

# Determinación de la influencia del tamaño y forma de partículas de cáscaras de maní en paneles aglomerados

## *Incidence of particle size distribution in peanut husks bonded panels*

Granero, V.<sup>1</sup>; M. Gatani<sup>1</sup>; J. C. Medina<sup>2</sup>; A. Ruiz<sup>2</sup>;  
J. Fiorelli<sup>3</sup>; J. Kreiker<sup>1</sup> y M. J. Lerda<sup>1</sup>

Recibido en mayo de 2012; aceptado en junio de 2013

### RESUMEN

El propósito de esta etapa de investigación fue conocer la influencia del tamaño y forma de partículas de cáscaras de maní en propiedades de paneles aglomerados con resina ureica. Se formularon paneles con cáscaras molidas ( $\rho$ : 200 Kg/m<sup>3</sup>), paneles con cáscaras enteras ( $\rho$ : 81 Kg/m<sup>3</sup>) y dos combinaciones de las mismas.

Los resultados demostraron que paneles compuestos por partículas de cáscaras de maní molidas (finas) mejoraron propiedades físicas y mecánicas respecto de las placas que incorporaron partículas de mayor tamaño. Los valores de densidad en paneles con partículas molidas fueron 628,67 Kg/m<sup>3</sup>; absorción de agua 65,3% y 79,75% a 2 h y 24 h respectivamente; e hinchamiento de 9,9% y 14,35% a 2 h y 24 h respectivamente. En relación a propiedades mecánicas de flexión, resultaron con módulo de ruptura (MOR) 3,58 MPa, límite de proporcionalidad (LOP) 2,26 MPa y módulo elástico (MOE) 627 MPa. Con respecto a tenacidad (T), el mayor valor fue observado en los tableros elaborados con partículas enteras: 1,58 MPa.

De acuerdo a los valores de densidad, las propiedades caracterizadas se encuentran por debajo de las correspondientes para placas comerciales de madera. Ajustes al proceso de elaboración de paneles de cáscaras de maní serán incorporados en futuros trabajos.

**Palabras clave:** Residuos Lignocelulósicos; Cáscaras de maní; Paneles Aglomerados.

### ABSTRACT

The purpose of this stage was to determine the influence of particle size and shape of peanut husks on the properties of panels made with urea resin. Panels were made with milled husks ( $\rho$ : 200 Kg/m<sup>3</sup>) and unmilled husks ( $\rho$ : 81 Kg/m<sup>3</sup>) and two combinations thereof.

The results showed that the panels made with milled husks improved physical and mechanical properties with respect to the panels that incorporated unmilled particles. The density values in panels with milled particles were 628.67 Kg / m<sup>3</sup>; water absorption 65.3% and 79.75% at 2 and 24 hours respectively, and swelling of 9.9% and 14.35% measured at 2 and 24 hours respectively. Regarding the characterization of mechanical properties of bending, the values recorded in samples prepared with fine particles of peanut husks resulted in MOR: 3.58 MPa, LOP 2.26 MPa and MOE 627 MPa. With respect to toughness, the highest value was observed in particle boards made from unmilled peanut husks: 1.58MPa.

The characterized properties are still below the properties of commercial wood panels. Adjustments to the process of preparing the peanut husks plates will be incorporated in future experiences.

**Keywords:** Lignocellulosic waste; Peanut husks; Particle size; Lingo cellulosic panels.

<sup>1</sup> Centro Experimental de Vivienda Económica (CEVE), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET). Igualdad 3585 Va. Siburú. Córdoba

<sup>2</sup> Instituto de Tecnología de la Madera; Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Santiago del Estero, Av Belgrano (S) 1912. Santiago del Estero.

<sup>3</sup> Laboratorio de Construções e Ambiência. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidad de São Paulo, Av. Duque de Caixias Norte, 225. Campus da USP, Pirassununga / SP (Brasil)

## 1. INTRODUCCIÓN

Los impactos relacionados al uso intensivo de la madera tales como deforestación, erosión de suelos y disminución de la biodiversidad, buscan ser atenuados a partir del estudio de residuos lignocelulósicos agrícolas locales, para su utilización como insumos alternativos en la producción de paneles. Estos desarrollos presentan además ventajas relacionadas con su aprovechamiento y disposición final, apuntando a evitar la deficiencia de materia prima que enfrenta la industria de los paneles de madera (Markessini *et al.*, 1997).

Este artículo aborda el problema ambiental de la disposición del residuo agroindustrial cáscaras de maní, proponiendo su utilización y la consecuente mitigación del impacto ambiental que produce. En la actualidad, Argentina es el principal proveedor de maní al mercado mundial, con casi 900.000 t anuales de producción nacional. La cantidad total disponible de cáscaras de maní alcanza 300.000 t anuales y la mayor parte es utilizada como combustible de calderas. Entre 2.000 y 3.000 t anuales se utilizan para la producción de carbón activado, una proporción menor se destina como agregado en alimento balanceado y camada de aves. Hasta hace poco tiempo, las cáscaras se quemaban a cielo abierto, con la consiguiente inutilización de superficie de terreno apta para cultivos y la liberación a la atmósfera de CO<sub>2</sub> y residuos de combustión.

En este sentido se destacan antecedentes tales como el estudio de tableros de partículas elaborados con virutas de caña (*Chusqueaculeou sp.*) aglomerados con urea formaldehído, elaborados en una sola capa, con un espesor de 11mm. Las densidades estudiadas correspondieron a 450, 550, 650 y 750 Kg/m<sup>3</sup>; el contenido de adhesivos estudiados fueron 6, 7, 8, 9 y 10%. A partir de los ensayos de las propiedades mecánicas y del análisis por regresión lineal, se encontró alto grado de correlación entre propiedades mecánicas estudiadas y densidad. Los resultados obtenidos permiten concluir que virutas de caña pueden ser incluidas en tableros de partículas con densidades superiores a 600 Kg/m<sup>3</sup>, con niveles de adhesivo superiores al 8% (Rijo, 1988)

Youngquist *et al.* (1993) abordaron diferentes posibilidades de utilización de materiales lignocelulósicos, tales como residuos de la cosecha de la caña de azúcar, cereales, maíz y cascarilla de arroz para la producción de placas. Las fibras de kenaf, lino y cáñamo han sido estudiadas como potenciales complementos e inclusive sustitutos de la madera en los tableros aglomerados (Lloyd y Seber, 1996). También han sido utilizados desechos de cosecha de trigo y arroz para la producción de paneles (Markessini, *et al.*, 1997).

