesó y de cada uno de ellos se tomaron 30 muestras para determinar su espesor, ancho y longitud. Con los datos de peso se halló la proporción en que cada grupo participa en los tableros. Con los promedios de largo y espesor, se calculó el Coeficiente de Esbeltez expuesto en el cuadro 5, mediante la siguiente fórmula matemática (Ec.1):

$$E = l/e \qquad \qquad \qquad (Ec.1)$$

Dónde:
E= Coeficiente de esbeltez
l = Longitud de las partículas (mm)
e = espesor de las partículas (mm)

5. Fase de elaboración de ensayos y determinación de propiedades físicas y mecánicas del producto forestal de valor agregado, caso tableros aglomerados de partículas con adhesivo FF-R5%. La determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los tableros, fue realizada en la Sección de Ensayos del

Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF-ULA-MINAMB).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 FASE DE PLANIFICACIÓN Y DIAGNÓSTICO

El Ecodiseño es aplicable al desarrollo de nuevos materiales constructivos sostenibles, especialmente, a partir de materiales lignocelulósicos alternativos, por lo que se puede decir, según lo reporta la muy escasa bibliografía existente hasta la actualidad, que es propicia la ocasión para aplicarlo en el uso del bambú, proyectado por igual al resto de gramíneas y los residuos agroindustriales, para la manufactura de tableros aglomerados de partículas y otros productos forestales con fines constructivos de edificaciones y muebles con visión ecológica.

Desde los años cincuenta ha existido una tendencia al aumento acelerado de la correlación entre índice demográfico y los requerimientos de subsistencia-seguridad-confort-movilidad-hábitat. La vivienda, el mobiliario y los objetos de uso doméstico, son una exigencia y una de las necesidades insatisfechas en buena parte de las naciones del mundo, especialmente para las familias que conforman los estratos sociales y económicos más bajos de los países en vías de desarrollo industrial, como es el caso de América Latina, particularmente Venezuela no escapa a esta lamentable realidad.

Las tendencias actuales indican el norte de contextualizar los principios de la sostenibilidad en todas las actividades productivas; la sociabilización, la recreación y el descanso de la sociedad moderna; la innovación y desarrollo industrial; el urbanismo; entre otras. Una de ellas, la producción industrial de productos forestales es fundamental para la estabilidad medioambiental del planeta, conlleva integrar el rol de la investigación y desarrollo con el proceso de innovación (I+D+i) en el sector forestal, que involucra entre otras, el

aprovechamiento y transformación racional de la madera sólida y sus productos forestales derivados para la creación de nuevos productos.

Los bosques naturales y las plantaciones forestales de especies de crecimiento rápido, fundamentalmente los ubicados en el trópico, no tienen la capacidad de suplir la alta demanda que requiere la industria de la construcción y del mobiliario para cubrir el déficit habitacional de las naciones del mundo. En el caso de Venezuela, Cloquell *et al.* (2007) y Contreras *et al.* (2007) estiman el déficit habitacional en más de 2,5 millones de unidades habitacionales, mientras que Datanálisis (2010) lo estima en 2 millones de unidades, hecho que desdice de la realidad socio económica evidente para cualquier persona que visita las principales ciudades del país, especialmente: Caracas, Maracay, Valencia, Barquisimeto o Maracaibo.

El sector forestal, con el aporte de la ciencia y tecnología de la madera, mayoritariamente de los países de Europa, Estados Unidos y Canadá, está asumiendo su rol de contribuir con el establecimiento del desarrollo sostenible mundial. La Haya *et al.* (1998) y Cloquell *et al.* (2008) exponen que, los países europeos en sus mercados internos, dada la alta demanda en la construcción de productos sostenibles en pro de consolidar una arquitectura bioclimática, han generado un alto impulso en su política agraria hacia el cultivo de cosechas agrícolas de productos no alimentarios, caso del lino (*Linum usitatissimum* L.). Estos materiales representan una alternativa viable para suplir el déficit que pueden significar los productos lignocelulósicos de madera sólida extraída de los bosques naturales y de las plantaciones forestales.

En China, con el dinamismo competitivo de ser preeminentes en el comercio internacional, existen esfuerzos de hacer del bambú y la guadua como materiales pertenecientes a su cultura milenaria y constructiva, una de las principales materias primas y apuestan por desarrollar el establecimiento de más de diez

millones de hectáreas de plantaciones forestales de estas gramíneas. Así, como en la actualidad acontece en buena parte de los mercados europeos y Estados Unidos, sin dejar de mencionar Latinoamérica, el hacerse sentir con los productos forestales derivados de éstas, con una variada gama de productos, como: contrachapados, tableros aglomerados, tableros de fibra, objetos de uso domésticos para cocina, persianas, entre otros. En ese sentido, esa proyección ya era reportada en Asia por Papadopoulos *et al.* (2004), con su trabajo sobre el bambú en forma de *chips* (virutas) como material lignocelulósico alternativo en la manufactura de tableros aglomerados de partículas.

Colombia, país con la mayor cobertura forestal de bambú y guadua en el continente americano, es ejemplo en procurar su uso tradicional y de alta tecnología de los productos forestales. En Venezuela, Contreras *et al.* (2007), hicieron una amplia proyección innovadora de toda una gama de productos forestales que partía desde la caña brava (*Gynerium saggitatum*) hacia las gramíneas mayores como el bambú y la guadua. Moreno *et al.* (2007), realizaron la investigación “Utilización de *Bambusa vulgaris* como una Alternativa en la Fabricación de Tableros Aglomerados de Partículas”, encolados con urea formaldehído (UF) y una resinosidad R8%. Por ello, Venezuela no puede seguir dilatando la promoción y el establecimiento de plantaciones de gramíneas en toda la geografía nacional, principalmente, por sus múltiples beneficios ambientales, sociales y económicos, pero especialmente en la construcción de edificaciones del medio urbano y rural, tal como ya lo reportaron Contreras *et al.* (2001b). Retrasar este proyecto, es demorar la ruta de consolidar el desarrollo sostenible en Venezuela, con la ampliación de mayor superficie nacional con cobertura forestal de especies alternativas y sus inherentes beneficios ya mencionados, de escala local, regional y nacional para la fabricación de diversos productos.

Desde el contexto del medioambiente, como principal factor de preeminencia actual sobre los factores económicos y tecnológicos, el presente trabajo en el sector forestal de la industria mecánica de los tableros, abre una nueva perspectiva metodológica con criterios de sostenibilidad de forma prospectiva donde el Ecodiseño y el dAI contextualizan los más relevantes aspectos negativos medioambientales, sociales, culturales y económicos, previos a la implementación tecnológica de los procesos industriales, en el caso particular que nos ocupa de los tableros aglomerados, tanto para Latinoamérica y quizás para buena parte de los países industrializados.

De ahí que, al aplicar la metodología del Ecodiseño y del dAI, se haya definido la proyección de los tableros aglomerados de partículas de bambú con fines estructurales a partir de la aplicación de la Rueda de la Sostenibilidad de Productos y Servicios Industriales Coclowen propuesta por Contreras *et al.* (2010); la cual es una ampliación y actualización de la Rueda Estratégica del Ecodiseño planteados por Brezet y van Hemel (1997) y van Hemel (1998) (Cuadro 2). A partir de ésta se procuran, entre otros, productos constructivos sostenibles para una industria de la construcción y del mueble con similares criterios de sostenibilidad, como: la eficiencia en energía; la realización de componentes constructivos mayormente de materias primas naturales; el poseer un diseño apto para el reciclaje y la reutilización; proveer un ambiente saludable; entre otros. Por consiguiente, se debe señalar que la Rueda Estratégica del Ecodiseño, puede usarse para distintos tiempos y fines del proceso de diseño de un producto, ya que ésta, primero, es una referencia para establecer de manera lógica las distintas estrategias del Ecodiseño, segundo, que se evita que un equipo de trabajo proyectual tome una única dirección, la cual podría no ser la más acertada en procurar alcanzar la verdadera sostenibilidad del mismo.

Los resultados de la Valoración Total del Nivel de Sostenibilidad (ns) obtenido en la Rueda de Sostenibilidad Coclowen del Producto de los tableros aglomerados de partículas de bambú haciendo uso del adhesivo FF- y una R5%, arrojó un valor total de 243 ns siendo el valor máximo a obtener para un producto óptimo de 426 ns. El valor total del producto se ubica en el nivel de Buena Sostenibilidad según la escala de valoración de la mencionada Rueda, cuyos valores oscilan para este nivel entre 213 ns y 319,5 ns.

Conscientes que la aplicación de la Rueda de Sostenibilidad Coclowen, elaborada a partir de la Rueda Estratégica del Ecodiseño propuesta por van Hemel (1995), es una referencia metodológica para apertura de oportunidades para la mejora y definición de rediseño y generación de nuevos productos, ésta permite a los diseñadores el cuestionar las fortalezas funcionales, ergonómicas, estructurales, financieras y pertinencia social del producto; aumentar las oportunidades de competencia y ubicación en un mercado nicho local, nacional e internacional; entre otros.

Se puede apreciar que las mejores valoraciones obtenidas en la Rueda de Sostenibilidad Coclowen, se encuentran en primer lugar, en el Nivel Sistema Producto, seguido del segundo Nivel de la Estructura Productiva de la Industria y del Producto, y el tercer Nivel de los Criterios Económicos obtenidos con el Producto desde el Diseño Ambientalmente Integrado (dAI) (Figura 1). El sistema de valoración ha sido el resultado consensuado de cinco expertos en el área, que han considerado todos los aspectos ambientales, sociales, económicos, tecnológicos, culturales, y político institucionales que contextualizan el desarrollo futuro de la presente propuesta en estudio.

