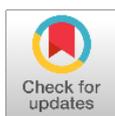




Artículo de investigación



Influencia de la distribución granulométrica en propiedades de tableros aglomerados de residuo de desmote de algodón y resina urea formaldehído

Influence of particle size distribution on the properties of cotton gin residue and urea formaldehyde resin particleboards

Luciano Gabriel Massons , Florencia Araceli Benitez , Regina Rosario Piccoli , Maria Fernanda Carrasco , Raúl Esteban Puga , Carlos Defagot 

Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI), perteneciente a la Facultad Regional Santa Fe de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN - FRSF). Santa Fe, Argentina

Autor de correspondencia: Luciano Gabriel Massons, Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI), perteneciente a la Facultad Regional Santa Fe de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN - FRSF). Santa Fe, Argentina. Correo electrónico: lmassons@frsf.utn.edu.ar. ORCID: 0000-0002-5584-5903.

Recibido: 16 de Agosto del 2023

Aceptado: 10 de Febrero del 2024

Publicado: 19 de Febrero del 2024

Resumen. - El presente trabajo expone la posibilidad de generar tableros de partículas con residuos de la industria algodonera del noreste de Argentina, aglomerados con resina urea-formaldehído, como una alternativa de sustitución de la madera por desechos lignocelulósicos de menor costo, para los cuales aún no se han implementado medidas para lograr una disposición final eficiente. Se pretende lograr tableros de partículas que puedan ser utilizados en la construcción de cerramientos de viviendas y mobiliario sencillo. Con la intención de optimizar el comportamiento de estos tableros, se investiga la influencia de la distribución de tamaños de partículas y sus características morfológicas en las propiedades mecánicas, resistencia al agua y calidad final de los tableros. Se comparan tres situaciones: material molido sin clasificar, material molido clasificado y material remolido clasificado, que conforman tableros monocapa con porcentajes de resina de 11,9 %, 15,1 % y 19,3 %. Los resultados muestran que el uso de partículas más finas aumenta aproximadamente un 35% la resistencia a la flexión (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE) en comparación con tableros donde se utilizan partículas más grandes. El hinchamiento y la absorción de agua disminuyen entre 25% y 70% utilizando partículas más pequeñas. Los tableros elaborados con partículas más pequeñas logran una mejor impregnación de la resina y procesos de mezclado más sencillos, que redundan en una mejor calidad de corte y superficies más lisas. Estos resultados contribuyen a la identificación de una disposición final de un residuo abundante sumando valor agregado y de alternativas de materias primas que puedan reemplazar a la madera en el proceso de fabricación de tableros.

Palabras clave: Tableros de partículas; Residuo de desmote de algodón; Resina urea formaldehído; Tamaños de partículas; Propiedades.

Abstract. - The present paper exposes the feasibility of producing particleboards with wastes from the cotton industry in northeastern Argentina, agglomerated with urea-formaldehyde resin, as an alternative to replace wood with lower-cost lignocellulosic waste, for there are no measures to achieve an efficient final disposal. The aim is to achieve particleboards suitable for the construction of housing enclosures and simple furniture. With the intention of optimizing boards behavior, the influence of the particle size distribution and their morphological characteristics on the mechanical properties, water resistance, and final quality of the boards is investigated. Three situations are compared: unclassified milled material, classified milled material, and classified remilled material, which constitutes single-layer boards with resin percentages of 11.9 %, 15.1 %, and 19.3 %. Results show that the use of finer particles increases the flexural strength (MOR) and the modulus of elasticity (MOE) by approximately 35 % compared to boards where larger particles are used. Swelling and water absorption decrease between 25 % and 70 % by using smaller particles. Boards made with smaller particles achieve better resin impregnation and simpler mixing processes, which result in better-cut quality and smoother surfaces. These results contribute to the identification of a final disposal with added value for abundant waste and an alternative raw material that can replace wood in the board manufacturing process.

Keywords: Particleboards; Cotton gin waste; Urea formaldehyde resin; Particle size; Properties.



1. Introducción

El algodón, la fibra natural de uso más difundido, se produjo a un ritmo de aproximadamente 26.7 millones de toneladas en todo el mundo en la campaña 2019-2020. En el proceso entre la cosecha del algodón y el desmote, se producen tres subproductos: los tallos de algodón o rastrojo, el residuo de desmote y las semillas de algodón.

Los tallos de algodón consisten en la porción remanente de la planta en el campo luego de efectuar la cosecha, el residuo de desmote es la fracción desechada en el proceso de limpieza de la fibra y las semillas de algodón se recolectan luego de la limpieza de las fibras [1-28].

El residuo de desmote es un material complejo, considerando que consiste en una mezcla de carpelos, motas (fibras de algodón con semillas inmaduras o rotas), palos, partes de hojas y partículas finas. La cantidad de residuo de desmote que se genera varía ampliamente y depende de varios factores, como el método de cosecha, la técnica de desmotado, el origen y la variedad del algodón [29].

En Argentina, la producción algodонера se concentra en la región del noreste, principalmente en las provincias de Santa Fe, Chaco, Formosa, Santiago del Estero y Corrientes, considerándose una actividad productiva con gran cantidad de problemas que deben abordarse.

A partir de datos obtenidos de cosechas anteriores, se sabe que, de aproximadamente 1,000,000 de toneladas de algodón, se obtienen más de 300,000 toneladas de residuos de desmote, es decir, más del 30 %, compuestos de fibras cortas, carpelos y otros componentes [1, 3, 4].

En las últimas décadas, el incremento en la implementación de maquinarias en la cosecha ha mejorado notablemente la rentabilidad del cultivo, pero esto también genera mayores cantidades de residuos en la fase de desmote,

implicando mayores inconvenientes y procesos, por tanto, más costos para la extracción final de la fibra utilizable.

El distanciamiento usado en las áreas sembradas a Surco Estrecho, no permite su recolección con cosechadoras de tipo “picker” o a husillos, recolectándose ese algodón mayoritariamente con cosechadoras de tipo “stripper” o despojadoras, muy eficientes en cuanto a la recolección en sí misma, pero que tienen la desventaja de cosechar con mayor porcentaje de impurezas o material extraño lo cual conlleva a menores rendimientos de fibra en el proceso de desmote [3, 4].

Los residuos mencionados actualmente sin destino previsto se acopian en grandes montañas al aire libre, dando lugar a un hábitat con condiciones muy favorables para plagas y roedores, y, además, siendo autoinflamables, son un peligro para las comunidades aledañas.

Como otro aspecto a considerar se encuentra el corto periodo de trabajo intensivo que tienen las desmotadoras, solo 100 días al año, tiempo coincidente con la duración de las campañas de cosecha y desmote. Esto se traduce en no ser una fuente de trabajo constante para la población local.

La implementación de tecnologías complejas para reutilizar este residuo se ve parcialmente frustrada por la variabilidad de su generación lo cual atentaría contra una necesidad continua de materia prima [2]. Actualmente se contemplan como un posible destino del residuo de desmote su aplicación como alimento balanceado para ganado, pero esto se torna dificultoso debido a su baja digestibilidad [5-6, 29].