Cea Muñoz (2003) realizó una evaluación de las materias primas aserrín y astillas utilizadas para la elaboración de paneles aglomerados de madera en la planta MASISA (Valdivia). Con el objetivo de estudiar la influencia de las formas y tamaños de las partículas en la fabricación y las propiedades finales de los tableros, se determinaron las dimensiones y las composiciones porcentuales de los distintos grados de tamaño, como así también el porcentaje de corteza incluida.

Residuos de la cosecha de trigo han sido utilizados por las industrias de paneles. Agriboard Industries (E.E.U.U.) fabrica paneles extruidos bajo calor y presión. El material resultante es aplicado a la construcción de viviendas. Stramit Industries (E.E.U.U.), fabrica paneles livianos para construcción en seco. La materia prima es calentada, comprimida y transformada en un panel sin adición de aglomerantes (Hayes, 1998). La empresa PrimeBoard, Inc. (Dakota del Norte, E.E.U.U) produce paneles aglomerados aplicados en equipamiento interior (Hayes, 1998). Environ Biocomposites (Minnesota, E.E.U.U.) produce materiales para uso interior a partir de este recurso agrícola local. Doe Chemical Company (Canadá) produce placas para fabricación de equipamiento y otras aplicaciones no estructurales (Anderson *et al.*, 2005).

Ndazi *et al.* (2006) presentan y discuten resultados obtenidos de la producción de tableros compuestos con cascarilla de arroz y resina en base a taninos. Las dificultades de aglomeración encontradas, atribuidas al alto contenido de sílice de la materia prima fueron disminuidas a partir del molido de las cáscaras, obteniendo resultados superiores a los iniciales.

Granero y Aravena (2008) elaboraron un material a base de hojas secas urbanas, trituradas y combinadas con resina ureica. El resultado ha sido un material con densidad de  $940 \text{ Kg/m}^3$ , con 8,5% de hinchamiento a 24 h, módulo de ruptura de 1,1 MPa y módulo de elasticidad de 120 MPa.

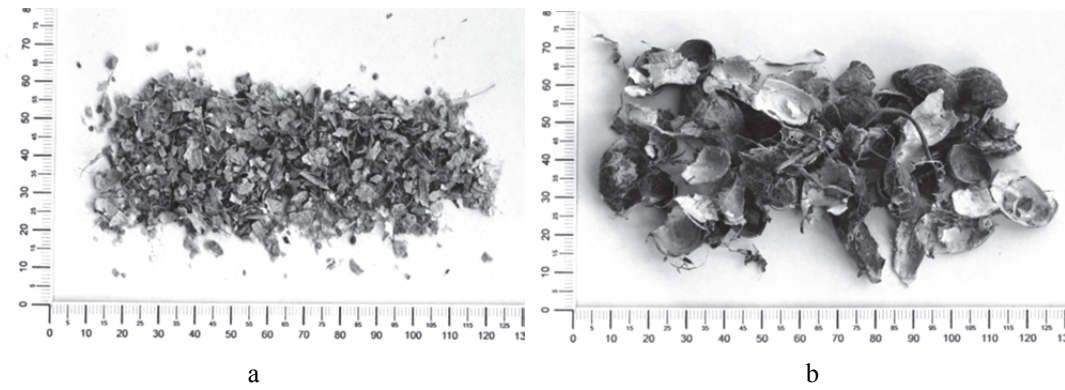
Medina y Ambroggi (1994) establecieron el antecedente inicial sobre el trabajo con partículas de cáscaras de maní para elaboración de paneles aglomerados. En la experiencia de los investigadores, la adición de 70% de virutas de madera mezcladas con 30% de cáscaras de maní produjeron paneles con buenas propiedades físico-mecánicas obteniendo hinchamiento del 49,1% y 59% a 2 y 24 h respectivamente, MOR de 6,29 MPa, y MOE de 1136 MPa. Más tarde, utilizando cáscaras de maní como único agregado, Gatani (2008) elaboró probetas con cáscaras de maní enteras y resina poliéster. El moldeo en una prensa hidráulica con escasa presión ( $10 \text{ Kg/cm}^2$ ) y sin temperatura dio como resultado un material de baja densidad ( $225 \text{ Kg/m}^3$ ), escasa resistencia a flexión ( $1 \text{ Kg/cm}^2$ ) y muy buenas propiedades de aislación térmica:  $\lambda 12 \text{ W/km}$ . El material ha sido aplicado en cielorrasos. El aumento de la presión de moldeo en mezclas formuladas con cáscaras de maní y resina ureica determinó un material con mayor peso específico y mejores propiedades mecánicas. Probetas elaboradas con prensa hidráulica de 50 T sin temperatura, fueron caracterizadas con densidad de  $500 \text{ Kg/m}^2$  y MOR de 2MPa (Gatani, *et al.*, 2010).

El presente trabajo se basa por tanto, en el desarrollo de paneles aglomerados de cáscaras de maní, presentándolos como productos adecuados para la elaboración de equipamiento del hábitat y envolventes en espacios interiores como alternativa de uso frente a la madera, paneles de aglomerado o MDF. Desde el punto de vista tecnológico y de aplicaciones en arquitectura, explora una nueva alternativa de materiales de construcción, con renovado aspecto estético y con características interesantes en propiedades físicas y mecánicas. Desde el punto de vista económico y comercial, se estudia la viabilidad de inserción en el sector de la construcción de un nuevo tipo de componente, con ventajas de producción por la utilización de una materia prima/residuo proveniente de un proceso productivo.

El objetivo específico del presente trabajo fue determinar la influencia de la utilización de diferentes tamaños de partículas de cáscaras de maní y algunas combinaciones, en la caracterización de propiedades físicas y mecánicas de placas compactas de cáscaras de maní.