Como resumen del análisis se resalta que el producto industrial de tableros aglomerados de partículas de bambú haciendo uso del adhesivo FF y R5%, posee potencialidades para estar, en los más altos estándares de sostenibilidad,

A NIVEL COMPONENTES DEL PRODUCTO			
A.1	Selección de materiales de bajo impacto	Criterios de sostenibilidad	Puntuación
	• Nivel de uso materiales limpios	Bajo uso del agua del Río Chama en el proceso de manufactura y alto en plantaciones	3
	• Nivel de uso materiales renovables	Uso de bambú, material renovable	0
	• Menor contenido energético de los materiales	Bajo consumo energético en el proceso formación 1 tn de bambú	5
	• Nivel de incorporación materiales reciclados	Materia prima proveniente de aclareos de plantaciones	5
	• Porcentaje real de materiales reciclables producto	Reciclabilidad con un 100% de posibilidad	5
	• Reducción de tóxicos peligrosos	Menor porcentaje de FF por tn de producto acabado	2
	• % de uso de combustibles alternativos transporte	Proyectar en un 20% el uso de biocombustibles a partir de aceites reciclados de las ciudades del Sur del Lago de Maracaibo	0
	• Distancia efectiva de materias primas naturales	Racionalización de rutas de recolección menor a 100 km	5
	• Distancia efectiva de materias primas no naturales	Racionalización de ruta en un 10% traída de adhesivo FF	2
Valoración Estrategia A.1			27
A.2	Reducción de uso de materiales	Criterios de sostenibilidad	Puntuación
	• Reducción en peso del producto	Igual % de densidad teórica	0
	• Reducción en volumen a transportar	Mantiene las dimensiones	0
Valoración Estrategia A.2			0
B NIVEL ESTRUCTURA PRODUCTIVA DE LA INDUSTRIA Y DEL PRODUCTO			
B.3	Técnicas para optimizar la producción – Ecoeficiencia.	Criterios de sostenibilidad	Puntuación
	• % de reducción materias primas renovables	Alto % uso de materiales alternativos	6
	• Nivel de mejora de la logística de la industria	Alto % de mejora logística	6
	• Técnicas alternativas de producción más limpia	Alto % Ecoeficiencia de procesos	4
	• Menor cantidad de pasos de la producción	Alto % racionalizar procesos	4
	• Menor consumo energético al fabricar	Uso de tecnología más limpias	4
	• % de uso de energías renovables	Alto % de incorporación de residuos de plantación transformados en briquetas energéticas	6
	• Menos insumos y/o consumibles más limpios	Bajo % de reducción de insumos petroquímicos	1
	• % Disminución de emisiones	Alto % de reducción a través de filtros especiales en chimeneas.	4
	• % Disminución residuos sólidos	Alto % de reciclabilidad	6
	• % Disminución de vertidos	Alto % de uso de P+L	4
	• % Disminución riesgos ruidos, vibraciones, etc.	Uso de equipos especiales de seguridad industrial	3
Valoración Estrategia B.3			48
B.4	Optimización: sistema de distribución	Criterios de sostenibilidad	Puntuación
	• Sistema de empaque: menos/más limpio/ reusable	Alto % de uso de cartón fabricado de residuos de plátano	3
	• Modo de transporte energéticamente eficiente	Alto % de envío por barco	4
	• Logística distribución energéticamente eficiente	Alto % de racionalizar procesos de distribución	2
Valoración Estrategia B.4			9

CUADRO 2.

Aplicación de los doce niveles y sus estrategias de la Rueda de Sostenibilidad de Productos y Servicios Industriales Coclowen (2010), realizada a partir de la Rueda de Ecodiseño de van Hemel (1995) y en el contexto del dAI ampliada por los autores para los aspectos sociales, económicos y político-institucionales para el diseño del producto sostenible final de la Alternativa PF- N° 2, obtenido en la Fase el Cribado de Alternativas de tableros aglomerados de partículas de bambú del Sur del Lago de Maracaibo con adhesivo FF-R5%, según la tecnología existente actualmente en Venezuela para la manufactura industrial de tableros aglomerados. Escala de valoración: (0) ningún impacto negativo; (1) mínimo impacto negativo; (2) mediano impacto negativo; (3) alto impacto negativo; (4) mínimo impacto positivo; (5) mediano impacto positivo; (6) alto impacto positivo.

Continuación Cuadro 2...

Escala de valoración: (0) ningún impacto; (1) ■ mínimo impacto negativo; (2) ■ mediano impacto negativo; (3) ■ alto impacto negativo; (4) ■ mínimo impacto positivo; (5) ■ mediano impacto positivo; (6) ■ alto impacto positivo.

B.5	Reducción del impacto durante el uso	Criterios de sostenibilidad	Puntuación
	• Menor consumo de energía	Ningún % de disminución	0
	• Fuente de energía más limpia	Ningún % de disminución	0
	• Necesita menos consumibles	Ningún % de disminución	0
	• Consumibles más limpios	Ningún % de uso	0
	• Sin desperdicio de energía	Ningún % de disminución	0
	• Sin consumibles/fungibles	Ningún % de disminución	0
Valoración Estrategia B.5			0
C	NIVEL SISTEMA PRODUCTO		
C.6	Optimización vida útil	Criterios de sostenibilidad	Puntuación
	• Nivel de confiabilidad	Alto % de confiabilidad	6
	• Fácil mantenimiento y reparación	Alto % de mantenimiento	6
	• Estructura modular del producto	Alto % de modulación estructural	6
	• <i>Calidad estética del producto</i>	Alto % de cambio y mejora estética	3
	• Fuerte relación usuario-producto	Alto % de relación	4
	• <i>Calidad y comportamiento ambiental del producto</i>	Alto % de calidad ambiental abs./CO2	6
	• <i>Multifuncionalidad del producto</i>	Alto % de multiplicidad de usos	5
	• <i>Nivel de eficiencia al uso del diseño propuesto</i>	Alto % de eficiencia de usos	6
	• <i>Nivel de durabilidad del producto</i>	Alto % de durabilidad según condición	4
Valoración Estrategia C.6			46
C.7	Optimización del sistema de fin de vida	Criterios de sostenibilidad	Puntuación
	• Reuso del producto	Alto % de reuso	6
	• Refabricación	Alto % de refabricación	6
	• Reciclado de materiales	Alto % de reciclado	6
	• Desensamblaje	Ningún % de desensamblaje	0
	• Recuperabilidad de materiales	Alto % de recuperabilidad	6
	• Incineración segura	Alto % de incineración segura	6
	• <i>Valoración económica del retiro del producto</i>	Poco % de valoración económica	6
Valoración Estrategia C.7			36
D	CRITERIOS DE APROPIABILIDAD Y BENEFICIO SOCIAL OBTENIDOS CON EL PRODUCTO DESDE EL dAI		
D.8	Apropiabilidad tecnológica del producto	Criterios de sostenibilidad	Puntuación
	• <i>Nivel efectivo de apropiabilidad en el tiempo del p.</i>	Bajo % de apropiabilidad	0
	• <i>Nivel efectivo de beneficio costo/calidad producto</i>	Alto % de beneficio de costo/calidad	6
Valoración Estrategia D.8			6
D.9	Benef. sociales de procesos, productos y servicios	Criterios de sostenibilidad	Puntuación
	• <i>Nivel de beneficio social de la actividad industrial</i>	Alto % de beneficio social	6
	• <i>Nivel de estabilidad social cuando</i>	Alto % de estabilidad social	6
	• <i>Nivel de seguridad ciudadana</i>	Muy poco % de seguridad ciudadana	1
Valoración Estrategia D.9			13

Continuación Cuadro 2...

Escala de valoración: (0) ningún impacto; (1) ■ mínimo impacto negativo; (2) ■ mediano impacto negativo; (3) ■ alto impacto negativo; (4) ■ mínimo impacto positivo; (5) ■ mediano impacto positivo; (6) ■ alto impacto positivo.

E CRITERIOS ECONÓMICOS OBTENIDOS CON EL PRODUCTO DESDE EL dAI			
E.10	Beneficios económicos a la industria y al cliente	Criterios de sostenibilidad	Puntuación
	• Nivel real de generar demanda nacional del producto por sus características propias de calidad, costo y funcionalidad del producto	Alto % de generación de demanda y apertura de nuevos mercados	6
	• Nivel de % real de demanda del producto del mercado más adyacente a la industria	Alto % de generación de demanda en la zona del Sur del Lago de Maracaibo	6
	• Nivel de competencia por otros productos similares en la región y en el país	Alto % de generar competencia con productos similares en la región y en el país	6
	• Nivel de % requerido de mano de obra calificada	Bajo y Mediano % de mano de obra calificada	4
	• Nivel de generación de trabajo de la actividad industrial	Alto % de generación de fuentes de trabajo en plantaciones y transporte	6
	• Nivel de estabilidad económica del país	Alto % de inestabilidad económica	1
	• Disponibilidad efectiva de terrenos calificados para la actividad industrial propuesta	Alto % de disponibilidad de terrenos	6
	• Disponibilidad real de cercanía de centros de distribución de redes aéreas y marítimas	Alto % de redes de distribución aérea y marítima	5
	• Disponibilidad real de cercanía de centros de distribución de redes terrestres (ferrocarril y/o autopistas).	Ningún % de disponibilidad a ferrocarril y mediana disponibilidad autopistas	0
	• Nivel de estabilidad de la localización de la industria respecto a desastres naturales y condiciones climatológicas	Alto % de estabilidad del terreno	5
Valoración Estrategia E.10			45
F NIVEL DE IMPORTANCIA POLÍTICO - INSTITUCIONAL OBTENIDA CON EL PRODUCTO DESDE EL dAI			
F.11	Pertinencia político – institucional del producto	Criterios de sostenibilidad	Puntuación
	• Nivel de estabilidad política de la región y del país	Alto % de inestabilidad política	1
	• Nivel de seguridad jurídica de la región y del país	Alto % de inseguridad jurídica	1
	• Nivel de actitudes de la comunidad hacia la industria y el producto	Alto % de actitudes de las comunidades a la industria y producto	5
	• Nivel de actitudes de la Administración (gobierno) nacional, regional y local hacia el desarrollo de la industria y el producto	Bajo % de actitudes de la Administración a la industria y producto	1
Valoración Estrategia F.11			8
G @ NIVEL DE DESARROLLO DE UN NUEVO PRODUCTO			
G.12	Caracterización del nuevo concepto	Criterios de sostenibilidad	Puntuación
	• Desmaterialización	Ningún % de desmaterialización	0
	• Uso compartido del producto	Alto % de uso compartido	6
	• Integración de funciones	Ningún % de integración funciones	0
	• Optimización funcional de productos y sus componentes	Mediano % de optimización funcional y de componentes con cambio del tamaño de partículas	2
Valoración Estrategia G.12			8
VALORACIÓN TOTAL DEL NIVEL SOSTENIBILIDAD (ns) DE LA RUEDA DE SOSTENIBILIDAD COCLOWEN DEL PRODUCTO: Tableros aglomerados de partículas de bambú y adhesivo FF-R5%			246 ns