También se podría compostar aeróbica o anaeróbicamente, lo cual parece una solución viable, pero la difusión de su uso es limitada y aparentemente poco rentable [7-8, 29].



Lamentablemente en la mayoría de las plantas desmotadoras, frente a la falta de soluciones efectivas al gran volumen de residuos generados se opta por quemarlos, lo cual, encontrándose estas plantas cercanas a centros poblacionales, se torna muy problemático debido a la importante contaminación ocasionada. Además, teniendo en cuenta que el algodón es uno de cultivos agrícolas con mayor aplicación de agroquímicos, se deben contemplar los riesgos asociados a la quema y los humos dispersados [9-12].

Frente a lo mencionado es alentador pensar en destinar estos residuos en la generación de materiales que puedan ser aplicados tanto en mobiliarios, viviendas u otros usos generales. Con el desarrollo de estos materiales se podrían resolver simultáneamente varias de las problemáticas mencionadas, destino de los residuos, fuente laboral alternativa y contribución a mejorar las deficiencias habitacionales de la zona [13-14].

Contando con antecedentes de otros investigadores que han trabajado con materiales lignocelulósicos subproductos agroindustriales, se vislumbra la posibilidad de producir tableros de partículas con los cuales constituir una tecnología de construcción en seco o como posible reemplazo de la madera en los aglomerados [14-26].

Estas iniciativas se basan en el aumento considerable del consumo de madera y otros materiales para aglomerados de partículas a base de biomasa, debido fundamentalmente al ritmo de crecimiento poblacional. La población mundial consume actualmente más de 3.5 billones de toneladas de madera verde por año.

2. Materiales y Métodos

El residuo de desmote utilizado para la elaboración de los aglomerados se obtuvo de los acopios de una planta desmotadora ubicada en la provincia de Santa Fe (Argentina). Este residuo está constituido por restos de fibra de

Si la tasa de consumo de fibra de madera y la tasa de crecimiento poblacional aumentaran más de 60 millones de toneladas por año, esta situación generaría un desequilibrio entre la oferta y la demanda y, consecuentemente, las fibras alternativas tales como las agrofibras y otras fibras vegetales adoptarán un papel relevante en relación a esta industria [13].

En etapas previas de la investigación se estableció la factibilidad de producción de tableros de partículas a partir de los residuos de desmote del algodón aglomerados con resina urea formaldehído que, mediante la incorporación de refuerzos superficiales de tejido bidireccional de yute y contenidos considerables de resina, presentaban propiedades mecánicas aceptables [27].

Otros investigadores han desarrollado tableros de partículas basados en residuos parciales del procesamiento del algodón, tales como los tallos que quedan en el campo y son retirados para prevenir la proliferación de plagas [13] o los carpelos que se separan luego de la cosecha manual [19].

En el presente artículo se presentan algunos avances logrados en la investigación respecto de la posibilidad de obtener tableros de partículas configurados en una capa, elaborados con residuo de desmote de algodón con distintas granulometrías y porcentajes variables de resina urea formaldehído, sobre los cuales se evalúan las propiedades mecánicas, resistencia al agua y calidad final de los tableros, así como la influencia de las características dimensionales y morfológicas de las partículas sobre estas propiedades.

algodón que no se logra separar en el proceso industrial, carpelos, ramas de diversos tamaños, hojas y polvo que se incorpora durante el acopio (Figura 1). Se realizó la molienda del residuo mediante una molidora de granos marca LOYTO N°2 monofásica, la cual cuenta con 8 martillos flotantes de acero y eje montado sobre bolilleros.



Figura 1. Apariencia de un tablero de cascarilla de algodón frente a un tablero comercial.

El residuo en estado natural primeramente se molió utilizando una criba de 16mm, obteniendo una granulometría variable compuesta de polvo, partículas de diversos tamaños y formas, además, fibras de algodón. Buscando uniformar la morfología del material se optó por tamizar el material molido eliminando, por un lado, la fracción pasante del tamiz N°30 que se compone principalmente de polvo y puede contener materias extrañas como partículas de suelo o cenizas [3] y, por otro, la fracción retenida en el tamiz de ½” (12,5 mm) que se trata en su totalidad de motas de fibras de algodón con partículas enredadas. La fracción remanente de esta clasificación se la utilizó para la confección de los paneles monocapa de granulometría gruesa (Figura 2b).

Luego de esta primera molienda y tamizado, se procedió a una segunda molienda del material utilizando una criba de 3,5 mm, obteniendo una distribución de partículas más uniforme, que también fue utilizada para la confección de paneles monocapas de granulometría fina, con un tamaño máximo de partículas de 4,75 mm (Figura 2c). Para las partículas se practicó una caracterización granulométrica, analizando el material resultante de las moliendas mediante dos procedimientos, uno a través del paso por tamices y el otro de forma manual, separando cada tipo de partículas presentes teniendo en cuenta sus características morfológicas (Figura 2). En la tabla 1 se puede observar la granulometría del material grueso y fino utilizados para la elaboración de los tableros.

Tabla 1. Análisis granulométrico mediante tamices molienda gruesa y fina.

# / N° ASTM	mm	Retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Pasante (%)	# / N° ASTM	mm	Retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Pasante (%)
3/8"	9,52	13,25	13,25	86,75	N° 4	4,76	1,17	1,17	98,83
N° 4	4,76	32,40	45,65	54,35	N° 8	2,36	9,36	10,53	89,47
N° 8	2,36	25,50	71,15	28,85	N° 16	1,18	41,12	51,64	48,36
N° 16	1,18	19,68	90,83	9,17	N° 30	0,59	24,26	75,90	24,10
N° 30	0,59	9,17	100,00	0,00	N° 50	0,297	11,29	87,19	12,81
					N° 100	0,15	5,70	92,89	7,11
					Fondo	-	7,11	100,00	0,00

