



UNSE

Universidad Nacional
de Santiago del Estero

**Evaluación de viabilidad técnica de producción
de tableros de partículas a partir de mezcla de
virutas residuales de algarrobo (*Prosopis alba*
Griseb) y cáscaras de maní (*Arachis hypogaea* L.)**



Paula Vanesa Jiménez

TESIS DOCTORAL

Facultad de Ciencias Forestales

Santiago del Estero, Argentina
2023



Jiménez, Vanesa Paula

Evaluación de viabilidad técnica de producción de tableros de partículas a partir de mezcla de virutas residuales de algarrobo -*Prosopis alba* Griseb- y cáscaras de maní -*Arachis hypogaea* L. : Tesis doctoral : Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero / Vanesa Paula Jiménez. - 1a ed. - Santiago del Estero : Universidad Nacional de Santiago del Estero - UNSE. Facultad de Ciencias Forestales, 2023.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-8922-26-3

1. Madera. 2. Maní. 3. Residuos. I. Título.

CDD 674.5

Evaluación de viabilidad técnica de
producción de tableros de partículas
a partir de mezcla de virutas residuales
de algarrobo (*Prosopis alba* Griseb) y
cáscaras de maní (*Arachis hypogaea* L.)

Tesis presentada como requisito para
Obtener el grado de Doctora en Ciencias Forestales

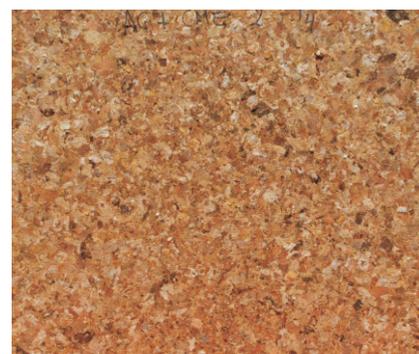
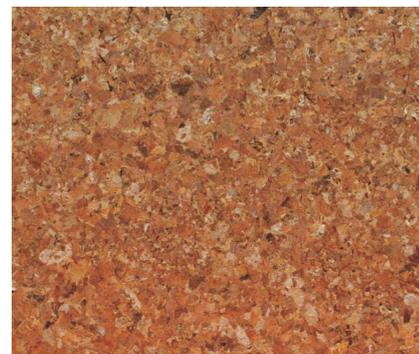
Por

Paula Vanesa Jiménez

Ing. en Industrias Forestales
Universidad Nacional de Santiago del Estero – 2013

Director de Tesis: Dr. Juan Carlos Medina
Codirector: Dra. Mariana Pilar Gatani

Santiago del Estero, Argentina. Año 2022





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SANTIAGO DEL ESTERO
Facultad de Ciencias Forestales



**Evaluación de viabilidad técnica de producción de
tableros de partículas a partir de mezcla de virutas
residuales de algarrobo (*Prosopis alba* Griseb) y
cáscaras de maní (*Arachis hypogaea* L.)**

TESIS
PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS FORESTALES

POR

Paula Vanesa Jiménez

Ing. en Industrias Forestales
Universidad Nacional de Santiago del Estero - 2013

Director de tesis: **Dr. Juan Carlos Medina**
Codirector: **Dra. Mariana Pilar Gatani**

Santiago del Estero, Argentina.
Año 2023



UNSE
Universidad Nacional
de Santiago del Estero

TÉRMINO DE APROBACIÓN
TESIS DOCTORAL

En la ciudad de Santiago de Estero, a los 12 días de abril de 2023, siendo las 10:00 horas, se reúne en forma híbrida, mediante el uso de medios tecnológicos sincrónicos, el Tribunal de Tesis, constituido por los profesores: Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos (Universidad Federal de Paraná-Brasil – UFPR), Dra. María Cristina Área (Universidad Nacional de Misiones – UNAM), y Dr. Rolando Martínez (Universidad Nacional de Santiago del Estero - UNSE), para evaluar la Tesis doctoral de la Ing. Paula Vanesa Jiménez DNI 31.509.800, en la Defensa convocada mediante Resolución FCF N° 141/2023.