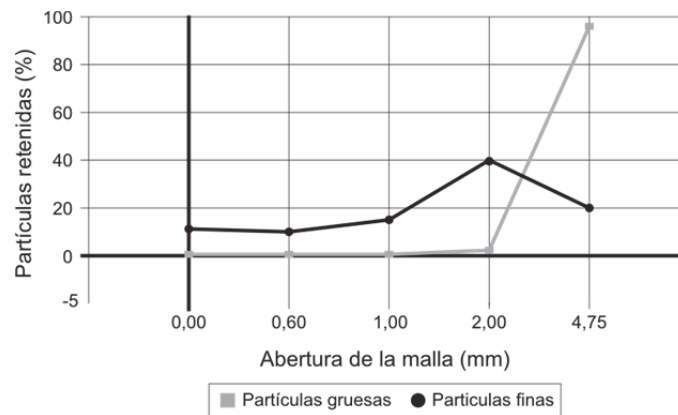
## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración de paneles aglomerados de cáscaras de maní se utilizaron cáscaras de maní (*Arachis hypogaea*) de la empresa Maglione e hijos S.R.L., Provincia de Córdoba. Se utilizaron en dos tamaños, caracterizadas según su densidad aparente:  $200 \text{ Kg/m}^3$  y  $81 \text{ Kg/m}^3$  (Figura 1). Se destacó su morfología, siendo las partículas de menor tamaño de geometría laminar, y las partículas enteras de geometría volumétrica.



**Figura.1.** Cáscaras de maní (escala en mm). a: partículas finas. b: partículas gruesas

La distribución de tamaño de partículas de las muestras (Figura 2) se realizó a partir del tamizado de las cáscaras de maní en una zaranda vibratoria marca Cosacov, a partir de 4 tamices con aberturas de 0,6mm, 1,00mm, 2,00m y 4,75mm; durante 1 minuto. Es posible observar una concentración del tamaño de las partículas gruesas (entre 2 mm y 4,75 mm).



**Figura 2.** Curvas de determinación de tamaño de partículas

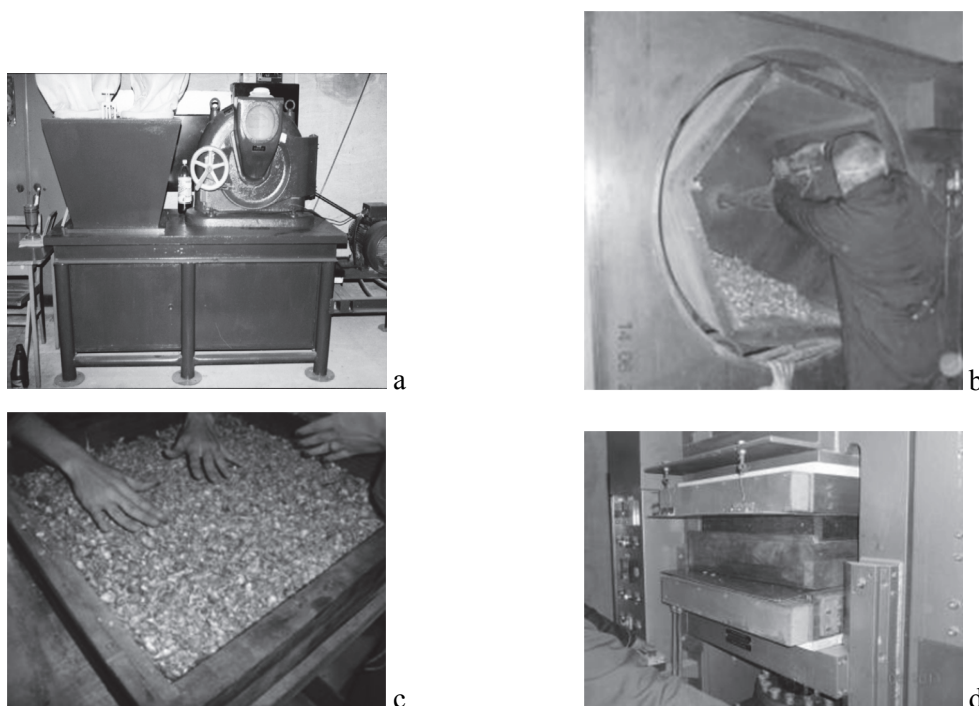
Se utilizó como aglomerante resina urea-formaldehído (Coladur 65%) provista por Jucarbe SA, Argentina, con contenido de sólidos mínimo de 65%, densidad de 1,26 g/cm<sup>3</sup>, tiempo de gelación a 100°C de 6 min y viscosidad a 25°C de 950 cps. Se dosificó en proporción de 10% en masa en relación a las cáscaras de maní. Se adicionó catalizador para moldeo en caliente (Coladur c28) provisto por Jucarbe S.A. para moldeo en caliente, marca Fortex, en proporción del 5% en masa en relación a la cantidad de resina, y agua corriente en proporción del 3% en masa en relación a la cantidad de resina.

Se elaboraron cuatro tipos de tableros aglomerados con espesor de 15mm, dosificados en masa según se describe a continuación:

1. Paneles de Partículas Finas (100%): Se elaboraron con partículas trituradas en molino.
2. Paneles de Partículas Finas (30%) – Gruesas (40%) – Finas (30%): Se elaboraron a partir de combinación de partículas, colocando en las capas exteriores las finas y en la capa interior las gruesas.
3. Paneles de Partículas Gruesas (30%) – Finas (40%) – Gruesas (30%): Se elaboraron a partir de la combinación de partículas, colocando en las capas exteriores las gruesas y en la capa interior las finas.