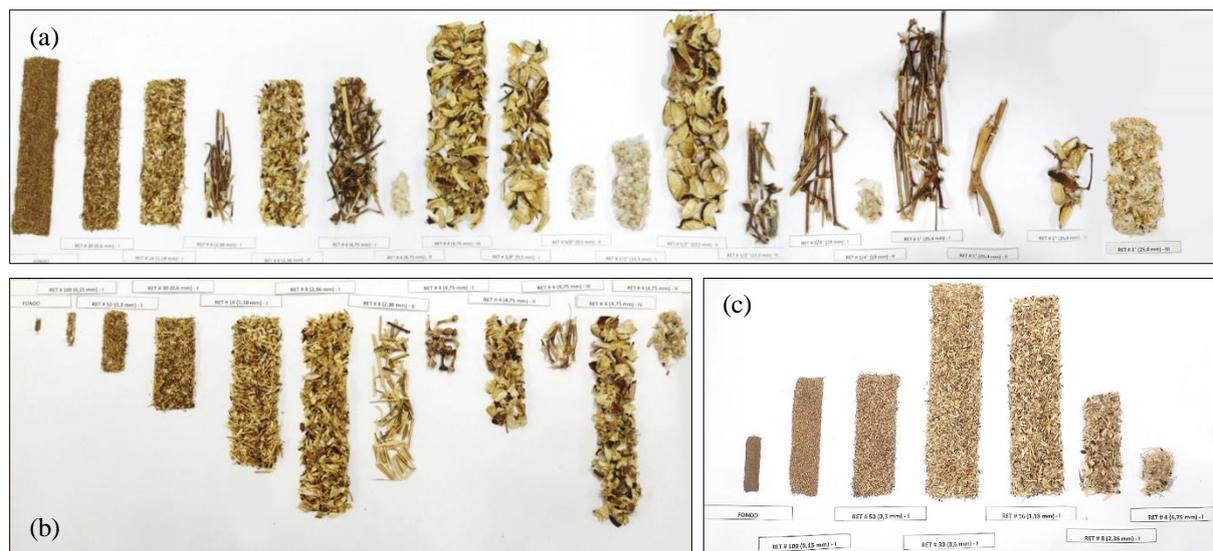


Figura 2. (a) Caracterización morfológica residuo en estado natural. (b) Caracterización morfológica residuo molido Criba 16 mm. (c) Caracterización morfológica residuo remolido en criba 3,5 mm.

Luego del proceso de molienda, el residuo se secó en estufa a $105 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ para reducir su contenido de humedad natural de aproximadamente 16% hasta alcanzar un aproximado de 3%. En una mezcladora planetaria con lira, el residuo de desmote seco se integró con la resina urea formaldehído (Coladur 65%) provista por Jucarbe S.A. (Argentina), con contenido de sólidos mínimo de 65 %, densidad de $1,26 \text{ g/cm}^3$, tiempo de gelación a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ de 6 min y viscosidad a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ de 950 cps.

A la resina se le adicionó agua hasta alcanzar un contenido de sólido de 55 % y se empleó como catalizador un 5 % de solución saturada sulfato de amonio. Tanto para los paneles elaborados con el material grueso, como para aquellos elaborados con el material fino, la proporción de resina utilizada para los aglomerados, expresada como sólidos en proporción al peso de residuo de desmote seco, fue de 11.9%, 15.1 % y 19.3%.

Luego de homogeneizar la mezcla, en todos los casos se colocó el material de forma manual en un molde de platos calientes, y se prensó hasta alcanzar una presión máxima de 3, 3.75 y 4.75 MPa con una temperatura de 150°C en ambos

platos durante 5 minutos, obteniendo tableros de dimensiones nominales de $250 \times 250 \times 8 \text{ mm}$.

Sobre los aglomerados obtenidos se realizaron determinaciones de densidad, resistencia a flexión estática y resistencia al hinchamiento y absorción. La densidad se determinó de acuerdo al procedimiento de la norma IRAM 9705 [30]. La determinación de la resistencia a flexión y módulo de elasticidad se realizó de acuerdo a los lineamientos de la norma IRAM 9706 [31], modificando la luz de ensayo que se mantuvo en todos los casos igual a 140 mm. Para la realización del ensayo las probetas previamente se acondicionaron durante 48 a 72 hs, en un ambiente controlado a $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ y $65 \pm 5 \%$ de humedad relativa, la carga se aplicó en el centro de la luz entre apoyos en una máquina Instron 3344, con una velocidad de deformación constante de 12 mm/min, hasta que se verificó la falla de la probeta. La determinación del hinchamiento y absorción se realizó de acuerdo a lo establecido en la norma IRAM 9720 [32], para ello se cortaron probetas de dimensiones nominales de $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$, se acondicionaron hasta masa constante, en un ambiente controlado a $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ y $65 \pm 5 \%$ de humedad relativa las cuales



se midieron y pesaron. Luego se las sumergió completamente en agua a temperatura ambiente durante 24 horas. Transcurrido ese tiempo cada probeta fue retirada de la inmersión, se eliminó el exceso de agua y se las volvió a medir y pesar. El hinchamiento y la absorción se determinaron también luego de un secado al aire de 7 días, posterior al periodo de inmersión.

3. Resultados y Discusión

La figura 5 muestra partículas características que componen el residuo de desmote en sus diferentes fracciones. Las partículas correspondientes al residuo natural (Figura 3a) se encuentran comprendidas entre los tamices de 25 mm y de 0.6 mm, con una composición muy heterogénea en tipo de partículas, tamaños y formas de las mismas. Una gran proporción de las partículas que componen el residuo en estado natural presentan una importante concavidad e irregularidad en sus formas. Las partículas correspondientes al residuo molido grueso (Figura 3b) se encuentran comprendidas entre los tamices de 4,75 mm y 0,6 mm y, si bien la molienda permite alcanzar una mayor

homogeneidad de tamaños y formas, las partículas aún presentan concavidades. En el caso del residuo fino remolido (Figura 3c), las partículas se encuentran comprendidas entre los tamices de 4,75 mm y 0,15 mm, y puede apreciarse que su forma tiene a ser más regular y se eliminan casi por completo las unidades cóncavas.

En la Tabla 2 se observan los valores promedio de densidad, resistencia a flexión (MOR), módulo de elasticidad en flexión (MOE) e hinchamiento y absorción, obtenidos para los aglomerados elaborados.

La norma IRAM 9723 [33], que establece los requisitos a cumplir por los tableros de partículas, no define una clasificación en función de la densidad, pero establece una tolerancia para la variabilidad de la densidad en un tablero de 10%. En cambio, los valores de densidad obtenidos colocan a la mayoría de los aglomerados monocapa en la clasificación de alta densidad (HD) según la norma ANSI A208.1 (ANSI, 1999) [46], que establece un límite inferior de 800 kg/m³.

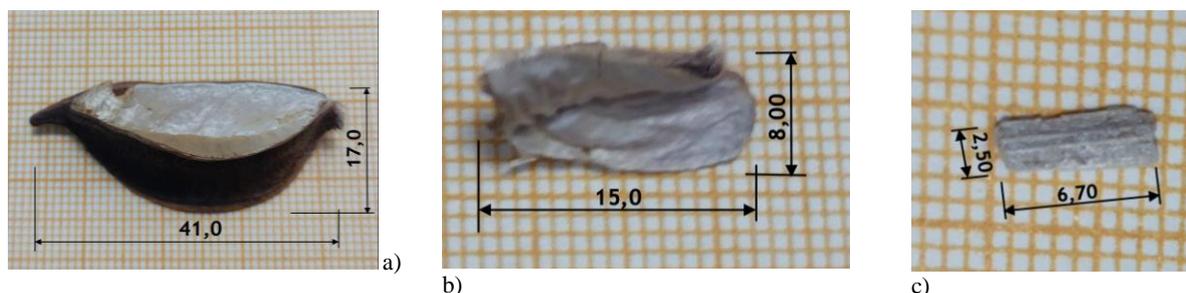


Figura 3. Partículas características del a) residuo en estado natural; b) residuo molido en criba 16mm y tamizado; c) residuo remolido en criba 3,5 mm.