La Tesis para obtener el título de Doctora en Ciencias Forestales se denomina "Evaluación de viabilidad técnica de producción de tableros de partículas a partir de mezcla de virutas residuales de algarrobo (*Prosopis alba Griseb*) y cáscaras de maní (*Arachis hypogaea L.*)", y fue dirigida por el Dr. Juan Carlos Medina (Universidad Nacional de Santiago del Estero) y codirigida por la Dra. Mariana Pilar Gatani (Universidad Nacional de Córdoba).

Después de evaluar la Tesis e interrogar a la doctoranda, el Jurado deliberó por la aprobación, con la calificación: 9 (Nueve).

JURADO DE TESIS

Dra. María Cristina Área
UNAM

Documento autografiado digitalmente
JORGE LUIS MONTEIRO DE MATOS
Fecha: 15/04/2023 18:33:18 -0500
Verifique en: <https://verifica.ig.gov.br>

Dr. Jorge L. Monteiro de Matos
UFPR

Dr. Rolando Martínez
UNSE



Dra. María G. Senillani
SECRETARÍA DE POSGRADO
FCF - UNSE

DEDICATORIA

A mis padres Orlando y Neri

A mis hermanos Florencia, Alejandra, César, Enzo y Daniel

A Jorge Luis Jiménez (en su memoria)

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas por la beca otorgada. A mi Director y Codirectora de Tesis Dr. Juan C. Medina y Dra. Mariana Gatani, por todo el apoyo y enseñanzas recibidas. A mis colegas y personal de los laboratorios de: Paneles a Base de Madera, Ing. Agustín Ruiz, Rodrigo Brandan (ITM-UNSE); Química de la Madera y Energía de Biomasa, Ing. María E. Carranza, Téc. Ramón Cardozo (ITM-UNSE); Tecnología de la Madera, M.Sc. Estela Pan, Téc. Ernesto Ruiz (ITM-UNSE); Energía de Biomasa, Dr. Dimas A. Silva (UFPR). A mi familia, amigos y compañeros que estuvieron siempre brindándome su apoyo y acompañamiento durante estos años de estudio. A todos ellos MUCHAS GRACIAS.

INDICE GENERAL

Capítulo	Página
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1. HIPÓTESIS.....	4
1.2. OBJETIVOS.....	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 ALGARROBO.....	6
2.1.1 Distribución geográfica.....	6
2.1.2 Propiedades físicas y mecánicas.....	6
2.1.3 Composición química.....	7
2.1.4 Usos.....	9
2.2 CÁSCARAS DE MANÍ.....	9
2.2.1 Distribución geográfica.....	9
2.2.2 Propiedades físicas.....	10
2.2.3 Composición química.....	10
2.2.4 Usos.....	13
2.3 TABLEROS DE PARTÍCULAS.....	14
2.3.1 Definición, producción y comercio mundial.....	14
2.3.2 Tableros de partículas con residuos de madera.....	15
2.3.3 Tableros de partículas con residuos de carpintería.....	17
2.3.4 Tableros de partículas con cáscaras de maní.....	18

2.3.5 Tableros de partículas con cáscaras de maní y madera.....	20
2.3.6 Factores que afectan la calidad del tablero de partículas.....	21
Densidad.....	21
Geometría de las partículas.....	23
pH y sustancias extraíbles.....	24
Tenor de humedad de las partículas.....	25
Adhesivo y encolado.....	26
Formación de la manta.....	28
Prensado.....	28
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1 MATERIAS PRIMAS.....	32
3.2 METODOS.....	33
3.2.1 Caracterización de cáscaras de maní.....	33
Colecta y preparación del material.....	33
Caracterización física y química.....	33
Análisis físico.....	34
Análisis químico.....	35
Caracterización macroscópica.....	37
3.2.2 Delineamiento experimental.....	37
3.2.3 Procedimiento Experimental.....	38
Preparación de cáscaras de maní.....	39
Obtención de partículas de madera.....	39
Chipeado y molinado.....	39