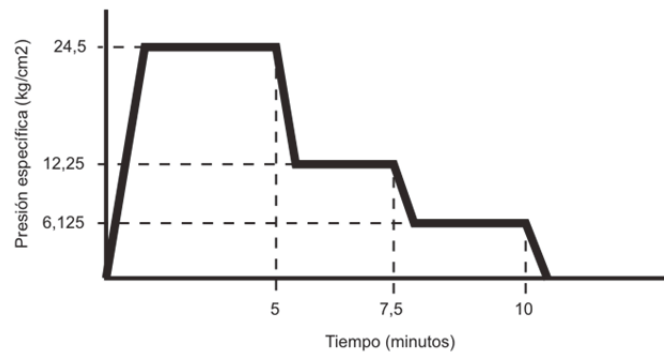
4. Paneles de Partículas Gruesas (100%): Se elaboraron a partir de partículas sin tratamiento de molienda, obtenidas directamente de la industria, con un tratamiento de zarandeado para la remoción de polvo

Los paneles se elaboraron en el laboratorio del Instituto de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Santiago del Estero. Las partículas de cáscaras de maní se trituran en molino de aspas (CONDUX) (Figura 3a) y posteriormente fueron tamizadas para la eliminación de polvo y partículas finas. Se desecharon partículas finas y material polvoriento en cantidad de 34% respecto de material inicial. Posteriormente, según formulación prevista, partículas, aglomerante y aditivos fueron pesados en una balanza de precisión de 0,01 g. El mezclado y la homogeneización se realizó, durante 10 minutos, en encoladora de tambor rotatorio, con aplicación del aglomerante por aspersión (Figura 3b). Finalmente, la mezcla se colocó en un molde abierto de madera, soportado sobre una base metálica (Figura 3c), ubicando cuando correspondiere las capas de diferentes tamaños de partículas. Posteriormente, se realizó un pre-prensado a temperatura ambiente (30 bar: 6,1 Kg/cm<sup>2</sup>), durante 1 minuto. Se retiró el molde de madera y se colocó el colchón de partículas en la prensa para su prensado final (Figura 3d).



**Figura 3.** Proceso de elaboración de muestras. a: Partículas en molino. b: Mezclado de partículas. c: Conformado del pre-moldeo. d: Prensado

El prensado final se realizó con temperatura de 100 °C, durante 10 minutos, con presión máxima de 24,5 Kg/cm<sup>2</sup>, según el ciclo representado en la Figura 4. El espesor estuvo dado por dos varillas laterales de contención de 21mm, y dos placas de aluminio (superior e inferior), lo que otorgó a la placa de cáscaras de maní un espesor final de 16mm.



**Figura 4.** Diagrama del ciclo de prensado

Los ensayos físico-mecánicos fueron realizados según la norma brasilera ABNT NBR 14810-3 en el Laboratorio de Construcciones y Ambiente de la Facultad de Zootecnia e Ingeniería de Alimentos de la Universidad de San Pablo, Brasil.

Para la determinación de la densidad se extrajeron de la placa de 52 cm x 53 cm x 1,6 cm, 10 cuerpos de prueba de 5 cm x 5 cm. Sus dimensiones (ancho, largo y espesor) se tomaron con calibre digital y se determinó el peso en balanza digital. La densidad se determinó según la norma ANSI A208.1:1999.

Para la determinación de absorción de agua e hinchamiento se extrajeron 6 cuerpos de prueba de 2,5 cm x 2,5 cm, que se colocaron en un recipiente con agua corriente, a temperatura ambiente. Se realizaron mediciones a 2 h y 24 h.

En el ensayo mecánico de flexión se caracterizaron 10 cuerpos de prueba, de 25 cm x 5 cm x 1,6 cm, ensayados en una prensa EMIC a tres puntos, con una distancia entre apoyos de 220 mm. Se determinó módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidad (MOE), límite de proporcionalidad (LOP) y tenacidad.

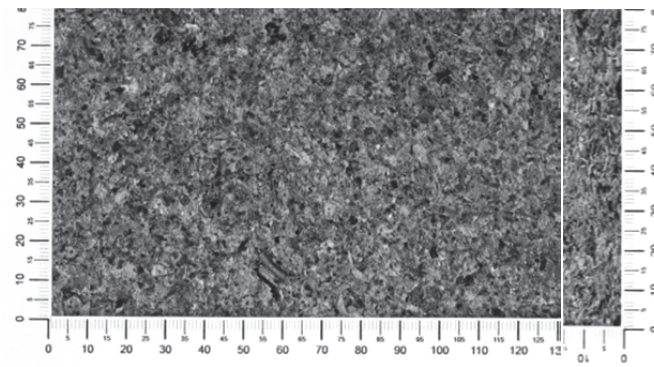
Los datos se analizaron estadísticamente con el programa InfoStat 2.0. Se informan los promedios estadísticos correspondientes a 10 determinaciones, habiendo realizado el contraste de Grubbs al 95% de confianza para descartar muestras anómalas. Se efectuó el ANOVA de un factor para el test de comparación de medias LSD (low significant difference), con un  $\alpha$  de 0,05.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

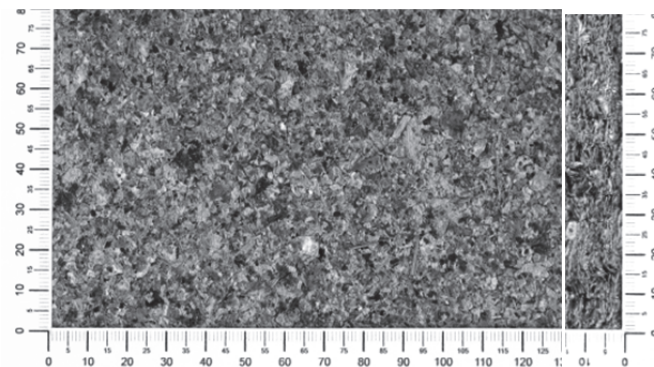
#### 3.1. Paneles Obtenidos

Se elaboraron cuatro tipos de paneles, los cuales variaron su composición según el tamaño y forma de sus partículas. Los paneles resultantes se presentan en vistas de frente y sección en la Figura 5.

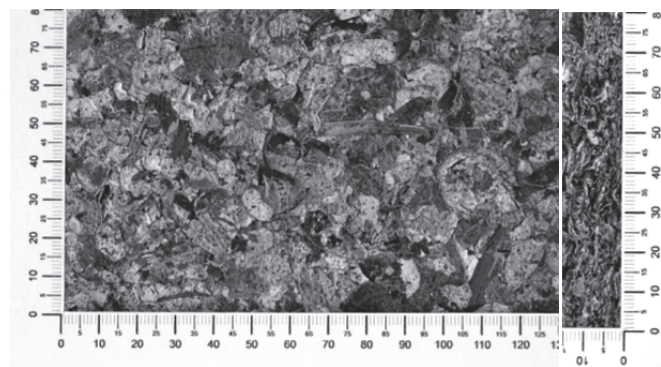
Se destaca el atractivo aspecto superficial de los paneles. Con el aumento del tamaño de las partículas, la textura en colores ocres y pardos se diferenció de la superficie de los paneles de madera industrializados.