Tabla 2. Propiedades mecánicas y físicas de los tableros de partículas.

Identific.	Presión	Resina	Tipo	Densidad	MOR	MOE	Hincham.	Absorción	Hincham.	Absorción
	moldeo	(Sol./Sol)	granulom.				24hs	24hs	7 días	7 días
	(MPa)	(%)	-	(kg/m ³)	(MPa)	(MPa)	24hs	24hs	7 días	7 días
U1	3,00	11,9	P #1/2 R#N30	723,02	6,68	926,57	77,46	138,96	13,86	137,66
S1	3,00	19,3	P #1/2 R#N30	800,90	10,37	1279,70	86,73	123,70	9,90	115,29
R1	3,00	20,6	P #1/2 R#N30	850,20	9,57	1269,97	58,51	85,07	12,85	86,94
U	4,75	11,9	P #1/2 R#N30	939,74	11,18	1345,92	84,81	105,96	29,05	95,58
R	4,75	15,1	P #1/2 R#N30	946,50	14,59	1383,28	57,03	74,72	14,55	74,28
S	4,75	19,3	P #1/2 R#N30	892,80	12,65	1407,23	41,47	70,06	11,73	70,44
ZG	3,75	11,9	P #1/2 R#N30	959,45	9,46	1223,22	82,43	74,29	39,79	-5,76
ZG	3,75	15,1	P #1/2 R#N30	960,24	13,93	1803,54	52,85	59,56	36,22	-6,47
ZF	3,75	15,1	P #1/2 R#N30 Remol.	1037,12	15,71	1867,99	43,96	59,49	51,08	-9,06
ZF	3,75	19,3	P #1/2 R#N30 Remol.	1016,67	16,28	2159,40	31,92	41,49	21,00	-2,98

Al analizar la densidad de los aglomerados se aprecia que aumenta a medida que se incrementa la presión de moldeo entre una densidad mínima de 723 kg/m³, para los tableros prensados a 3 MPa, y una densidad máxima de 1037 kg/m³, para aquellos prensados a 3.75 MPa (Figura 4).

El tamaño de las partículas que componen los aglomerados tiene influencia sobre la densidad medida, ya que las placas conformadas por partículas resultantes del remolido con la criba de 3,5 mm resultan tener una mayor densidad que las placas de material molido con criba de 16mm, aún para menor presión de moldeo. Este efecto puede atribuirse a la posibilidad de alcanzar una mayor compactación debido a que las partículas finas y planas pueden acomodarse mejor en el prensado y generando una menor presencia de vacíos [34]. El contenido de resina urea formaldehído no tiene mayor incidencia en la densidad de los aglomerados.

Los valores de resistencia a flexión (MOR) de los aglomerados tienden a incrementarse con el aumento de contenido de resina utilizado y lo mismo sucede con la presión de moldeo. Por otro lado, se observa que al reducir el tamaño de partículas, la resistencia crece aún para los

mismos contenidos de resina y presión de moldeo.

Puede observarse que la resistencia de las probetas monocapa de residuo grueso y moldeadas con presiones de 3 MPa resultan inferiores independientemente del contenido de resina (Figura 5). En este sentido, es posible considerar que la presión de moldeo de 3 MPa resulta insuficiente para lograr una adecuada adhesión de las partículas, dejando espacios que no han podido ser llenados. Este comportamiento difiere del observado en investigaciones en las que los paneles están fabricados a partir de otros residuos lignocelulósicos y resinas, para los cuales presiones de moldeo entre 2,4 y 3,5 MPa permiten lograr un comportamiento satisfactorio [13,19, 23, 34-35].

En el caso del residuo de desmote del algodón, los resultados de las muestras ensayadas muestran que a partir de una presión de 3.75 MPa puede lograrse una mejor adhesión de las partículas que no se incrementa significativamente cuando la presión crece hasta 4.75 MPa. No obstante, es significativo el cambio en el comportamiento de los tableros elaborados con el material fino, que incrementan su resistencia a flexión (MOR)



para todos los niveles de incorporación de resina. Tendencias similares se observan para los resultados de módulo de elasticidad (MOE), donde los tableros elaborados con el residuo remolido evidencian mayor rigidez (Figura 6).

Vanoli Scatolino et al [35] definieron el índice de compactación como la relación entre la densidad aparente del tablero de partículas y la densidad de las partículas utilizadas para su producción. En sus trabajos, el bajo valor de densidad de los residuos de algodón resultó en un aumento significativo en los valores de la tasa de compactación a medida que aumentó el porcentaje de residuos en paneles elaborados con residuos de desmotado de algodón y eucalipto, lo cual indica un mayor número de partículas por panel. En estas condiciones, la aplicación del mismo contenido de adhesivo

reduce su disponibilidad por partícula, resultando en valores más bajos de propiedades mecánicas. Además, la baja densidad básica de los residuos de algodón influye directamente en el espesor de la pared celular y, por tanto, en la resistencia y rigidez del material. Esta observación también es consistente con el aumento de densidad cuando se usan partículas más finas y presiones de moldeo más altas.

La norma IRAM 9723 [33] establece requerimientos de resistencia a flexión y módulo de elasticidad que se encuentran condicionados por el espesor del tablero y por el ambiente en el cual se colocará. Para espesores de 6 a 13 mm la resistencia a flexión mínima requerida (MOR) es de 11 N/mm² para aplicación en ambientes secos y de 15 N/mm² para ambientes húmedos

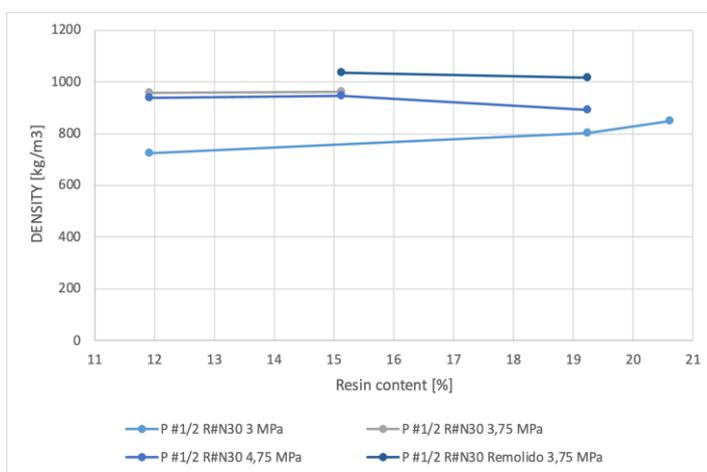


Figura 4. Densidad de los aglomerados.