CUADRO 3.
Resumen estratificado
de la valoración
obtenida en el cuadro
2.

A	NIVEL COMPONENTES DEL PRODUCTO		
			Valoración Estrategia A
			27
B	NIVEL ESTRUCTURA PRODUCTIVA DE LA INDUSTRIA Y DEL PRODUCTO		
			Valoración Estrategia B
			57
C	NIVEL SISTEMA PRODUCTO		
			Valoración Estrategia C
			82
D	CRITERIOS DE APROPIABILIDAD Y BENEFICIO SOCIAL OBTENIDOS CON EL PRODUCTO DESDE EL dAI		
			Valoración Estrategia D
			19
E	CRITERIOS ECONÓMICOS OBTENIDOS CON EL PRODUCTO DESDE EL dAI		
			Valoración Estrategia E
			45
F	NIVEL DE IMPORTANCIA POLÍTICO - INSTITUCIONAL OBTENIDA CON EL PRODUCTO DESDE EL dAI		
			Valoración Estrategia F
			8
G	@ NIVEL DE DESARROLLO DE UN NUEVO PRODUCTO		
			Valoración Estrategia G
			8
VALORACIÓN TOTAL DEL NIVEL SOSTENIBILIDAD (ns) DE LA RUEDA DE SOSTENIBILIDAD COCLOWEN DEL PRODUCTO:			
246 ns			
Tableros aglomerados de partículas de bambú y adhesivo FF-R5%			

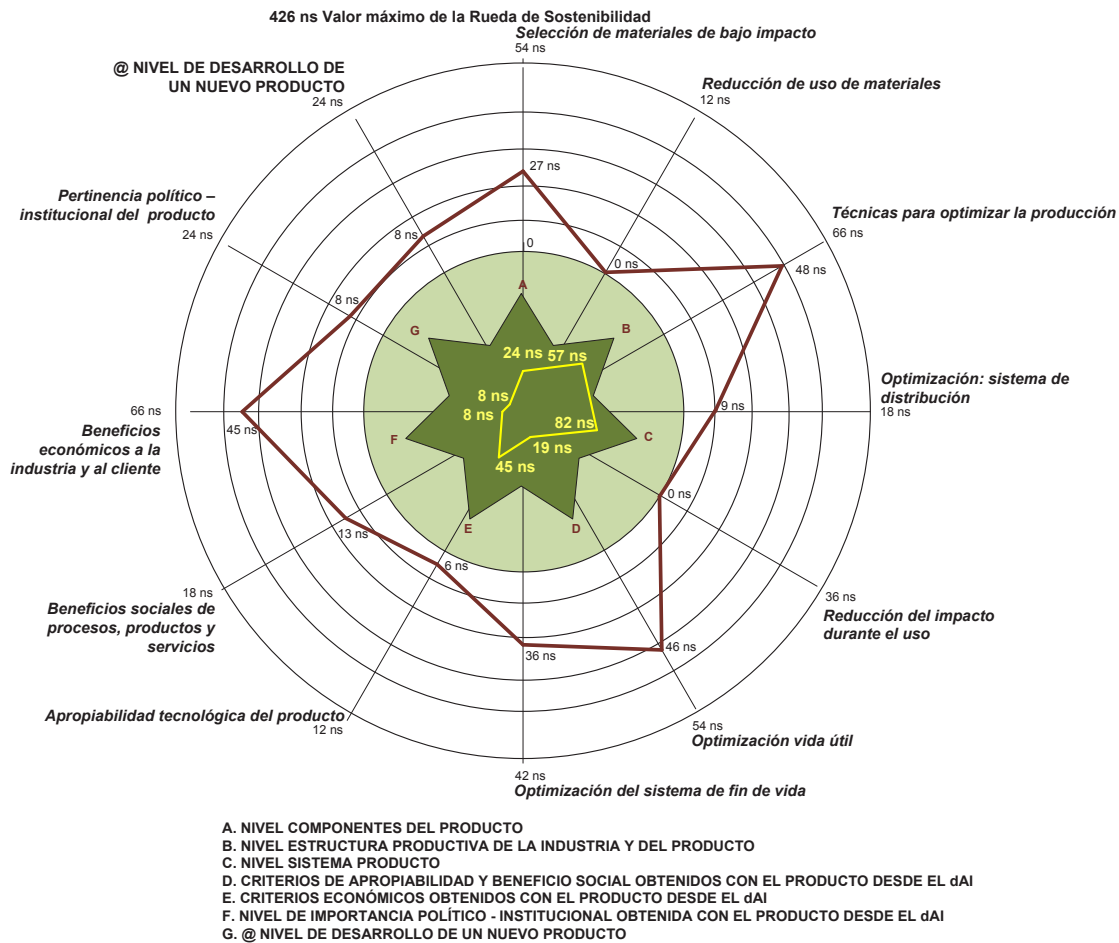


FIGURA 1.
Rueda de la
Sostenibilidad
Coclowen (2010), para
tableros aglomerados
de partículas de
bambú y FF-R5%
indicando los valores
óptimos de ns de
cada Nivel. Fuente:
Elaboración propia.

donde las sub estrategias que definen fortalezas tienen las mayores puntuaciones (escala de valor de 4 al 6) consideradas como positivas en las dimensiones tratadas, de manera similar se extrapolaría a toda la serie de productos manufacturados con gramíneas en las mismas condiciones que éste.

La evaluación del nivel de sostenibilidad “ns” permite definir, a partir de la toma de decisiones de los directivos de la organización, nuevas políticas, planes, programas, procesos, proyectos, productos y servicios, entre otras, actuando según las prioridades en algunas de las sub estrategias.

Cabe destacar que no es obligatorio actuar en los 12 niveles de estrategias al mismo tiempo. Entre otras, se puede hacer mención de las siguientes sub estrategias con fortalezas intrínsecas y extrínsecas para cualquier proceso de manufactura, de productos y de servicios industriales: alto nivel de uso de materiales renovables; menor contenido energético de los materiales; porcentaje real de materiales reciclables producto; distancia efectiva de materias primas naturales; porcentaje de reducción materias primas renovables; nivel de mejora de la logística de la industria; porcentaje de disminución residuos sólidos; nivel de confiabilidad; reciclado de materiales; fácil mantenimiento y reparación; estructura modular del producto; calidad y comportamiento ambiental del producto; nivel de eficiencia al uso del diseño propuesto; reuso del producto; nivel efectivo de beneficio costo/calidad producto; nivel de beneficio social de la actividad industrial; nivel de estabilidad social; nivel real de generar demanda nacional del producto por sus características propias de calidad, costo y funcionalidad del producto; nivel real de demanda del producto del mercado más adyacente a la industria; nivel de generación de trabajo de la actividad industrial; disponibilidad efectiva de terrenos calificados para la actividad industrial propuesta y uso compartido del producto.

La aplicación de la rueda de la sostenibilidad proyecta las siguientes consideraciones: el bambú es una planta de rápido crecimiento siempre y cuando tenga calidad de suelo, suficiente agua y mano de obra calificada en su siembra, cosecha, transformación primaria y traslado a la planta industrial. Resaltan la calidad de los suelos del Sur del Lago de Maracaibo y sus grandes plantaciones de frutales (plátano), tubérculos y ganadería; el potencial hídrico de los ríos Chama o Mucujepe, entre otros, para dotar de agua a las plantaciones de gramíneas; y una población rural joven que sensibilizada y capacitada, puede ser incorporada a este gran proyecto agroindustrial.

Desde el punto de vista del ambiente y producción las gramíneas en general presentan notables ventajas respecto a las plantaciones forestales, caso de la especie teca (***Tectona grandis***) cosechada en los Llanos Occidentales de Venezuela, mayoritariamente en el estado Barinas o al pino Caribe (***Pinus caribaea*** var. ***hondurensis***) de la Orinoquia. Como ventajas comparativas más importantes consideradas en el presente estudio, se pudieran indicar: una vez establecida la plantación se denota el rápido crecimiento del bambú el cual crece al día un promedio aproximado de 20 cm y en unos 5 a 6 meses alcanza el tamaño idóneo para su aprovechamiento artesanal o industrial, dando paso a rebrotes de nuevas cañas con diámetro uniforme, a diferencia de la teca que puede durar entre 20 a 25 años y para el pino Caribe entre 13 y 15 años; por las características de plantaciones de bambú en terrenos húmedos los riesgos de incendio son menor; pero la mayor ventaja es que las plantaciones de bambú logran producir más del 35% de oxígeno, y la producción de carbono y biomasa puede ser desde un 7% hasta un 30% más que las plantaciones de madera; una hectárea de guadua, y similarmente el bambú, pueden llegar a producir siete veces más biomasa y fijación de carbono que una hectárea de teca en un periodo de 40 años

(Espinosa, 2003; Bambú Guazú, 2010; Guadua Bamboo, 2010; Novillo, 2009).