Secado.....	40
Clasificación de partículas.....	41
Preparación de los tratamientos.....	42
Encolado.....	43
Formación del colchón de partículas.....	44
Pre-prensado.....	45
Prensado.....	45
Estabilización de los tableros.....	46
3.2.4 Análisis de características estéticas superficiales.....	46
3.2.5 Escuadrado, corte y estabilización de probetas.....	46
3.2.6 Ensayos físicos y mecánicos.....	48
3.2.7 Análisis estadístico.....	49
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
4.1 CARACTERIZACIÓN DE CÁSCARAS DE MANÍ.....	52
4.1.1 Análisis físico.....	52
4.1.2 Análisis químico.....	53
4.1.3 Caracterización macroscópica.....	59
4.2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	60
4.2.1 Clasificación de partículas.....	60
Análisis granulométrico.....	60
Coeficiente de esbeltez.....	61
4.3 ANALISIS DE CARACTERÍSTICAS ESTÉTICAS SUPERFICIALES.....	63
4.4 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS TABLEROS.....	65

4.4.1	Densidad y humedad.....	65
	Densidad.....	65
	Coeficiente de compresión.....	66
	Humedad.....	67
4.4.2	Hinchamiento y absorción.....	68
	Hinchamiento.....	68
	Absorción.....	71
4.5	PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS.....	73
4.5.1	Flexión estática.....	73
4.6	RESUMEN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS EVALUADAS.....	78
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
	ANEXO.....	96

INDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1	Contracciones totales, coeficiente de retractibilidad y relación de contracción para madera de algarrobo blanco al 15% de humedad.....	7
2	Constituyentes químicos de madera de algarrobo blanco sin extractar medidos por Besold <i>et al.</i> (1988).....	8
3	Constituyentes químicos del duramen, albura y corteza en arboles de algarrobo blanco de 22 y 50 años de edad, determinados por Rosende <i>et al.</i> (1985).....	8
4	Volátiles, carbono fijo, poder calorífico superior y componentes químicos de la cáscara de maní medidos por distintos autores.....	11
5	Producción y comercio mundial de tableros a base de madera en 2017.....	15
6	Delineamiento experimental empleado en el estudio.....	38
7	Propiedades de resina urea formaldeído.....	43
8	Composición de cola empleada.....	43
9	Ensayos físicos y mecánicos con sus respectivas normas y número de probetas utilizadas por cada tablero en la determinación.....	48
10	Propiedades físicas y mecánicas evaluadas con sus respectivas normas y valores exigidos por las mismas.....	49
11	Media, desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) de densidad bulk y humedad, determinados para las cáscaras de maní.....	52
12	Media, desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) de volátiles, carbono fijo, poder calorífico superior y componentes químicos de la cáscara de maní obtenidos en este estudio.....	55
13	Volátiles, carbono fijo, poder calorífico superior y componentes químicos de la cáscara de maní obtenidos en este estudio, comparados con los encontrados en la bibliografía.....	56
14	Valores medios del largo y espesor de virutas de algarrobo y coeficiente de esbeltez calculado (C.E).....	62
15	Coeficiente de compresión de los tableros fabricados con virutas de algarrobo y cáscaras de maní.....	67
16	Valores medios de las propiedades físicas y mecánicas obtenidos para los tratamientos, comparados con los exigidos por la norma IRAM para tableros con aplicaciones de interior (incluyendo mobiliario) para utilización	78

	en ambiente seco.....	
17	Porcentaje de material retenido por cada malla y total de partículas aceptadas para cada una de las materias primas utilizadas en la elaboración de los tableros.....	97
18	Valores medios, desvío estándar y Test de Tukey para los ensayos de densidad y humedad de los tratamientos uno y testigo.....	102
19	Valores medios, desvío estándar y Test de Tukey para los ensayos de densidad y humedad de los tratamientos del dos al diez.....	102
20	Valores medios, desvío estándar y Test de Tukey para los ensayos de hinchamiento en agua a 2 horas y absorción en agua a 2 y 24 horas de inmersión de los diferentes tratamientos.....	106
21	Valores promedio de MOR y MOE \pm desvío estándar y Test de Tukey para cada tratamiento.....	110