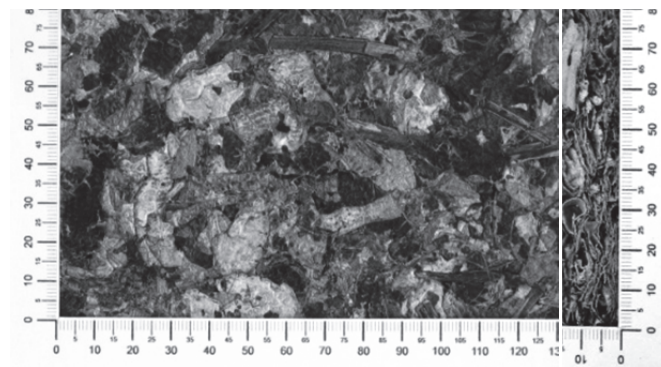
a) Panel con partículas finas (F)



b) Panel con partículas finas en superficie y gruesas en el centro (F-G-F)



c) Panel con partículas gruesas en superficie y finas en el centro (G-F-G)



d) Panel con partículas gruesas (G)

**Figura 5.** Imagen de superficie y sección de los paneles (escala en mm).

Cabe destacar la precipitación de las partículas más finas hacia la cara inferior del moldeo. En la Figura 6 se muestran las caras inferior y superior correspondiente a la formulación G-F-G. Se observa la característica descrita, demostrada en una cara inferior con partículas más finas y la cara superior con mayor tamaño de partículas.

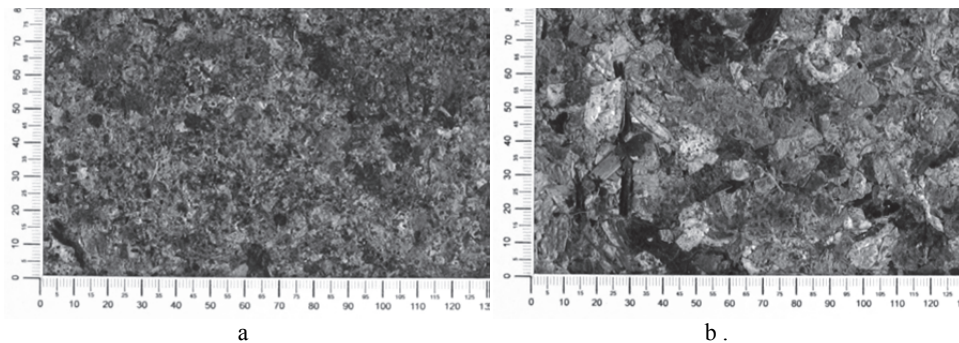


Figura 6. Superficie del panel grueso – fino – grueso (escala en mm). a: inferior. b: superior

### 3.2. Densidad

Los paneles resultantes se pueden clasificar como “Paneles de Baja Densidad” según la norma ANSI A208.1:1999. La Figura 7 muestra los valores de densidad obtenidos. Del análisis estadístico se establecen tres grupos diferenciados: paneles elaborados exclusivamente con partículas finas, paneles con partículas gruesas en el centro del panel y paneles que incorporan partículas sin molienda en superficie y en forma total.

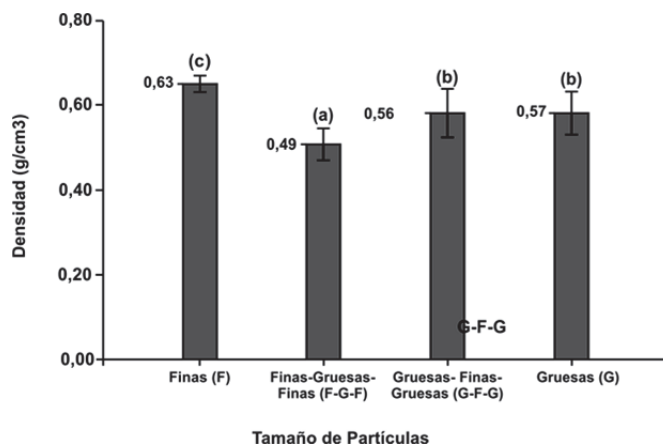


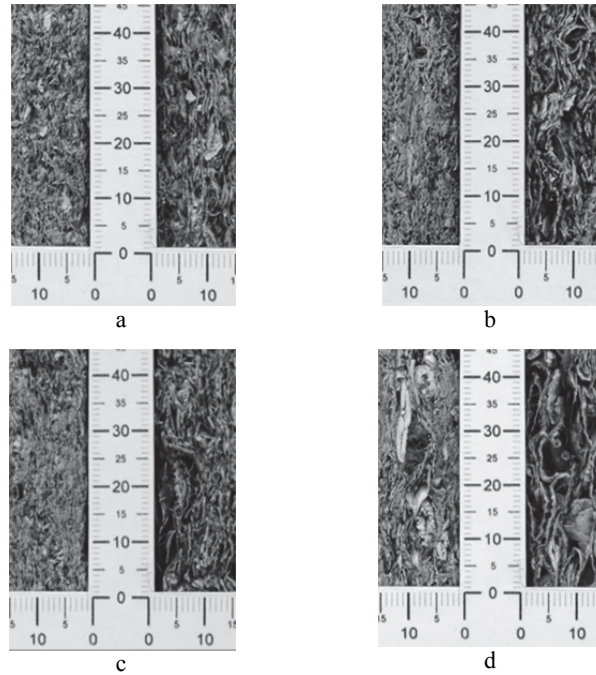
Figura 7. Valores de densidad de las placas.

Columnas con letras iguales no difieren significativamente según el test de LSD con  $\alpha=0,05$ .