Destacan las debilidades con menores puntuaciones (escala de valor de 0 al 3) consideradas como negativas, las siguientes sub estrategias de los niveles: porcentaje de uso de combustibles alternativos transporte; las seis sub estrategias que componen la reducción del impacto durante el uso; el nivel de desensamblaje; nivel efectivo de apropiabilidad de la tecnología en el tiempo del producto; disponibilidad real de cercanía de centros de distribución de redes terrestres (ferrocarril y autopistas); la desmaterialización del producto; y la integración de funciones del producto. Las valoraciones negativas, son el resultado de las claras deficiencias y falta de existencia de éstas en los procesos de manufactura y en la estructura misma del producto y sus servicios. Resalta la falta de una red de ferrocarril y eficientes autopistas que propicien la adquisición de algunas materias primas, caso del adhesivo FF y la distribución racional final de los productos manufacturados en el ámbito local, nacional e internacional. Las más discutidas han sido las referidas a: el nivel de estabilidad política de la región y del país; el nivel de seguridad jurídica de la región y del país; y el nivel de seguridad ciudadana. Todos en su conjunto, afectan el desarrollo exitoso de la propuesta de establecimiento de una infraestructura agroindustrial en la actualidad, salvo que el Ejecutivo Nacional asuma un rol protagónico para este tipo de proyectos.

3.2 FASE DE GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DEL DISEÑO INDUSTRIAL DEL PRODUCTO

El Ecodiseño procura, entre otras estrategias: la disminución del consumo de energía; la desmaterialización; racionalización de las rutas de obtención de materias primas y distribución de los productos manufacturados; la reciclabilidad; la disminución del uso de combustibles fósiles; el mayor empleo de materias primas recicladas versus materia prima proveniente de fuentes

naturales; disminución de vertidos, residuos, emisiones y otros factores de contaminación del medio ambiente; propuestas de materias primas alternativas. Por ello, en esta fase se generaron alternativas usando el método creativo de *tormenta de ideas*, todas dentro del contexto del Ecodiseño antes mencionado.

A partir de la propuesta de uso del bambú (*Bambusa vulgaris*), a pesar de que en Venezuela no se tengan plantaciones forestales de esta gramínea, ni de guadua (*Guadua angustifolia*) o caña brava (*Gynerium sagittatum*), se observa que este tipo de propuesta de manufactura industrial de productos forestales puede ser en su totalidad más sostenible. Lo que no se pone en duda es la validez prospectiva de este tipo de proyectos, los cuales son una puerta franca hacia grandes horizontes alternativos para la economía, el ambiente y cultura constructiva del país. Y es que los altos decisores del Estado venezolano se deberían abocar con urgencia a procurar fortalecer y concretar estas propuestas como otra forma de desarrollo del país en el marco del desarrollo sostenible. Por ello, se dinamiza el pensamiento y se hace visionaria la propuesta de la manufactura de tableros aglomerados de partículas de bambú proveniente de las plantaciones a ser establecidas en el Sur del Lago de Maracaibo, región que como los Llanos Centro Occidentales y otras regiones del país, presentan condiciones idóneas para el desarrollo y consolidación efectiva de las mismas.

La investigación, a partir de la aplicación de la Rueda de Sostenibilidad Coclowen, llegó a definir varias acciones de mejora que harán aumentar los niveles de sostenibilidad de la manufactura de tableros de bambú referidas a los siguientes aspectos ya planteados en el apartado de materiales y métodos:

- a. *Procedencia de la obtención de las cañas de bambú dentro de la plantación.* Para hacer más racional el proceso de aprovechamiento

to de la plantación, se definió el uso de las cañas obtenidas de los sistemas de aclareo, por medios manuales y artesanales lo cual involucra mano de obra de las comunidades adyacentes a las plantaciones. Por otro lado, el aclareo permite el fortalecimiento, rectitud y mejor crecimiento de las cañas destinadas para la manufactura de edificaciones y muebles. De esta forma se aprovecha esta materia prima y se está mejorando la plantación existente, dándole un uso racional y aumentando su valor agregado (Figura 2).

- b. *Calidad y tamaño de las partículas.* Para la manufactura de los tableros aglomerados de partículas, se determinó que las cañas de bambú no requieren de mayores exigencias, salvo que estén limpias, libres de defectos ocasionados por agentes xilófagos, incendios, etcétera.
- c. *Cantidad de adhesivo FF, referenciado por la resinosidad (R%).* Por criterios ambientales, la investigación desarrolló una etapa previa, de ensayos preliminares para estudiar la factibilidad de varias posibilidades técnicas de resinosidad del adhesivo FF manufacturado por la empresa RESIMON C.A.

En la etapa de ensayos preliminares para determinar la proporción más idónea de contenido de adhesivo de FF en la fabricación de tableros aglomerados de partículas de bambú, se definió finalmente que de las cuatro alternativas de resinosidad propuestas de FF-R3%; FF-R5%; FF-R7% y FF-R9% y con tiempos de prensado de 5 min, 8 min, 10 min y 12 min, todos a una temperatura de 180°C, la mejor alternativa a las exigencias de los objetivos de la investigación fue la de resinosidad R5% con un tiempo de 8 min, ya que presentaron una consistencia fuerte y buen acabado superficial. Los valores superiores a estos fueron descartados.

d. *Tipo de tratamiento de labrado mecanizado para garantizar la calidad del encolado.* El único tratamiento aplicado en el trabajo a la caña brava fue el de cepillar la cara externa de las cañas, que es impermeable y la cara interna de las tiras a fin de eliminar el mayor porcentaje de material parenquimatoso; con ello evitar posteriores problemas de humectación del adhesivo FF, que pudieran afectar el comportamiento de la línea de cola, tal como lo reportó Contreras *et al.* (2006).



FIGURA 2. Vista general de una mancha de bambú y detalle de la competencia entre cañas y deterioro de las mismas por agentes xilófagos, lo cual exige un aclareo continuo en el tiempo. Foto: María Rondón Sulbarán.

3.3 FASE DE CRIBADO DE ALTERNATIVAS, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV COCLOWEN PRELIMINAR) Y REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DEL PRODUCTO INDUSTRIAL

Los resultados del proceso de cribado de alternativas, se obtuvieron a partir del empleo de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), con el método ACV Coclowen preliminar (Cuadro 3) y la matriz de requerimientos de diseño del producto industrial RD_{sp} (Cuadro 4). Aplicados éstos a las cuatro alternativas definidas en el apartado C del punto 3.1; se llegó a la conclusión que la mejor alternativa según las consideraciones metodológicas del Ecodiseño fue la Alternativa PFI – N° 2 de FF-R5%. La valoración total de la sumatoria del ACV Coclowen₂ (-73 PU) y los RD_{SP-2} (100 PU), fue de $\Sigma CA_{SP-2} = + 27$ PU. El resto de alternativas N° 1, N° 3 y N° 4, arrojaron valoraciones totales de: $\Sigma CA_{SP-1} = -51$ PU; $\Sigma CA_{SP-3} = -33$ PU; $\Sigma CA_{SP-4} = - 75$ PU.

En estudio de ACV denota que la Etapa de *Obtención de Materias Primas* obtuvo una valoración positiva de 16 PU, en razón de la consideración de que una vez estén establecidas en la Zona Sur del Lago de Maracaibo, se producirían mayores beneficios medioambientales, sociales y económicos, en contraposición con los impactos por la fabricación, obtención y transporte del adhesivo.

La Etapa de *Procesos* es lo que tiene la mayor valoración de la Puntuación Única del ACV con -93 PU. Al ubicar este valor en la Escala de Sostenibilidad de ACV propuesta por Contreras *et al.* (2009), la Alternativa PFI – N° 2, se ubica en el nivel de -150 a -25 correspondiente al Rango de Tolerancia a la Mejora de Aspectos Negativos del Sistema Producto. Esta localización proyecta al producto en un contexto medioambiental de menor impacto con tendencia a la mejora de aspectos ambientales muy puntuales, los cuales pueden ser resueltos con la toma de decisiones oportunas por los futuros directivos, al momento del desarrollo del diseño

y planificación de la futura industria. El ACV, permite identificar esos aspectos de valoraciones negativas significativas, a fin de ser previsivos y proactivos en la gestión industrial.

Según lo reportado en el cuadro 3, donde se puede apreciar que los mayores valores negativos de los niveles de sostenibilidad están concentrados en la Etapa de *Fabricación del Producto*. Y es que los procesos industriales de maquinaria de serie continua, caso del tipo empleado para la elaboración de tableros de partículas, requiere de significativas cantidades de energía; generación de vertidos, residuos sólidos, emisión de gases contaminantes; emisiones de calor; y riesgos a los trabajadores en la salud humana en los procesos. El contexto anterior requiere considerar mayores exigencias técnicas, que permitan aplicar procesos más ecoeficientes y mejor tecnología a la tradicionalmente empleada en la actualidad en Venezuela en materia de manufactura de tableros aglomerados de partículas y en el caso de la presente investigación, procurar mejorar la existente en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales.