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	A) Virutas de madera de algarrobo, B) cáscaras de maní.....	32
2	A) Determinación de masa de cáscara de maní mediante balanza digital y B) de volumen mediante dispositivo cilíndrico.....	35
3	Astilladora BENSEN y molino de aspas CONDUX.....	40
4	Estufa utilizada para el secado de las partículas.....	41
5	Zaranda para clasificación de partículas.....	42
6	Encoladora de tambor rotativo.....	44
7	Molde para formación del colchón de partículas.....	45
8	Prensa hidráulica de platos calientes.....	46
9	Corte de probetas en tablero para ensayos físicos y mecánicos.....	47
10	Estabilización de las probetas para ensayos físicos y mecánicos.....	47
11	A) Aspecto de la superficie externa y estructura en red (2X) y B) aspecto de la capa interna de la cáscara de maní (2X).....	59
12	Distribución de tamaño de cáscaras de maní enteras (CME), cáscaras de maní tratadas en molino (CMM), algarrobo cepillado (AC), algarrobo cepillado y tratado en molino (ACM) y algarrobo tratado en chipera y molino (ACHM).....	61
13	A) Aspecto de las virutas de algarrobo resultantes de la operación de cepillado B) aspecto de las virutas de algarrobo tratadas en molino.....	63
14	Aspecto superficial de tableros de A) cáscaras de maní enteras; B) mezcla de cáscaras y virutas de algarrobo sin modificaciones; C) virutas de algarrobo, y D) virutas de algarrobo tratadas en molino.....	64
15	Valores medios, desvío estándar y Test de Tukey para ensayo de densidad de los diferentes tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).....	66
16	Valores medios, desvío estándar y Test de Tukey para ensayo de humedad (H) de los diferentes tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).....	68
17	Valores medios, desvío estándar y Test de Tukey para ensayo de hinchamiento por inmersión en agua a 2 horas de los diferentes tratamientos. De acuerdo a las normas IRAM 9723-3 (2001). Medias con una letra común no son	70

	significativamente diferentes ($p > 0,05$).....	
18	Valores medios, desvío estándar y Test de Tukey para ensayo de absorción en agua a 2 y 24 horas de inmersión de los diferentes tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).....	72
19	Valores medios, desvío estándar y Test de Tukey para ensayo de flexión estática de los diferentes tratamientos. Módulo de resistencia a la rotura (MOR). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).....	73
20	Valores medios, desvío estándar y Test de Tukey para ensayo de flexión estática de los diferentes tratamientos. Módulo de Elasticidad (MOE). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)..	74
21	A: Supuesto de normalidad para el modelo lineal mixto de densidad en función de los tratamientos. Gráfico QQ-plot (cuantil-cuantil) del ensayo de densidad de los tratamientos T1 y testigo. B: Supuesto de homogeneidad de varianza para el modelo lineal mixto de densidad del conjunto de datos. Gráfico de dispersión del ensayo de densidad de los tratamientos T1 y testigo. C: Gráfico para la detección de outlier utilizando la distancia de Cook correspondiente al ensayo de hinchamiento a 2 horas de los tratamientos T1 y testigo. Valores $> 0,4 - 0,3$ se consideran valores atípicos.....	98
22	A: Supuesto de normalidad para el modelo lineal mixto de densidad en función de los tratamientos. Gráfico QQ-plot (cuantil-cuantil) del ensayo de densidad de los tratamientos de T2 a T10. B: Supuesto de homogeneidad de varianza para el modelo lineal mixto de densidad del conjunto de datos. Gráfico de dispersión del ensayo de densidad de los tratamientos de T2 a T10. C: Gráfico para la detección de outlier utilizando la distancia de Cook correspondiente al ensayo de hinchamiento a 2 horas de los tratamientos de T2 a T10. Valores $> 0,4 - 0,3$ se consideran valores atípicos.....	99
23	A: Supuesto de normalidad para el modelo lineal mixto de humedad en función de los tratamientos. Gráfico QQ-plot (cuantil-cuantil) del ensayo de humedad de los tratamientos T1 y testigo. B: Supuesto de homogeneidad de varianza para el modelo lineal mixto de humedad del conjunto de datos. Gráfico de dispersión del ensayo de humedad de los tratamientos T1 y testigo. C: Gráfico para la detección de outlier utilizando la distancia de Cook correspondiente al ensayo de humedad de los tratamientos T1 y testigo. Valores $> 0,4 - 0,3$ se consideran valores atípicos.....	100
24	A: Supuesto de normalidad para el modelo lineal mixto de humedad en función de los tratamientos. Gráfico QQ-plot (cuantil-cuantil) del ensayo de humedad de los tratamientos de T2 a T10. B: Supuesto de homogeneidad de varianza para el modelo lineal mixto de humedad del conjunto de datos. Gráfico de dispersión del ensayo de humedad de los tratamientos de T2 a T10. C: Gráfico para la detección de outlier utilizando la distancia de Cook	101