Mediante el test de comparación de medias, se puede inferir que los paneles G-F-G y G se comportaron de manera similar y difieren de los paneles con partículas finas y de los paneles F-G-F. Se demuestra claramente que los valores de densidad resultantes son mayores en aquellas probetas elaboradas con menor tamaño de partículas en forma exclusiva. Las probetas que incorporan partículas con mayor tamaño tuvieron menor densidad. Esta diferencia de densidad final de los paneles podría ser explicada debido a la interacción partículas – resina: la forma y tamaño de partículas más grandes dificulta la distribución homogénea de la resina y en consecuencia, afecta el encolado. Además, la forma cóncavo convexa de las cáscaras de maní ofrece resistencia al prensado, a diferencia de utilizar partículas laminares.



Cierta dispersión se ha observado en la determinación de densidad de cada muestra. Se ha verificado que existen variaciones en la densidad de las probetas según la posición en las placas de moldeo de la que fueron extraídas. De una placa de 52 cm x 53 cm se han extraído muestras de 5 cm x 5 cm. Así muestras centrales tienen mayor densidad que las perimetrales, ocurriendo mayores variaciones dentro de las últimas. La Figura 8 muestra las diferencias en las aristas opuestas de las secciones de los paneles.



**Figura 8.** Espesores de placas (escala en mm). a: partículas finas. b: partículas fina- gruesa-fina. c: partículas gruesas- finas-gruesas. d: partículas gruesas

Las placas que están compuestas en forma total o parcial por cáscaras de maní enteras resultaron con espesor mayor, como se observa en la Tabla 1. Esto se debe a que las partículas no laminares presentan concavidades en las cuales la cola no puede penetrar en la medida esperada y por lo tanto al ser prensadas, si bien hacen contacto con las adyacentes, no se pegan correctamente. Quitada la presión ejercida durante el prensado, estas partículas no laminares recuperan parcialmente su forma, conllevando al aumento del espesor de las placas. El espesor final de las muestras aumenta con el aumento de la cantidad de partículas de cáscaras de maní sin molido.

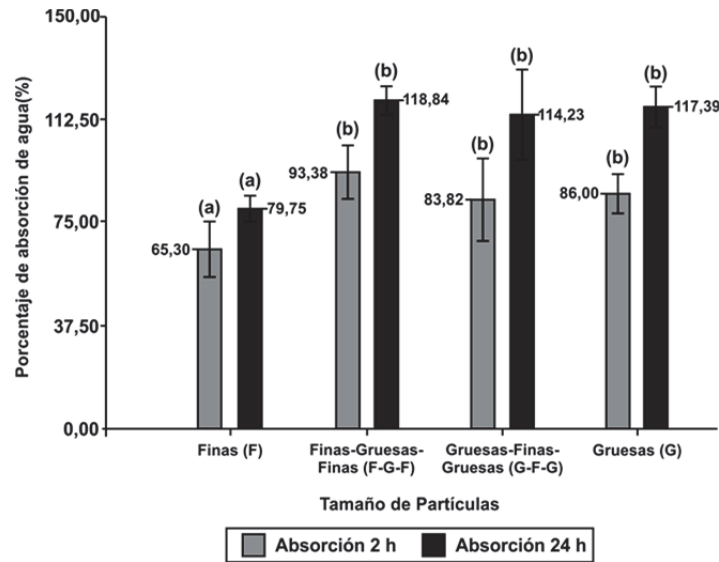
**Tabla 1.** Espesores de las placas según el tamaño de partículas

<b>Tamaño de partícula</b>	<b>Espesores en mm</b>
Finas	16,03 ± 1,29
F.G.F	16,37 ± 0,90
G.F.G	16,20 ± 1,34
Gruesas	16,78 ± 1,37

Se observa que con igual molde, presión, temperatura y tiempo de prensado, las placas con mayor cantidad de partículas grandes de cáscaras de maní resultan con mayor espesor.

### 3.3. Absorción de agua e Hinchamiento

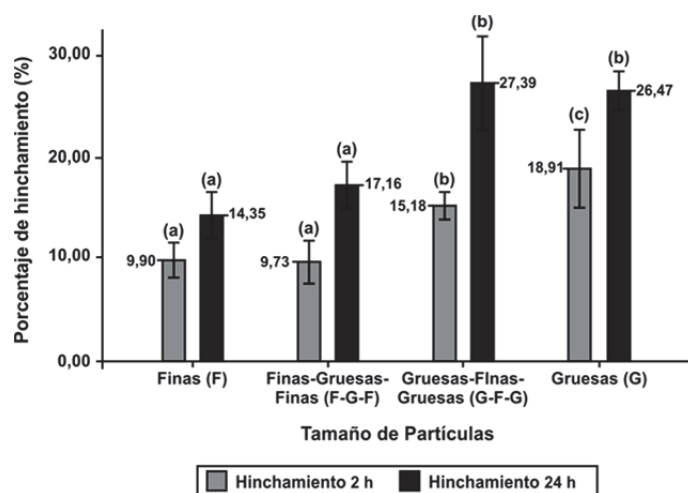
Los resultados obtenidos (Figura 9) permiten inferir que los paneles elaborados con partículas finas presentan un porcentaje de absorción de agua menor que los paneles elaborados con partículas gruesas.



**Figura 9.** Valores de absorción de agua a 2 h y 24 h  
Ref.: Letras iguales corresponden a comportamiento similar para un test de comparación de medias LSD con  $\alpha=0,05$ .

El test de comparación de medias LSD para un  $\alpha=0,05$  arroja valores similares para los paneles F-G-F; G-F-G y G en la medición de 2 h y 24 h, y un comportamiento diferente para los paneles con partículas finas. Se observa además que todos los tipos de paneles presentan una relación entre porcentaje absorción a 2 h y porcentaje de absorción a 24 h ( $a_2/a_{24}$ ) similar y en el orden del 80%, lo que indica que durante las primeras dos horas absorben la mayor cantidad de agua.