La Etapa de *Transporte*, arrojó una valoración de -21 PU, dado por el análisis del estado actual y sus tendencias futuras del parque automotor de Venezuela, en lo referido a las gandolas (camiones), sus altos niveles de emisiones de CO₂, ruidos y vibraciones, perjudiciales tanto para el conductor como para el medio ambiente, del mal estado físico y seguridad ciudadana de las vías nacionales, sin dejar de lado el proceso de diseño y racionalización de las rutas de obtención de las materias primas y distribución de productos manufacturados, con los respectivos ahorros de combustibles fósiles.

La Etapa de *Uso* con proyección a 100 años, presenta una valoración positiva de +41 PU. Los tableros, manufacturados con materiales lignocelulósicos de bambú, al igual que la madera sólida, presentan una buena contribución ambiental con la retención de carbono de

Consideraciones técnicas más importantes del Producto	Sub sistema	Valor sub sistema	Parcial	Principales aspectos de las etapas
Se denota que la Etapa de Obtención de materias primas, una vez que estén establecidas en la Zona Sur del Lago de Maracaibo, producen mayores impactos ambientales y sociales que las etapas de fabricación y transporte, debido a los impactos por la fabricación, obtención del adhesivo y su transporte.	Obtención	16	39	Obtención bambú en plantaciones Sur del Lago M.
La Etapa de Proceso son los que tienen la mayor valoración de la Puntuación Única del ACV con -93, en la cual se puede apreciar que los procesos de fabricación de los tableros aglomerados de partículas de bambú, generan impactos, dado que los procesos industriales de maquinaria de serie continua requieren de significativas cantidades de energía, generación de residuos sólidos, emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación acústica y en la salud humana en los procesos. Este contexto exige de mayor exigencia en aplicar procesos más acéfalos y mejor tecnología en la fabricación de los tableros aglomerados de partículas. En Venezuela en materia de manufactura de tableros aglomerados de partículas, específicamente a la existente en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales, la cual es dentro una tecnología de más de 40 años.	Procesos	-93	-14	Obtención adhesivo FF, Resimón, Valencia, Venezuela
			4	Transporte cañas a industria (300km)
			-13	Transporte adhesivo FF a industria (650 km)
			-4	Patio almacenaje, opilado y limpieza de cañas
			-5	Transformación cañas a partículas en viruleadora
			-7	Tamizado y clasificación partículas
			-15	Preservación partículas (Acido bórico 80% Boro 40%)
			-11	Secado de las partículas < 4%CH
			-14	Enrollado de las partículas
			-14	Formación colchón, prensado
			-18	Prensado del tablero 180°C y 8 min.
			-11	Corte final de los tableros
Esta etapa requiere de mayor seguridad en el manejo de los residuos sólidos y mejor control de emisiones.	Transporte	-21	1	Almacenaje y acondicionamiento tableros
			5	Venta de los tableros a distribuidores
			-13	Transporte a distribuidores 850 km
La Etapa de Uso a 100 años proyecta una buena contribución a la retención de carbono (CO2), disminución de requerimientos de materia prima madera y todos los impactos que significan al tener que suplir la necesidad de tableros para la actividad venezolana.	Uso a 100 años	41	-8	Transporte a cliente final 100 km
			4	Montaje de los tableros a los paneles
			0	Desmontaje de los tableros para retro
En Venezuela es muy crítica la situación actual de los vertederos, razón por lo que sus impactos han dado negativo.	Disposición final	-16	37	Uso del tablero y sus apoles ambientales (CO2, etc.)
			-4	Reciclar partes del tablero 80%
Valoración total del ACV Simplificado Sistema Producto ACV de tableros aglomerados de bambú FF R5%		-73	-12	Disposición final a vertedero de residuos 20%

CUADRO 3.
Análisis de Ciclo de Vida de la Alternativa PFI – N° 2 de tableros de partículas de bambú con FF- R5% con el Método ACV Coclowen preliminar.

Análisis cuantitativo preliminar de los Requerimientos de Diseño más importantes del producto a partir del dAI.		
Parcial	Principales requerimientos de las etapas	
36	Requerimientos del Ecodiseño	
31	Requerimientos Tecnológicos - Ecoeficiencia	
33	Requerimientos Socio-Económicos	
100	Consideraciones técnicas más importantes del producto.	
	Ecodiseño: El producto final seleccionado está en correspondencia con las exigencias de la metodología del Ecodiseño ya que reporta la mayor puntuación de los objetivos trazados en la investigación, según cada una de las valoraciones obtenidas, especialmente en reciclabilidad, reutilización y uso de productos naturales renovables, entre otros.	
	Tecnológicos - Ecoeficiencia: La valoración de este apartado se refiere sólo a la calidad del producto y sus implicaciones de uso, reutilización, reciclabilidad, resistencia, entre otros aspectos técnicos. No evalúa los procesos industriales y sus posibles impactos, dado que han sido valorados en el ACV Cociowen Simplificado preliminar.	
	Socio-Culturales: La valoración ha sido positiva por todas las implicaciones medioambientales de proyectar el uso del bambú y otras gramíneas en Venezuela, en especial, el establecimiento de un programa de plantaciones en el Sur del Lago de Maracaibo y los beneficios sociales a las comunidades rurales del sector.	
	Valoración Total ΣRTDsp tableros bambú FF R5%	
	3	3
	3	3
	3	3
	-1	3
	0	0
	-1	3
	2	1
	0	3
	0	0
	3	3
	1	0
	1	2
	0	-2
	3	0
	3	0
	2	-1
	3	3
	3	3
	2	2
	0	2
	3	0

CUADRO 4.

Análisis y valoración de los principales requerimientos de diseño de la Alternativa PFI – N° 2 de tableros de partículas de bambú con FF- R5%.

3	3	3	Reciclabilidad del producto o sus partes
3	3	3	Reutilización del producto o sus partes
3	3	3	Uso de productos naturales (madera, gramínea, otros)
-1	3	-1	Uso de productos químicos (adhesivo, preservantes, otros)
0	0	0	Uso productos metalúrgicos (acero, aluminio, otros)
-1	3	0	Nivel de consumo de recursos naturales (agua, gas, otros)
2	1	1	Nivel de ahorro de materias primas naturales
0	3	2	Nivel de ahorro de materias primas químicas
0	0	0	Nivel de ahorro de materias primas metalúrgicas
3	3	3	Nivel de resistencia física y mecánica del producto
1	0	1	Nivel de estética del producto
1	2	0	Calidad de los acabados superficiales del producto
0	-2	2	Nivel de complejidad de procesos de manufactura
3	0	3	Flexibilidad de diseño para otras aplicaciones
3	0	3	Competitividad económica del producto respecto a los existentes
2	-1	0	Costo y ahorro energético de procesos
3	3	3	Proyección económica futura del producto y sus procesos
3	3	3	Proyección social del producto y sus procesos
2	2	2	Protección a agentes xilófagos, humedad, etc. con c/ecolo.
0	2	2	Nivel de posibilidades de mejora del producto y procesos
3	0	3	Nivel de calidad funcional del producto a los objetivos de uso

las emisiones de CO₂. Sumado a ello, la disminución de requerimientos de materia prima de madera de los bosques naturales y de plantaciones forestales al ser sustituidos por el uso del bambú. Además, se obtendrían impactos ambientales positivos, al tener la posibilidad de suplir la necesidad de tableros aglomerados de partículas para la sociedad en general, con el uso intensivo de las gramíneas como materia prima alternativa en Venezuela.

La Etapa de *Disposición Final* arrojó el valor de -16 PU, dado que en Venezuela es muy crítica la situación actual de más de 300 vertederos a cielo abierto con todos sus impactos ambientales y sociales negativos. Al aumentar los niveles de reciclabilidad y reutilización se podrían obtener valores positivos.

3.4 FASE DE DESARROLLO TÉCNICO DE LA MANUFACTURA DEL PRODUCTO INDUSTRIAL FINAL SELECCIONADO

3.4.1 COEFICIENTE DE ESBELTEZ DE LAS PARTÍCULAS

En el cuadro 5 se expone el valor promedio del Coeficiente de Esbeltez (E), siendo el valor determinado de 99,29, el cual se encuentra dentro del rango indicado por Medina (1975) y Peredo (1988) citados por Valero *et al.* (2005), quienes sugieren un rango de 60 a 120 para la fabricación de tableros de partículas y así poder obtener propiedades físicas y mecánicas aceptables.

Maloney (1977), expone que la geometría de las partículas es un factor importante en la calidad futura de los tableros en razón de que ésta influye en las propiedades

Rango de tamaño en ancho (mm)	Proporción en peso (%)	Largo (l) (mm)	Espesor (e) (mm)	E= l/e
> 20 mm	7,15	26,01	0,22	118,23
10 - 20 mm	47,29	16,38	0,14	117,00
< 10 mm	45,56	6,89	0,11	62,64
	Promedio	16,43	0,16	99,29

CUADRO 5.
Coeficiente de
Esbeltez de las
partículas de los
tableros de bambú.

mecánicas, tales como la resistencia a la flexión, la resistencia de la tensión paralela y perpendicular a la superficie, capacidad de retener tornillos y clavos. Por otro lado, es un factor complejo que se incrementa con el hecho de que cuando existen diversos tamaños de partículas, especialmente pequeñas, éstas en el proceso de encolado llegan a generar grumos o amasijos, los cuales deben ser quitados para mantener homogénea la densidad del tablero, tal como aconteció en la presente investigación. Las partículas pequeñas (<10 mm = 45,56%), se generaron debido al tipo de maquinaria viruteadora usada en la Sección de Aglomerados del LNPF, razón por la cual al momento del tamizado se perdía material, al igual que en el encolado con la formación de grumos o amasijos, que al sacarlos, afectó ligeramente la densidad final de los tableros manufacturados.