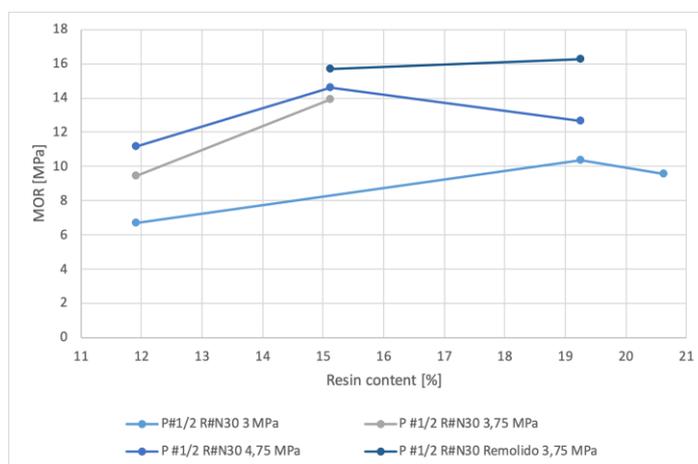


Figura 5. Resultados de resistencia a flexión simple.

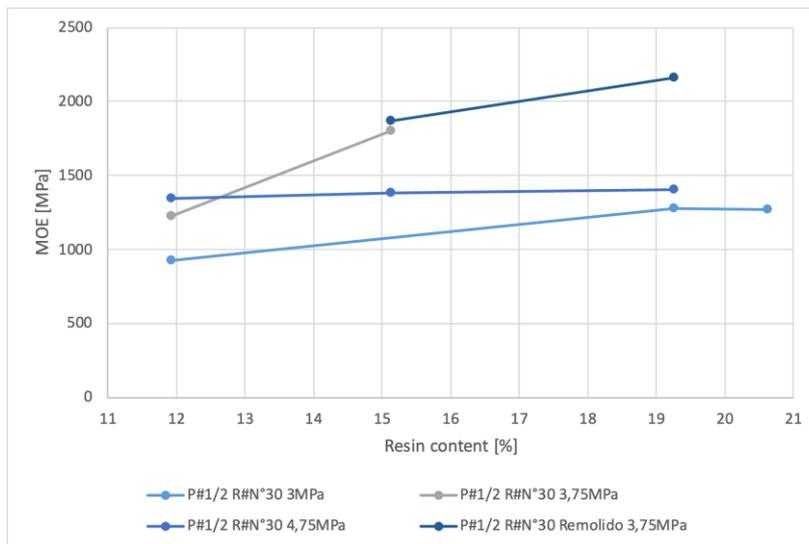


Figura 6. Resultados de módulo de elasticidad en flexión.

En el caso del módulo de elasticidad (MOE), para espesores de 6 a 13 mm el módulo de elasticidad mínimo requerido es de 1800 N/mm² para aplicación en ambientes secos y de 2050 N/mm² para ambientes húmedos. Los resultados obtenidos indican que todos los tableros, independientemente del uso de residuo grueso o fino, elaborados con contenidos de resina a partir de 15,1 % y presiones de moldeo a partir de 3,75 MPa, cumplen con los requerimientos de resistencia a flexión establecidos para ambientes secos. Sólo los tableros elaborados con partículas finas alcanzan los niveles exigidos de módulos de elasticidad para ambientes secos a partir de contenidos de resina de 15,1%. Cuando se analizan los requerimientos para ambientes húmedos, la resistencia a flexión y el módulo de elasticidad requeridos sólo son alcanzados por los tableros elaborados con partículas finas y contenidos de resina de 19,1 %.

El hinchamiento a 24 hs (Figura 7) de las muestras elaboradas con residuo grueso se encuentra entre 41.5 y 86.7 %, para presiones de 3; 3.75 y 4.75 MPa de presión de moldeo. Las muestras fabricadas con presiones de moldeo de 3,75 y 4,75 MPa muestran una tendencia decreciente al incrementarse el contenido de resina, en tanto que esta tendencia no se verifica para las muestras fabricadas con 3 MPa de presión de moldeo. La absorción a 24

hs (Figura 8) de las muestras elaboradas con residuo grueso se encuentra entre 59.6 y 138.9 %, para presiones de 3; 3.75 y 4.75 MPa de presión de moldeo. Las muestras fabricadas con presiones de moldeo de 3,75 y 4,75 MPa tienen menor absorción al incrementarse el contenido de resina, en tanto que esta tendencia no resulta clara para las muestras fabricadas con 3 MPa de presión de moldeo.

En el caso de las muestras elaboradas con el residuo fino, las muestras fueron moldeadas con presiones de 3.75 MPa. Para estos tableros, el incremento del contenido de resina se traduce en una disminución del hinchamiento (52.4 % para contenido de resina de 15.1 % y 31.9 % para contenido de resina de 19.3 %) y la absorción a 24 hs (41.5 % para contenido de resina de 15.1 % y 64.1 % para contenido de resina de 19.3 %). Ambos parámetros muestran un mejor desempeño para los tableros de partículas finas, en comparación con los tableros de partículas gruesas. Las partículas finas, que tienen superficies planas, desarrollan mejores contactos y adherencia entre ellas y la resina, permitiendo que la estructura de la placa sea más compacta y homogénea. Las partículas más gruesas, de geometría cóncava e irregular, producen aglomeraciones locales y puntos de contacto aislados, produciendo placas menos homogéneas. Estas diferencias en la estructura obtenida con partículas gruesas y finas explican



las diferencias observadas en el comportamiento de las placas [34]. Los tableros con partículas más gruesas tienen mayores valores de absorción de agua, lo que puede explicarse por la porosidad provocada por la concavidad y por la variedad de formas de residuos del desmotado. Los tableros elaborados con partículas finas, en toda su masa o en las capas exteriores, tienen menor absorción de agua y menores valores de hinchamiento, lo que se debe a una mayor compactación y menor humectabilidad. Se obtuvieron resultados similares para otros residuos lignocelulósicos [23, 36-39].

En todos los casos, el hinchamiento y la absorción, luego de 7 días de secado al aire (Figuras 9 y 10), se reducen drásticamente. El hinchamiento a 7 días de las muestras elaboradas con 3 MPa de presión de moldeo se encuentra siempre en entornos inferiores a las demás muestras. Para las muestras elaboradas con partículas gruesas el hinchamiento a 7 días resulta: para 3 MPa entre el 9.9 a 13.9 %, para 3.75 MPa entre 36.2 y 39.8 % y para 4.75 MPa entre 11.7 a 29.1 %. En estos paneles, la absorción a 7 días resultó siempre inferior al 8.0 %. Para los tableros elaborados con partículas finas el hinchamiento a 7 días resulta entre 21.0 y 51.1 % y la absorción a 7 días negativa.

Los requerimientos de hinchamiento máximo a 24 h, también se establecen en la norma IRAM 9723 [33] en función del espesor del tablero para su uso en ambientes húmedos. Para espesores de 6 a 13 mm este límite máximo se fija en 17 %. Los resultados obtenidos indican que los tableros evaluados no cumplen este requisito aún cuando son elaborados con residuo de desmote fino y los mayores contenidos de resina, por lo cual su empleo queda restringido a los ambientes secos.