Los resultados de hinchamiento a 2 h y 24h se observan en la Figura 10, y muestran menor hinchamiento en placas de granulometrías finas y finas – gruesa – finas, es decir, con partículas más pequeñas en superficie y mayor presencia de resina. El test de medias LSD con un  $\alpha=0,05$  para valores de absorción a 2h permite inferir un comportamiento similar para paneles F y F-G-F, y diferentes para G-F-G y G, los cuales también difieren entre sí. El mismo test, realizado sobre valores de hinchamiento a 24h permite agrupar a los paneles en dos grupos de medias similares: F y F-G-F por un lado y a G-F-G y G por otro.



**Figura 10.** Valores de hinchamiento a 2 h y 24 h  
Ref.: Letras iguales corresponden a comportamiento similar para un test de comparación de medias LSD con  $\alpha=0,05$ .

Los resultados de los ensayos de absorción de agua e hinchamiento son también indicadores de que las partículas gruesas afectaron la calidad del encolado con lo que ofrecieron menor dificultad para la penetración del agua y el consecuente hinchamiento.

Respecto de la relación porcentual de hinchamiento a 2 h y a 24 h (h2/h24), se observa un comportamiento que agrupa a los paneles de partículas mezcladas F-G-F y G-F-G por un lado y a los paneles con partículas homogéneas F y G por otro, con porcentajes cercanos al 56% y 70%, respectivamente. Estos resultados se resumen en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Relaciones entre % absorción en hinchamiento a 2 y 24 h.

relación	F	F-G-F	G-F-G	G
a2/a24	81,7 <sub>a</sub>	78,7 <sub>a</sub>	73,3 <sub>a</sub>	73,3 <sub>a</sub>
h2/h24	68,9 <sub>b</sub>	56,6 <sub>c</sub>	56,0 <sub>c</sub>	71,0 <sub>b</sub>

Para cada relación, valores con letras iguales no difieren estadísticamente según el Test de LSD con  $\alpha=0,05$ .

Estos resultados parecerían indicar que los paneles homogéneos (sólo partículas finas o sólo partículas gruesas) se deforman de manera más predecible, aunque con valores bien diferenciados. Mayores variaciones ocurren cuando se trata de composición variada del panel en relación al tiempo de inmersión.

### 3.4. Ensayo mecánico a Flexión

Los valores de MOR, LOP y MOE alcanzados se encuentran en directa relación con los valores de densidad de las probetas. Así se establece una relación directa entre aquellas probetas caracterizadas con mayor densidad y las que alcanzaron mayores valores de resistencia mecánica a flexión. Se observan un mejor comportamiento en los paneles con partículas finas, los cuales tienen un valor mayor de MOR, MOE y LOP, pero menor valor de tenacidad. Los resultados obtenidos para el comportamiento mecánico de los paneles se resumen en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Comportamiento mecánico de paneles de cáscaras de maní.

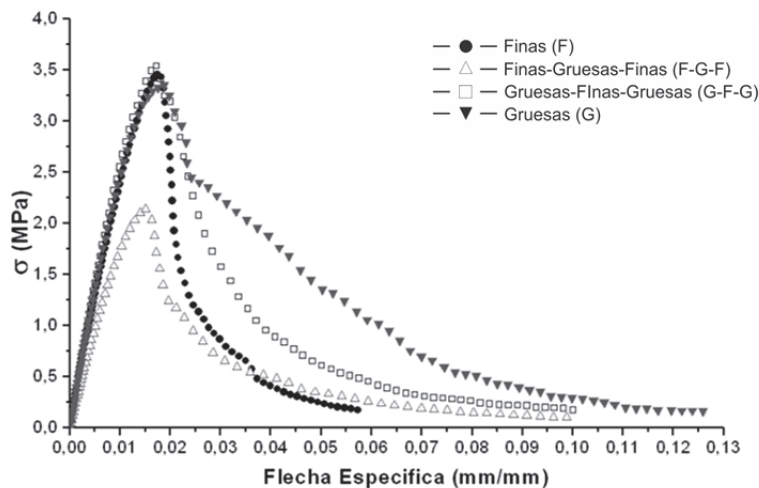
Propiedad	F	F-G-F	G-F-G	G
MOR, MPa	3,58 <sub>a</sub>	2,01 <sub>b</sub>	3,29 <sub>a</sub>	2,86 <sub>a,b</sub>
MOE, MPa	627,7 <sub>c</sub>	417,8 <sub>d</sub>	588,9 <sub>c,d</sub>	480,7 <sub>c,d</sub>
LOP, MPa	2,26 <sub>e</sub>	1,22 <sub>f</sub>	1,88 <sub>e</sub>	1,84 <sub>c,f</sub>
Tenacidad, KJ/m <sup>2</sup>	0,69 <sub>g</sub>	0,702 <sub>g</sub>	1,11 <sub>h</sub>	1,58 <sub>i</sub>

Para cada propiedad, valores con letras iguales no difieren significativamente según el test de medias LSD con  $\alpha=0,05$

En los ensayos mecánicos de MOR, LOP y MOE, el test de comparación de medias LSD para un  $\alpha=0,05$  distingue dos grupos con diferencias estadísticas significativas. Un grupo de desempeño conformado por paneles F y G-F-G, y otro grupo conformado por los paneles F-G-F. El grupo de paneles G comparte propiedades con ambos.

El hecho de que los tableros denominados F y G-F-G sean los de mejor comportamiento indica que este resultado debe ser explicado al menos por dos variables que interactúan entre sí. De acuerdo con Chen *et al.* (1992) valores de MOR y MOE son controlados principalmente por las capas externas de los tableros, aunque este comportamiento es afectado fuertemente por la capa interna cuando el encolado es inadecuado. Esta referencia, y el mejor encolado de las partículas finas en relación a las gruesas, justifican las propiedades superiores del tablero F que mientras que la placa F-G-F tuvo menor resistencia. Teniendo además en cuenta las afirmaciones de Canadido *et al.* (1988) respecto a que MOR y MOE mejoran al aumentar el largo de las fibras, se puede explicar que el tablero G-F-G resultó uno de los de mejores propiedades. En el caso del panel G que resultó de menor comportamiento mecánico, fue determinante la dificultad del encolado que influyó negativamente. Vista la variabilidad de densidad entre formulaciones se considera conveniente en próximos ensayos, medir densidad para cada probeta sometida a ensayos físicos y mecánicos, a fin de realizar un análisis de covariancia que permita una medición más precisa de diferencias entre paneles.