3.4.2 PROCESO DE MANUFACTURA DE LOS TABLEROS

Respecto al proceso de manufactura de los cuatro (04) tableros aglomerados de partículas de bambú con adhesivo FF-R5%, identificado en el presente trabajo según la Fase 3, como Producto Forestal Industrial (Alternativa PFI – N° 2), se puede señalar que el mismo fue satisfactorio, presentando similares situaciones a las planteadas por Contreras *et al.* (2004; 2006), sobre la dificultad técnica en la fase de encolado con la caña brava. Esto se debió a las características propias de humectación y viscosidad del adhesivo FF, manufacturado por RESIMON C.A., lo que impidió hacer uso de la máquina encola-

dora de la Sección de Aglomerados del LNPF-ULA-MINAMB. Esto motivó al uso de un trompo de mezcla de cemento con la adaptación de un dispositivo de tapa para el encolado de las partículas, realizado de forma manual con pistola de aspersión para fluidos de mayor viscosidad. Esta única dificultad superada en la fabricación del producto forestal de la presente investigación no puede ser nunca desestimada, ya que esta institución, como lo expuso Barrios *et al.* (2010), tiene en su historial una multiplicidad de trabajos de primer nivel, los cuales han sido realizados desde su fundación en el año 1961.

3.4.3 RESULTADOS DE LA ELABORACIÓN DE ENSAYOS Y DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS TABLEROS AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS DE BAMBÚ CON ADHESIVO FF-R5%.

El cuadro 6, resume los valores promedios determinados de los ensayos de propiedades físicas y mecánicas definidas en la Sección de Ensayos del LNPF-ULA-MINAMB de cada una de las probetas extraídas de los tableros manufacturados. Se muestran también los valores comparativos según lo exigido por la Norma Venezolana COVENIN (1991) N° 847-91; los resultados obtenidos por Moreno *et al.* (2007) de los esfuerzos de diseño de los tableros de partículas de bambú a una densidad teórica de 600 kg/m³ con adhesivo urea formaldehído (UF- R8%); y los valores de los tableros aglomerados de partículas de madera con UF, espesor de 19 mm, elaborados por MASISA (2010a; 2010b).

Es importante resaltar que cada una de las propiedades físicas y mecánicas de los tableros elaborados proyectan la calidad para algún uso determinado en el campo de la construcción y del mueble, estando regulado por normas, como la ASTM y DIN, que establecen cómo tomar las probetas, la forma de efectuar los ensayos y de determinar los valores promedios de cada propiedad.

3.4.3.1 COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE TABLEROS DE BAMBÚ FF-R5% CON LOS EXIGIDOS POR LA NORMA VENEZOLANA COVENIN (1991) N° 847-91

Los esfuerzos de diseño referidos a las propiedades físicas y mecánicas obtenidas en los ensayos de los tableros de bambú, al ser comparados en el cuadro 6, con los valores exigidos por la Norma COVENIN N° 847-91, denota que éstos no cumplen con la norma venezolana. Se debe hacer una acotación técnica muy importante, debido a que la comparación en el presente apartado es sólo como referencia técnica, ya que la norma venezolana está diseñada para tableros aglomerados de partículas de madera y no para tableros manufacturados con materiales lignocelulósicos alternativos, como es el caso del uso de gramíneas como el bambú, la guadua o la caña brava cuyas propiedades son muy diferentes a las de la madera.

En ese sentido, se puede señalar que al estudiar en los planos laterales cada una de las probetas de los tableros de partículas de bambú con FF-5%, se determinó que éstas presentaban gran cantidad de espacios internos vacíos. Además, desde el punto de vista anatómico, por los altos valores obtenidos de hinchazón o variación de espesor a las 24 horas, se puede inferir que la especie de bambú empleada en la presente investigación proveniente del Sur del Lago de Maracaibo es altamente higroscópica. Estas

características pudieron influir en la generación de un mayor porcentaje de hinchazón a las 24 horas, así como, la obtención de valores bajos en los ensayos de tracción, que a pesar del buen encolado, su excelente dureza al tacto y manipulación de las probetas, hicieron que no se cumpliera con lo exigido por la Norma COVENIN N° 847-91. También pudo tener una influencia negativa la proporción en peso (%) de las partículas de bambú con tamaño menor a 10 mm definido en el cuadro 5 del Coeficiente de Esbeltez, las cuales tenían una proporción de más de 45,56 % de la totalidad del peso de las muestras. La ubicación de estas partículas en el conjunto del tablero pudo haber impedido una excelente traba e interconexión entre ellas (Figura 3). De ahí, que en próximas investigaciones, se recomienda mejorar el proceso de tamizado para uniformizar aún más el tamaño de partículas y disminuir el porcentaje de partículas de menores tamaños.

Respecto a los valores de tracción, en el cuadro 6 se observa que la norma venezolana determina un valor de 3,50 kg/cm², y en el caso de los tableros de bambú apenas se aproxima al 50% de su valor, obteniéndose un valor de 1,65 kg/cm². El análisis de los aspectos que afectan negativamente la resistencia de los tableros, además de los espacios vacíos y el porcentaje de partículas menores a 10 mm, pudiera ser, debido como primer factor de importancia, a la poca cantidad del adhesivo FF con R5% y la baja calidad de humectación, respecto a la totalidad de las partículas. Esto es producto del empleo, en la presente investigación, de una encoladora de aspersión, ya que el adhesivo FF presentó alta resinosidad, lo cual impedía una buena aplicación con la encoladora tradicionalmente empleada en la fabricación de tableros de la Sección de Aglomerados del LNPF-ULA-MINAMB.

MECÁNICAS FÍSICAS	PROPIEDADES	NORMAS COVENIN N° 847 – 91	Tableros de bambú con adhesivo urea-formaldehído (UF-R8%) Moreno <i>et al.</i> (2007)	Norma E-1 de CEE para tableros aglomerados y referenciado por MASISA(2010a,b,c.) Esp: 19 mm	Tableros de bambú con adhesivo fenol-formaldehído (FF-R5%) Esp: 19 mm
	Densidad (g/cm ³)	0,600 - 0,800 mediana densidad	0,580 R 8 % (0,600 de densidad teórica)	0,680	0,646
	Absorción Agua % 2h	25	74,08	X	53,81
	Absorción Agua % 24h	60	89,62	X	74,17
	Variación Esp. % 2h	6	7,67	X	14,48
	Variación Esp. % 24h	15	8,91	24	23,92
	Flexión estática MOR kg/cm ²	180	122,62	112,2 kg/cm ² (11,0 N/mm ²)	134,61
	Adhesión interna (Tracción Perpendicular). Kg/cm ²	3,50	1,56	4,08 kg/cm ² (0,40 N/mm ²)	1,65
	Dureza (kg)	X	X	X	352,71
	Extracción de clavos (kg)	X	X	X	40,71
	Extracción de tornillos (kg)	X	X	71,38 kg (700N)	176,50

CUADRO 6. Resumen comparativo de los valores promedios obtenidos de los ensayos de los tableros de partículas de bambú con FF-R5%, respecto a otros valores referenciales de la normativa venezolana COVENIN, Moreno *et al.* (2007) y de la Comunidad Europea E-1.

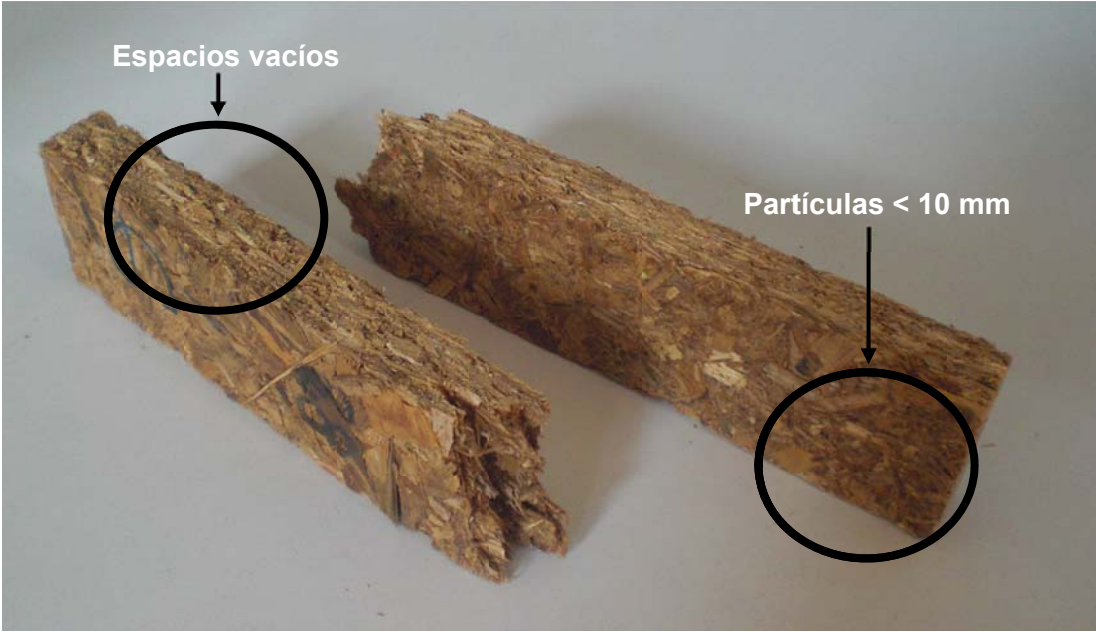


FIGURA 3. Vista de una de las probetas ensayadas a flexión y la definición de algunos defectos técnicos encontrados. Foto: Mary O. de C.