La investigación desarrollada hasta el momento permite confirmar que los tableros elaborados

con material fino resultan más compactos, y alcanzan mejores niveles de prestaciones mecánicas y mayor resistencia al agua. No obstante, aun siendo elaborados con el residuo de desmote fino, que se compone de partículas más uniformes y prácticamente exentas de concavidad, las propiedades mecánicas y el hinchamiento por efecto de la inmersión en agua durante 24 h, limitan la posibilidad de aplicación de este material en ambientes húmedos. Una alternativa para mejorar el comportamiento frente al agua de los tableros de partículas consiste en la incorporación de aditivos hidrofobizantes, tales como las emulsiones de parafina [11, 40-42]. Esta adición deberá evaluarse en términos de dosis necesarias para obtener resultados satisfactorios de resistencia al agua, así como respecto de la posible alteración que pudiera provocarse en las propiedades mecánicas.

Por otra parte, el uso de residuo fino permite mejorar el comportamiento de los tableros cuando se comparan las propiedades, a igual contenido de resina, respecto de otros elaborados con el residuo grueso. Aun utilizando el residuo fino, el contenido de resina requerido para cumplir con las propiedades mecánicas exigidas para ambientes húmedos se encuentra por encima del 15 %. Estos contenidos de resina responden a efectos antagónicos entre la demanda derivada de mayores niveles de superficie específica del material fino y la mejor respuesta en las propiedades mecánicas y físicas debida al desarrollan mejores contactos y adherencia entre las partículas y la resina. El elevado requerimiento de contenido de resina obliga a considerar alternativas que permitan minimizar la emisión de formol libre, para lo cual se analizará la factibilidad de incorporación de aditivos secuestrantes de formaldehído que puedan contribuir a cumplir con los requerimientos normativos [43-45].

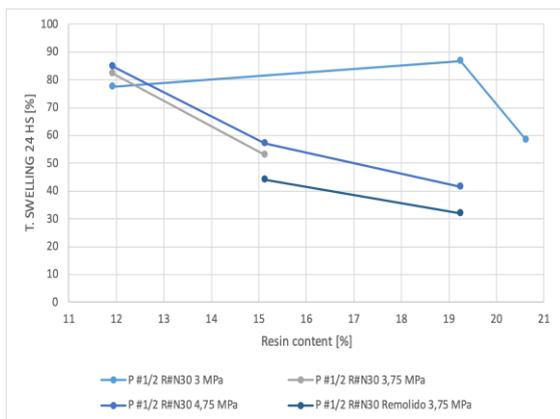


Figura 7. Resultados ensayo de hinchamiento por inmersión en agua durante 24 h.

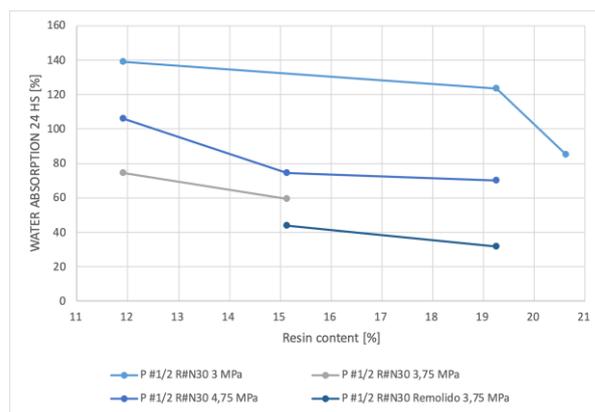


Figura 8. Resultados de absorción porcentual por inmersión en agua durante 24 h.

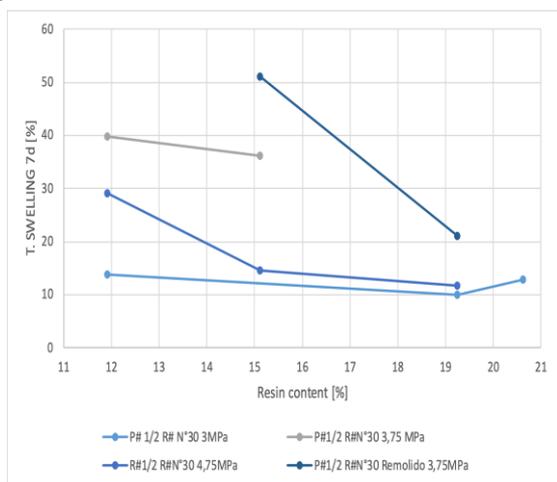


Figura 9. Resultados ensayo de hinchamiento por inmersión en agua durante 24 h, 7 días de secado.

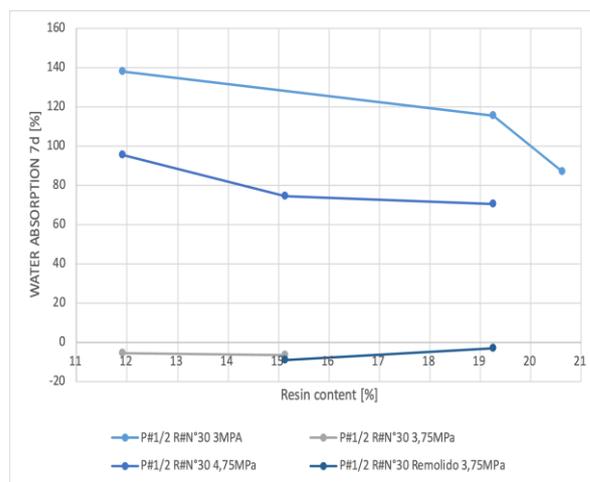


Figura 10. Resultados de absorción porcentual por inmersión en agua durante 24 h, 7 días de secado.

4. Conclusiones

Con base en los datos recopilados y los resultados obtenidos de los trabajos experimentales realizados, se pueden formular las siguientes afirmaciones con respecto al trabajo presentado: la distribución granulométrica del material y la morfología de las partículas que componen el residuo muestran una correlación significativa con varios aspectos del proceso de producción de aglomerado, incluida la trabajabilidad, la impregnación con resina, el mezclado y las propiedades mecánicas finales del producto. La molienda fina del material permite obtener una mayor homogeneidad en términos de forma y

tamaño de partículas, lo que conduce a un mejor acomodamiento y adhesión de las mismas. Los tableros elaborados con material fino presentan una mayor compacidad y muestran mejoras en las propiedades mecánicas, así como una mayor resistencia al agua. Sin embargo, incluso al utilizar residuos de desmote fino, las propiedades mecánicas y la susceptibilidad al hinchamiento después de la inmersión en agua durante 24 horas limitan su aplicación en ambientes húmedos. Por lo tanto, es imperativo evaluar en futuras etapas de investigación la efectividad de aditivos hidrofobizantes y su influencia en las propiedades mecánicas del material. Se hace necesario también evaluar la competencia entre la mayor demanda de resina, derivada de una



mayor superficie específica del material fino, y la mejora en las propiedades mecánicas y físicas. La optimización de estos factores permitirá reducir el contenido de resina en los tableros, lo cual es crucial para minimizar la emisión de formaldehído libre, aspecto de suma importancia en términos de normativas ambientales y de salud. Además, se sugiere evaluar la viabilidad de incorporar aditivos secuestrantes de formaldehído que puedan contribuir al cumplimiento de los requisitos normativos en materia de emisiones de gases, esta evaluación puede ser fundamental para garantizar la conformidad con los estándares regulatorios aplicables.