Las curvas de flexión a tres puntos se observan en la Figura 11. Tal como ha sido observado en paneles cementicios reforzados con fibras naturales (Savastano *et al.*, 2000) la presencia de fibras vegetales largas aportan al material compuesto mayor energía específica o tenacidad. Esto es, mayor capacidad de deformación antes de la ruptura frente a esfuerzos de tensión, aun con pérdida de resistencia mecánica.

**Figura 11.** Curvas de flexión a tres puntos

#### 4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten clasificar a los paneles obtenidos, según la norma ANSI 208.1 (1999) como LD-1 *Door core* (Baja Densidad, Tipo 1). Los valores elevados de absorción de agua e hinchamiento sugieren el uso en aplicaciones en espacios interiores, protegidos de la humedad natural y lluvias, en caso de no incorporar tratamiento superficial.

El uso de partículas cáscaras de maní más pequeñas y planas da por resultado materiales compuestos de mayor densidad y mayor resistencia a flexión en comparación con paneles elaborados con partículas más grandes y con mas volumetría. Este hecho es atribuido a problemas de encolado y prensado de las partículas mayores.

Mejoras en el proceso de elaboración de los paneles deberán ser incorporadas a fin de alcanzar medias más próximas a las propiedades de los paneles de madera industrializados.

Este trabajo sugiere resaltar el atractivo aspecto superficial otorgado por la presencia de partículas grandes de cáscaras de maní en superficie, que aunque no alcanzan el mejor comportamiento en propiedades físicas y mecánicas, son aquellas que resultan más estéticas y diferenciadas de otros paneles de madera. En este sentido, los paneles de cáscaras de maní se instalan como una alternativa viable en el sector del diseño y la arquitectura.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 14810-3: "Chapas de madeira aglomerada. Parte 3: Métodos de Ensaio". Rio de Janeiro, 2006.
- American National Standard - ANSI A208.1. "Particleboard". Composite Panel Association: E.E.U.U., 1999.
- Anderson, A.; A. Yung and T. Tanaka. 2005. "Eco- friendly alternatives to wood- based particleboard". [en línea], Disponible en: <<http://www.stolaf.edu/>> [Fecha de consulta: febrero 2011].
- Canadido, L. S.; F. Saito; S. Suzuki. 1988. "Effect of particle shape on the orthotropic properties of oriented strand boards". *Mokuzai Gakkaishi*, 34 (1) p 21:27. Japón.
- Cea Muñoz, H. R. 2003. "Caracterización de astillas y aserrín para una planta de tableros de partículas en Valdivia". Tesis de Grado. Carrera Ingeniería en Maderas. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Chen, Y.; B. A. Popowitz; R. O. Gertjensen; D. C. Ritter. 1992. "Paper birch as a core material for aspen oriented strandboard and waferboard". *Forest Products Journal*, January 1992, 42 (1) p. 21:24. Madison, USA.
- Gatani, M. 2008. "Nuevos materiales, nuevas prácticas. Una mirada sobre la gestión de tecnología, la sustentabilidad ambiental y el desarrollo local". En Segundas Jornadas de Diseño para el Desarrollo Local Córdoba, Argentina: Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño.
- Gatani, M. 2010 "Reciclado Post Industrial de Cáscara de Maní. Posibilidades de desarrollo de materiales no convencionales para la construcción de viviendas". Tesis de doctorado no publicada. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Gatani, M.; J. Fiorelli; J. C. Medina; R. Martínez; A. Ruiz; M. F. Do Nascimento; et al. 2010. "Propiedades físico-mecánicas de paneles de partículas a base de cáscara de maní en matriz polimérica". En II Simposio Aprovechamiento de residuos agro-industriales como fuente sostenible de materiales de construcción. Valencia.
- Granero, A. V. y D. R. Aravena. 2008. "Material Aglomerado de Hojas Secas". Disertación de tesis de grado no publicada. Carrera Diseño Industrial. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de San Juan. San Juan, Argentina.

- Hayes, M. 1998. "Agricultural residues: A promising alternative to virgin wood fiber". En Issues in Resource Conservation, Briefing Series N° 1. Disponible en: <<http://www.rca-info.org/alts/meghanhayes.html>>
- Infostat. 2002. Infostat/Estudiantil, versión 2.0. Grupo Infostat/FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Ed. Brujas, Córdoba, Argentina.
- Kelly, M. W. 1977. "Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard". General Technical Report. Forest Products Laboratory. Forest Service. Department of Agriculture. U.S.
- Lehmann, W. 1970. "Resin efficiency in particleboard as influenced by density, atomization, and resin content". Forest Products Journal 20(1): 48-54.
- Lloyd, E. H. and D. Seber. 1996. "Bast Fiber Applications for Composites". In Proceedings of the 30° International Particleboard Composite Materials Symposium. Pullman: Washington.
- Markessini, E.; E. Roffael; L. Rigal. 1997. "Panels from annual plant fiber bonded with urea-formaldehyde resins". In Proceedings of the 31th International Particleboard Composite Materials Symposium. Pullman: Washington.
- Medina, J. C. y A. Ambrogi. 1994. "Cáscara de maní en la elaboración de aglomerados". Quebracho 2: 47-53.
- Ndazi, B.; J. V. Tesha; S. Karlsson and E. T. N. Bisanda. 2006. "Production of rice husks composites with Acacia mimosa tannin-based resin". Journal of Material Science 41(21):6978-6983.
- Rijo, C. 1988. "Influencia del aumento de la densidad y nivel de adhesivo en las propiedades mecánicas de tableros de partículas de chusqueaculeou, aglomerados con urea formaldehido". Revista Bosque 9:53-59.
- Savastano Jr. H.; P. G. Warden and R. S. P. Coutts. 2000. "Brazilian waste fibres as reinforcement for cement-based composites". Cement and Concrete Composites, 22, pp.379-384.
- Youngquist, J. A.; B. E. English; H. Spelter and P. Chow. 1993. "Agricultural fibers in composition panels". In Maloney, Tomas M., ed. Proceedings of the 27th International particleboard/composite materials symposium. 1993 March 30-31; April 1; Pullman, WA: Washington State University; 133-152.