3.4.3.2. COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE TABLEROS DE BAMBÚ FF-R5% CON LOS VALORES OBTENIDOS POR MORENO ET AL. (2007)

En el cuadro 6, se realiza la comparación de los esfuerzos de diseño referidos a las propiedades físicas y mecánicas obtenidas de los tableros de bambú, con los valores desarrollados por Moreno *et al.* (2007), dado que ambos fueron manufacturados por igual en el LNPF-ULA-MINAMB, bajo similares condiciones. Se observan las siguientes características técnicas: los tableros FF-R5% presentaron una densidad real de 0,646 g/cm³ respecto a los de UF-R8% que tuvieron una densidad de 0,580 g/cm³; resultaron favorables los valores de los primeros tableros, al tener un menor porcentaje de absorción de agua en los periodos de 2 horas y 24 horas; de igual forma, los FF-R5% fueron ligeramente mejor a los de UF-R8%, al determinarse valores mayores de resistencia a la flexión estática (MOR) y de adhesión interna (tracción perpendicular); en los primeros tableros se consiguieron valores menores de manera significativa en la propiedad de hinchazón del tablero respecto a los segundos.

Al comparar procesos de manufactura, se determinó que ambos fueron similares en lo que respecta a los siguientes aspectos técnicos como, igual empleo de materia prima lignocelulósica (bambú), pero de distinta procedencia geográfica y diferente empleo de adhesivos. Se puede inferir que los resultados positivos en la comparación de resultados entre tableros, pudiera deberse al uso de un adhesivo estructural como lo es el fenol formaldehído (FF) respecto al urea formaldehído (UF).

3.4.3.3 COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE TABLEROS DE BAMBÚ FF-R5% CON LOS VALORES DEFINIDOS POR LA NORMA E-1 CITADOS POR MASISA (2010 A; 2010 B; 2010 C)

A continuación se comparan los esfuerzos de diseño referidos a las propiedades físicas y

mecánicas obtenidas de los tableros de bambú FF-R5%, con los valores definidos por MASISA (2010 a; 2010 b; 2010 c) para tableros de partículas de madera con densidad de 0,680 g/cm³ y espesor de 19 mm, los cuales son tableros de partículas de madera unidas entre sí, mediante un adhesivo en base a resina urea formaldehído (UF), que agrupa las ventajas más importantes de los tableros aglomerados: grandes dimensiones, variados espesores desde 6 mm hasta los 34 mm con diferentes usos, superficies lisas y homogéneas y cualidades normalizadas según normas DIN para tableros de partículas, especialmente de madera.

Se denota que la norma que referencia esta empresa chilena transnacional está basada en los estándares europeos de la Norma Clase E-1 de baja emisión de formaldehído de la Comunidad de Estados Europeos (CEE), los cuales a su vez, son más específicos al caso de estudio respecto a los valores expuestos por la norma provisional venezolana COVENIN N° 847-91, para tableros de partículas de madera.

Al realizar las comparaciones se puede indicar que los tableros de bambú FF-R5% con la Norma E-1 de tableros de baja emisión de formaldehído y de espesor 19 mm, se obtiene que solamente no cumplen con la exigencia de adhesión interna o resistencia a la tracción interna, debido a los aspectos técnicos analizados en el punto 3.4.3.1. Los valores son ligeramente inferiores respecto a los de la norma en el ensayo de hinchazón a 24 horas y superan los valores requeridos para flexión y extracción de tornillos.

Finalmente, se puede resaltar desde el punto de vista de proyección de usos que la referencia de la Norma E-1 CEE, favorece la proyección de empleo en el ámbito nacional y de Europa de los tableros manufacturados y analizados en el presente trabajo para la estructuración de muebles, recubrimientos de mamparas de paneles o puertas, entarimado para pisos y entrepisos de edificaciones,

gabinetes, entre otros usos constructivos. Por hacerse uso de FF, el cual es un adhesivo de características estructurales, los tableros de bambú pueden llegar a ser empleados en zonas húmedas siempre y cuando las partículas lignocelulósicas sean tratadas con sustancias preservantes sostenibles. Se recomienda la aplicación de sustancias repelentes de la humedad, caso de ceras o parafinas para mejorar esta propiedad, además, mejorar la calidad del encolado en la aplicación del adhesivo FF para aumentar la resistencia a la adhesión interna.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se determinó la aplicación exitosa del Ecodiseño como metodología para la mejora de los aspectos ambientales, sin dejar de disminuir la calidad de resistencia y usos de la manufactura de tableros aglomerados de partículas de bambú y adhesivo fenol formaldehído con resinosidad R5%. Éstos obtuvieron una valoración de buena sostenibilidad ambiental, social, económica y político-institucional según lo desarrollado en la aplicación de la Rueda de Sostenibilidad de Productos y Servicios Colclowen (2010).

Los tableros cumplen con la mayoría de los requerimientos exigidos según la Norma E-1 de baja emisión de formaldehído de la Comunidad de Estados Europeos (CEE) y fueron mejores al ser comparados con los tableros de partículas de bambú fabricados con similares condiciones técnicas por Moreno *et al.* (2007).

Los tableros no cumplen de manera general con los requerimientos de la norma provisional venezolana COVENIN N° 847-91 para partículas de madera, la cual se considera que tiene un alto nivel de exigencia, más aún si se considera que los tableros evaluados son de gramíneas. A pesar de ello, los tableros realizados en la Sección de Aglomerados del LNPF-ULA-MINAMB, fueron de buena calidad, estética visual y manipulación al tacto, aún con los problemas técnicos

presentados de uniformidad del tamaño de partículas en el proceso obtención de las virutas, pero especialmente en la aplicación del adhesivo FF con el uso de una encoladora de aspersión manual en el proceso de encolado.

Se proyecta el uso futuro de los tableros, en caso de que Venezuela establezca un plan nacional y regional en la zona Sur del Lago de Maracaibo, de plantaciones de bambú y resto de gramíneas, para ser empleados en la construcción de revestimientos de paneles (tabiques), para paredes, entrepisos y pisos. Éstos pueden ser empleados en zonas húmedas siempre que se apliquen tratamientos de preservación contra el ataque de agentes xilófagos y de productos acerados aislantes del agua, dadas las características anatómicas de alta higroscopicidad que presenta el bambú.

Sumado a ello se resalta que los tableros fabricados expuestos por 24 horas a la humedad presentaron estabilidad física sin delaminarse, a pesar de la variación dimensional, respondiendo este comportamiento al uso del adhesivo fenol formaldehído, el cual posee características estructurales y denotada resistencia al agua.

Desde el punto de vista prospectivo, los tableros pueden ser usados en instalaciones comerciales, utilería, escenografías y conformación integral de muebles, partes y piezas para su posterior recubrimiento con melanina, pinturas u otros acabados superficiales.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer de manera muy especial al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico, Tecnológico y Arte de la Universidad de Los Andes (CDCHTA-ULA) por el financiamiento del proyecto identificado con el código FO-665-08-01-B y titulado *"El Diseño Ambientalmente Integrado en la elaboración de insumos constructivos económicos para cerramientos externos de viviendas, a partir del empleo de caña brava y bambú"*, y donde el actual trabajo, es el

primer resultado de toda una serie de productos forestales desarrollados en el LNPF-ULA-MI-NAMB; Agradecemos al Prof. Darío Antonio Garay Jerez, Jefe de la Sección de Aglomerados; a los Técnicos Superiores Forestales Elexides Márquez y Rolando Betancourt, así como, a todo el personal que labora en las distintas dependencias del LNPF-ULA-MINAMB, por su apoyo institucional en un laboratorio que investiga para construir un mejor mañana.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AENOR. 1996. Norma UNE 150040 (1996). En línea: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0021542&pdf=> [Consultado: 15/03/2010].
- AENOR. 1998. Norma UNE 150040. En línea: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0014221&pdf=> [Consultado: 15/03/2010].
- ASTM. 1975. *American Society for Testing and Materials. Novolatile content of urea-formaldehyde resins solutions D1490-67-1973*. In Annual book of ASTM standards. Part 22: Wood and adhesives. Philadelphia. USA. 76 p.
- BARRIOS E., W. CONTRERAS y M. SOSA. 2010. *El Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF), y su rol histórico en la investigación tecnológica de la madera como material de construcción en Venezuela*. Universidad de Los Andes. Universidad Central de Venezuela. Universidad Nacional Experimental de Guayana. Taller de Publicación FCFA. Mérida, Venezuela. 99 Págs.
- BREZET, J.C., y C.G. HEMEL van, 1997. *UNEP Ecodesign manual, Ecodesign: a promising approach to sustainable production and consumption*. United Nations. Environmental Programme. N.Y., USA. 294 p.
- CLOQUELL BALLESTER V., W. CONTRERAS MIRANDA y M. OWEN DE C. 2007. *La madera y los productos forestales en sistemas estructurales. Aspectos técnicos y medioambientales*. Editorial

- Fundación Politécnica Antiguos Alumnos. Universidad Politécnica de Valencia. 289 p.
- CONFEMADERA. 2010. Industria y tecnología. En línea: <http://www.confemadera.es/> [Consultado: 03/02/2010].
- CONTRERAS W. y V. CLOQUELL BALLESTER. 2006. *Propuesta Metodológica de Diseño Ambientamente Integrado para Proyectos de Diseño de productos Forestales laminados Encolados con calidad Estructural*. Tesis Doctoral. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 615 p.
- CONTRERAS W., V. CLOQUELL B., V. A. CLOQUELL BALLESTER, M. OWEN DE C., M. RONDÓN S., L. GUZMÁN M., y M. SALAZAR A. 2009. Desde el paradigma de la Ecología Industrial hasta su nueva estrategia metodológica para alcanzar productos, procesos y servicios sostenibles, el Diseño Ambientalmente Integrado. *Revista Ecodiseño y Sostenibilidad* 1(1): 13-36.
- CONTRERAS W., V. CLOQUELL BALLESTER, M. OWEN de C. 2007. *El diseño ambientalmente integrado (dAI), en el desarrollo de nuevos productos de madera*. Editorial Fundación Politécnica Antiguos Alumnos. Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Valencia, España. 162 p.
- CONTRERAS W., L. NININ, M. OWEN DE C. y Y. CONTRERAS M. 2008. Propuesta para la creación de la red urbana de unidades comunales para la manufactura de componentes constructivos con madera de pino Caribe en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 52 (2): 189-200.
- CONTRERAS W. y M., OWEN DE C. 1997. Elaboración de un elemento estructural laminado, tipo Parallam, con tiras de caña brava *Gynerium sagittatum* y adhesivo fenol-formaldehído. *Revista Forestal Venezolana* 41 (1): 29-36.
- CONTRERAS W., M. OWEN DE C. y S. CAPUZ. 2004. La Ecología Industrial, el Ecodiseño y los Procesos Más Limpios en la Industria del Mueble con madera en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 48 (2): 48-56.