5. Agradecimientos

La concreción de este trabajo fue posible gracias a la colaboración de la desmotadora de algodón ACRIBA S.A de Villa Minetti, Santa Fe, Argentina; al financiamiento de la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado de la Universidad Tecnológica Nacional y a la colaboración del Instituto de Tecnología Celulósica de la FIQ-UNL.

6. Agradecimientos de autoría

Luciano Gabriel Massons: Conceptualización; Recursos; Ideas; Metodología; Análisis formal; Borrador original; Escritura; Revisión y edición; Visualización; Supervisión. *Florencia Araceli Benitez:* Recursos; Análisis de datos; Escritura; Revisión y edición; Visualización. *Regina Rosario Piccoli:* Recursos; Análisis de datos; Escritura; Revisión y edición. *María Fernanda Carrasco:* Conceptualización; Recursos; Ideas; Metodología; Análisis formal; Borrador original; Administración de proyecto; Supervisión. *Raúl Esteban Puga:* Análisis de datos; Validación. *Carlos Defagot:* Análisis de datos; Validación.

Referencias

- [1] Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Situación del algodón en la Argentina – Informe campaña 19/20 - Comité Consultivo Internacional del Algodón. https://icac.org/Content/EventDocuments/PdfFilesf65365a1_cdae_46a2_ba9b_45d0295f4137/Argentina-2020_spanish.pdf.
- [2] Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Situación del algodón en la Argentina – Informe campaña 20/21 - Comité Consultivo Internacional del Algodón. https://icac.org/Content/EventDocuments/PdfFiles3a1693d0_59b4_42fb_8a4b_db438bcdab7b/Argentina_Country%20report%202021.pdf
- [3] Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Informe sobre situación actual y perspectivas de la producción algodонера Argentina. 69° Reunión de CCIA (Comité Consultivo Internacional del Algodón); Lubbock, Texas (EE. UU.), 2016.
- [4] A. N. Md A. Haque, R. Remadevi, M. Naebe, “A review on cotton gin trash: Sustainable commodity for material fabrication”. *Journal of Cleaner Production* 281 (2021) 125300. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125300>.
- [5] R.O. Myer, M., Hersom, (12 de November de 2017). Cotton Gin Trash: Alternative Roughage Feed for Beef Cattle. Animal Science Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Recuperado el 24 de mayo de 2021 de <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- [6] K.B., Young, M.U., Ahmed, “Economics of using cotton gin trash as a supple-mental feed for range cattle”. *Journal of range management*, Vol. 32 (2), Pp. 123-126, 1979. <https://doi.org/10.2307/3897556>
- [7] V., Ayers, "Farmer Composting of cotton gin trash". Reprinted from the Proceedings of the Beltwide Cotton Conference. Vol. 2, Pp. 1615-1616. National Cotton Council, Memphis TN (EEUU), 1997.
- [8] E., Gordon, T.C., Keisling, L.R., Oliver, C., Harris, “Two methods of composting gin



- trash". *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32 (3-4), 491-507, 2006. <https://doi.org/10.1081/CSS-100103024>
- [9] A.L., Cravzov, S., Chomiczak, L., Dalla Fontana, J., Marinich, "Evaluación del uso de plaguicidas en cultivos de algodón". In: VI Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas de la UNNE, Resistencia, Chaco (Argentina), 2000.
- [10] Cravzov, A. L., Traskauskas, C., Delfino, M. R. "Pesticidas en semillas de algodón y desecho de desmote (Pesticides in cotton seeds and ginning trash)". In: XII Congreso Argentino de Toxicología - XXI Jornadas Interdis-ciplinarias de Toxicología - I Jornada Rioplatense de Toxicología. Rosario, Santa Fe (Argentina), 2001.
- [11] A.L., Cravzov, M.R., Delfino, C.M., Avallone, C., Traskauskas, S., Montenegro, A., Tauguin, "Carbamatos en semillas de algodón y desecho de desmote". In: IX Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas de la UNNE, Resistencia, Chaco (Argentina), 2003.
- [12] A., Crossan, F., Sanchez Bayo, I., Kennedy, K., Bodnaruk, K. "Risk of pesticide contamination in cotton seed and livestock". *The Australian cotton grower*, Vol. 27 (1), Pp. 54-56, 2006.
- [13] Mehmet, H. A., Kalaycioglu, H., Bektas, I., Tutus, A. (2005) Properties of cotton carpel-based particleboards. *Industrial Crops and Products* 22 141-149.
- [14] L.I., Méndez, R.M., Sotelo, "Reciclo del Marlo de Maíz". *Tableros de Partículas. Reciclado de residuos de construcción y demolición (RCD) y de residuos de procesos (RP) PROCQMA*, ISBN 950-42-0056- 7, Universidad Tecnológica Nacional. San Rafael, Mendoza (Argentina), abril 2006.
- [15] M.W., Contreras C.M.E., Owen De, J.D.A., Garay, M.Y., Contreras, "Elaboración de tableros aglomerados de partículas de caña brava (*Gynerium sagittatum*) y adhesivo urea-formaldehído". *Revista Forestal Venezolana*, Vol. 43 (2), Pp. 129-135, 1999.
- [16] M.P., Gatani, J., Fiorelli, J.C., Medina, R., Arguelo, A., Ruiz, M.F., Nascimento, H., Savastano Jr., H, "Viabilidade técnica de produção e propriedades de painéis de partículas de casca de amendoim". *Revista Matéria*, Vol. 18 (2), Pp. 1286-1293, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1517-70762013000200004>
- [17] J.C., Medina, A., Ambrogi, "Cáscara de maní en la elaboración de aglomerados", *Revista Quebracho*, Vol. 2, Pp. 47-53, 1994.
- [18] V., Granero, M., Gatani, J.C., Medina, A., Ruiz, J., Fiorelli, J., Kreiker, M.J., Lerda, "Determinación de la influencia del tamaño y forma de partículas de cáscaras de maní en paneles aglomerados". *Revista Quebracho* Vol. 21(1,2), Pp. 67-80, 2013.
- [19] C., Güller, R., Ozen, "Some properties of particleboards made from cotton stalks (*Gossypium hirsutum* L.)". *Holz Roh Werkst*, Vol. 62, Pp. 40-43, 2004. <https://doi.org/10.1007/s00107-003-0439-9>
- [20] L.D., Varandaa, M.F., Do Nascimento, A.L., Christoforo, D.A., Lopessilva, F.A., Roccolahr, "Oat Hulls as Addition to High Density Panels Production". *Materials Research*, Vol. 16(6), Pp. 1355-1361, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392013005000131>
- [21] G., Barbirato, N.G., Fiorelli, J., Barrero, N.G., Agnolon Pallone, E.M.J., Rocco Lahr, F. A., Christoforo, A.L.; Savastano Jr. "Painel aglomerado híbrido de casca de amendoim reforçado com partículas de madeira Itaúba". *Ciência Florestal*, Vol. 24(3), Pp. 685-697, 2014. <https://doi.org/10.5902/1980509815726>
- [22] C., Desirello, S., Cerini, R., Chara-Dia, R., Scalfi, C., Liberman, P.M., Stefani, "Efecto de las condiciones de procesamiento sobre las propiedades mecánicas de aglomerados de cáscara de arroz". *CONGRESO SAM/CONAMET 2004*. UNL. Santa Fe, Santa Fe (Argentina), 2004.
- [23] H., Pirayesh, H., Khanjanzadeh, A., Salari, "Effect to fusing walnut/almond shells on the physical, mechanical properties and formaldehyde emission of particle board". *Composites: Part B*, Vol. 45, Pp. 858- 863, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.05.008>
- [24] R.M., Barros Filho, L.M., Mendes, K., Monteiro Novack, L., Oliveira Aprelini, V.R.,



- Botaro, “Hybrid chip board panels based on sugar cane bagasse, urea formaldehyde and melamine formaldehyde”. *Industrial Crops and Products*, Vol. 33, Pp. 369-373, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.11.007>
- [25] S., Panyakaew, S., Fotios, “New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse”. *Energy and Buildings*, Vol. 43, Pp. 1732-1739, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.015>
- [26] X., Li, Z., Cai, J.E., Winandy, A.H., Basta, “Selected properties of particleboard panels manufactured from rice straws of different geometries”. *Bioresource Technology*, Vol. 101, Pp. 4662-4666, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.053>
- [27] A. Trevisan, L. Massons, F. Benítez, M. F. Carrasco, R. M. Grether, A. A. González, “Evaluation of particle board production from cotton gin waste and urea-formaldehyde resin”. *Revista de Ciencias Tecnológicas (RECIT)*. Vol.4 (4), pp. 287-298, 2021. <https://doi.org/10.37636/recit.v44287298>.
- [28] A. Zabaniotou, K. Andreou, “Development of alternative energy sources for GHG emissions reduction in the textile industry by energy recovery from cotton ginning waste”. *Journal of Cleaner Production* 18 (2010) 784–790. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.01.006>
- [29] F.A. Agblevor, J.S. Cundiff, C. Mingle, W. Li, “Storage and characterization of cotton gin waste for ethanol production”. *Resources, Conservation and Recycling* 46 (2006) 198–216. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.07.002>
- [30] IRAM 9705:2001 - Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad.
- [31] IRAM 9706:2001- Tableros derivados de la madera. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de la resistencia a la flexión.
- [32] IRAM 9720: 1999 - Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación del hinchamiento del espesor después de inmersión en agua.
- [33] IRAM 9723: 2012 - Tableros de partículas. Requisitos.
- [34] C. Cosereanu, L. Brenci, O. Zeleniuc, A. Fotin, “Effect of particle size and geometry on the performance of single-layer and three-layer particleboard made from sunflower seed husks”. *BioResources* 10(1),1127-1136, 2015. <https://doi.org/10.15376/biores.10.1.1127-1136>
- [35] M. Vanoli Scatolino, T.de Paula Protásio, V.M. Souza, C. L. Farrapo, J. B. Guimarães Junior, D. Soratto, R. Farinassi Mendes, L. M. Mendes, “Does the Addition of Cotton Wastes Affect the Properties of Particleboards?” *Floresta e Ambiente*; 26(2): e20170300, 2019. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.030017>
- [36] GÜLLER, C., CÖPÜR, Y., TASCIOGLU, C. (2008). The manufacture of particleboards using mixture of peanut hull (*Arachis hypoqaea* L.) and European Black pine (*Pinus nigra* Arnold) wood chips. *Bioresource Technology* 99, 2893–2897.
- [37] GÜLLER, C. (2015). Research on the production of the composite panels from some agricultural residues. *Pro Ligno vol. 11* (4), 187-191.
- [38] Suzuki, S.; Takeda, K. (2000). “Production and properties of Japanese oriented strand board I: effect of strand length and orientation on strength properties of sugi oriented strand board”, *J Wood Sci*, 46, 289-295.
- [39] Iswanto, A.H.; Simarmata, J; Fatriasari, W; Azhar, I.; Sucipto, T.; Hartono, R. (2017). “Physical and Mechanical Properties of Three-layer Particleboards Bonded With UF and UMF Adhesives”, *J. Korean Wood Sci. Technol.*, 45(6): 787-796.
- [40] G. I. Mantanis, E. Th. Athanassiadou, M. C. Barbu, K. Wijnendaele, “Adhesive systems used in the European particleboard, MDF and OSB industries”. *Wood Material Science & Engineering*, 2017. <http://dx.doi.org/10.1080/17480272.2017.1396622>
- [41] J. T. de Lira Bazzetto, G. Bortoletto Junior, F. M.Silva Brito, “Effect of Particle Size on Bamboo Particle Board Properties”. *Floresta e Ambiente*, 26(2): e20170125, 2019. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.012517>



[42] S.W. Kariuki, J. Wachira, M. Kawira, G. Murithi, “Crop residues used as lignocellulose materials for particleboards formulation”. *Heliyon* 6 (2020) e05025. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05025>.

[43] A. Pizzi, “Tannins: Prospectives and Actual Industrial Applications”. *Biomolecules*, 2019, 9, 344; <https://doi.org/10.3390/biom9080344>

[44] R. S. F. Martins, F. G. Gonçalves, R. C. C. Lelis, P. G. A. Segundinho, A. M. Nunes, G. B. Vidaurre, I. L. S. Chaves, S. B. Santiago. “Physical properties and formaldehyde

emission in particleboards of Eucalyptus sp. and ligno-cellulosic agro-industrial waste”. *Scientia Forestalis*, 48(125), e2926, 2020. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n125.13>

[45] M. Gangi, T. Tabarsa , S. Sepahvand, J. Asghari, “Reduction of formaldehyde emission from plywood”. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 1–11, (2012). <http://dx.doi.org/10.1080/01694243.2012.739016>

[46] Particleboard, ANSI A208.1, 1999.

Derechos de Autor (c) 2024 Luciano Gabriel Massons, Florencia Araceli Benitez, Regina Rosario Piccoli, Maria Fernanda Carrasco, Raúl Esteban Puga, Carlos Defagot



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)