- CONTRERAS W., M., OWEN DE C., y Y. CONTRERAS. 2001a. Nuevos productos forestales a partir de caña brava (***Gynerium sagittatum***). Revista Forestal Latinoamericana. IFLA. Mérida, Venezuela. 29/2001: 45p58.
- CONTRERAS W., M. OWEN DE C., V. CLOQUELL BALLESTER, Y. CONTRERAS y D. GARAY. 2006. Diseño de tableros de partículas de caña brava y adhesivo fenol-formaldehído (R 10% y R 13%). Revista Forestal Latinoamericana. IFLA. Mérida, Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana* 39: 39-57.
- CONTRERAS W., V. CLOQUELL BALLESTER, V. A. CLOQUELL BALLESTER2, M. OWEN DE C. 2010. De la Rueda de Ecodiseño de van Hemel a La Rueda de Sostenibilidad de Productos y Servicios Coclowen. Trabajo aceptado para ser publicado en *Revista Ecodiseño y Sostenibilidad* 3 (1): 2011.
- CONTRERAS W., J. RIVERO, M. OWEN DE C., y F. ROSSO. 2001b. Importancia de la promoción de plantaciones de caña brava (***Gynerium sagittatum***), bambú (***Bambusa vulgaris***), en la resolución del problema habitacional del medio rural venezolano. *Revista Forestal Venezolana* 45 (2): 45-56.
- COVENIN. 1991. Norma Venezolana para Tableros de partículas de madera, provisional N° 847-91. Caracas, Venezuela.
- CVG PROFORCA. 2007. La construcción de viviendas con madera en Venezuela. En línea: <http://www.cvgproforca.com> [Consultado: 25/03/2010].
- DATANALISIS. 2010. Cifras del déficit habitacional en Venezuela. En línea: <http://www.datanalisis.com/322/%E2%80%A2entorno-economico-y-situacion-del-consumidor-venezolano-2010> [Consultado: 05/02/2010].
- DIN.1996. *Deustcher Industrie Normen. DIN EN 317. DIN EN 322*. Berlín. Germany. 56 p.
- ENCINAS, O. 2005. Preservación de bambú y madera de plantaciones mediante desplazamiento de savia forzado®. *Revista Forestal Venezolana* 49 (2): 153-162.
- ESPINOSA, D. 2003. La cadena de la guadua en Colombia. En línea: http://www.sigguadua.gov.co/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=10&Itemid=37 [Consultado: 02/02/2010].
- ERIKSSON O., R. CARLSSON, B. FROSTELL, A. BJÖRKLUND, G. ASSEFA, L-O SUNDQVIST, J. GRANATH, A. BAKY y L. THYSELIUS. 2005. Municipal solid waste management from a systems perspective. *Journal of Cleaner Production* 13: 241-252.
- GARAY, D. 1997. *Tableros aglomerados de partículas*. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Trabajo presentado como requisito para ascender a la categoría de Profesor Agregado. Mérida, Venezuela. 258 p.
- GARAY, D. 1988. *Producción de tableros aglomerados de partículas a partir de mezclas de especies de los Llanos Occidentales*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Tesis presentada para optar al Título Magister Scientiae en Tecnología de Productos Forestales. Mérida, Venezuela. 192 p.
- BAMBÚ GUAZÚ. 2010. Generalidades del bambú. En línea: <http://www.bambuguazu.com/generalidades-del-bambu.php/> [Consultado: 26/01/2010].
- GONZALEZ, Y., N. MORA y Y. MOLINA. 2009. Preservación de ***Bambusa vulgaris*** Schrad. ex Wendl mediante métodos sin presión. *Revista Forestal Venezolana* 53 (1): 43-50.
- GUADUA BAMBOO. 2010. Plantaciones de teca contra plantaciones de bambú en Costa Rica ¿Cuál es la mejor y más segura inversión?. En línea: <http://www.guaduabamboo.com/plantaciones-de-teca-contraplantaciones-de-bambu-en-costa-rica.html> [Consultado: 26/01/2010].
- HEMEL, C. G. van. 1998. *Ecodesign empirically explored*. Doctoral dissertation, Delft University of Technology. 382 p.

- ISO 14040.1997. Gestión medioambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y estructura. Ginebra Suiza. 34 p.
- ISO 14042. 2000. Environmental management. Life cycle assessment. Life cycle impact assessment. Geneva Ch. Italy. 29 p.
- LA HAYA OCR, A. MCLAUCHLIN Y R. QUINNEY. 1998. *Agri-materiales para los productos de paneles, la evaluación técnica de su viabilidad*. En: Proc 32a partículas interior / simposio compuesto. Washington State University, Pullman, WA, 51-159.
- MALONEY, T. 1977. *Modern Particleboard*. Miller Freeman Publications. San Francisco. USA. 278 p.
- MALONEY, T. 1993. *Modern Particleboard & Dry-Proces Fiberboard Manufacturing*. Miller Freeman Inc. San Francisco. USA. 203 p.
- MASISA. 2010a. Aglomerado. Características físico-mecánicas. En línea: <http://www.masisa.com/mex/esp/productos/tableros/aglomerado/caracteristicas-fisicomecanicas/3202/2040/> [Consultado: 15/03/2010].
- MASISA. 2010b. Aglomerado Masisa. En línea: <http://www.masisa.com/mex/esp/productos/tableros/aglomerado/ficha-tecnica/3203.html> [Consultado: 16/03/2010].
- MASISA. 2010c. Tableros y chapas. En línea: http://www.registrocdt.cl/fichas%20especificas/listado_fichas/fichas/c10/MASISA_tableros_aglomerados/index.htm [Consultado: 16/03/2010].
- MEDINA, A. 1975. *Seminario sobre proceso de fabricación de tableros de partículas de madera*. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida, Venezuela. 45 Págs.
- MORENO, P., D. GARAY, J. DURÁN, STYLES VALERO. 2007. Utilización de **Bambusa vulgaris** como una Alternativa en la Fabricación de Tableros Aglomerados de Partículas. *Revista Forestal Latinoamericana* 42/2007: 35-47.
- MOSLEMY, A. 1974. *Particleboard. Vol. I: Materials*. Southern Illinois. USA. 172 p.
- NORMA VENEZOLANA COVENIN. 1991. *Norma Venezolana para Tableros de partículas de madera, provisional N° 847-91*. Ministerio de Fomento. Caracas, Venezuela. 12 Págs.
- NOVILLO, G. 2009. El bambú: tan fuerte como el acero. En línea: <http://www.bidnetwork.org/page/120208/en> [Consultado: 28/01/2010].
- PAPADOPOULOS A., C. HILL y A. GKARAVELI. 2004. Bamboo chips (**Bambusa vulgaris**) as an alternative lignocellulosic raw material for particleboard manufacture. *Holz Roh Werks* 62:36-39.
- PENNINGTON D.W., J. POTTING, G. FINNVEDEN, E. LINDEIJER, O. JOLLIET, T. RYDBERG Y G. REBITZER. 2004. Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice (Review article). *Environmental International* 30: 721-739.
- PEÑA, L., A. BURGOS, A. GONZÁLEZ y S. VALERO. 2009. Efecto de la preservación con mezclas de bórax-ácido bórico y urea formaldehído sobre las propiedades físico mecánicas y el ataque de insectos en guadua (**Guadua angustifolia Kunth**). *Revista Forestal Venezolana* 53 (2): 135-144.
- PEREDO, M. 1988. *Fabricación de tableros de partículas para uso exterior*. *Bosque*. 9 (1): 35-42.
- VALERO, S., E. REYES y W. CONTRERAS MIRANDA. 2005. Estudio de las propiedades físicas y mecánicas del bambú (**Bambusa vulgaris**), de tres años de edad y proveniente de las plantaciones ubicadas en la ribera de la margen derecha del Río Chama, Municipio Francisco Javier Pulgar, estado Zulia, Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana* 37: 87-107.
- VALERO, S., E. Reyes y D. Garay. 2005. Estudio de las propiedades físico-mecánicas de la especie **Tectona grandis**, de 20 años de edad, proveniente de plantaciones de la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Ticoporo, estado Barinas. *Revista Forestal Venezolana* 49 (1): 61-73.

W. CONTRERAS MIRANDA, S. WILL VALERO, M. OWEN DE C., V. CLOQUELL BALLESTER, M. T. RONDÓN SULBARÁN, D. A. GARAY JEREZ, E. BARRIOS PÉREZ Y A. CONTRERAS