	correspondiente al ensayo de humedad de los tratamientos de T2 a T10. Valores $> 0,4 - 0,3$ se consideran valores atípicos.....	
25	A: Supuesto de normalidad para el modelo lineal mixto de hinchamiento a 2 horas en función de los tratamientos. Gráfico QQ-plot (cuantil-cuantil) del ensayo de hinchamiento a 2 horas de los tratamientos de T2 a T10. B: Supuesto de homogeneidad de varianza para el modelo lineal mixto de hinchamiento a 2 horas del conjunto de datos. Gráfico de dispersión del ensayo de hinchamiento a 2 horas de los tratamientos de T2 a T10. C: Gráfico para la detección de outlier utilizando la distancia de Cook correspondiente al ensayo de hinchamiento a 2 horas de los tratamientos de T2 a T10. Valores $> 0,4 - 0,3$ se consideran valores atípicos.....	103
26	A: Supuesto de normalidad para el modelo lineal mixto de absorción a 2 horas en función de los tratamientos. Gráfico QQ-plot (cuantil-cuantil) del ensayo de absorción a 2 horas de los tratamientos de T2 a T10. B: Supuesto de homogeneidad de varianza para el modelo lineal mixto de absorción a 2 horas del conjunto de datos. Gráfico de dispersión del ensayo de absorción a 2 horas de los tratamientos de T2 a T10. C: Gráfico para la detección de outlier utilizando la distancia de Cook correspondiente al ensayo de absorción a 2 horas de los tratamientos de T2 a T10. Valores $> 0,4 - 0,3$ se consideran valores atípicos.....	104
27	A: Supuesto de normalidad para el modelo lineal mixto de absorción a 24 horas en función de los tratamientos. Gráfico QQ-plot (cuantil-cuantil) del ensayo de absorción a 24 horas de los tratamientos de T2 a T10. B: Supuesto de homogeneidad de varianza para el modelo lineal mixto de absorción a 24 horas del conjunto de datos. Gráfico de dispersión del ensayo de absorción a 24 horas de los tratamientos de T2 a T10. C: Gráfico para la detección de outlier utilizando la distancia de Cook correspondiente al ensayo de absorción a 24 horas de los tratamientos de T2 a T10. Valores $> 0,4 - 0,3$ se consideran valores atípicos.....	105
28	Hinchamiento en agua a 2 horas en función de la densidad de los tableros por tratamiento.....	106
29	Absorción en agua a 2 horas en función de la densidad de los tableros por tratamiento.....	107
30	Absorción en agua a 24 horas en función de la densidad de los tableros por tratamiento.....	107
31	A: Supuesto de normalidad para el modelo lineal mixto de MOR en función de los tratamientos. Gráfico QQ-plot (cuantil-cuantil) para MOR de los tratamientos de T2 a T10. B: Supuesto de homogeneidad de varianza para el modelo lineal mixto de MOR del conjunto de datos. Gráfico de dispersión para MOR de los tratamientos de T2 a T10. C: Gráfico para la detección de outlier utilizando la distancia de Cook para MOR de los tratamientos de T2 a T10. Valores $> 0,4 - 0,3$ se consideran	108

	valores atípicos.....	
32	A: Supuesto de normalidad para el modelo lineal mixto de MOE en función de los tratamientos. Gráfico QQ-plot (cuantil-cuantil) para MOE de los tratamientos de T2 a T10. B: Supuesto de homogeneidad de varianza para el modelo lineal mixto de MOE del conjunto de datos. Gráfico de dispersión para MOE de los tratamientos de T2 a T10. C: Gráfico para la detección de outlier utilizando la distancia de Cook para MOE de los tratamientos de T2 a T10. Valores $> 0,4 - 0,3$ se consideran valores atípicos.....	109
33	Módulo de Resistencia a la Rotura en función de la densidad de los tableros por tratamiento.....	110
34	Módulo de Elasticidad en función de la densidad de los tableros por tratamiento.....	111

DECLARACIÓN

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en esta u otra institución.

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

AC	Algarrobo cepillado
ACM	Algarrobo cepillado molinado
ACHM	Algarrobo chipeado molinado
ANOVA	Análisis de la varianza
CE	Coefficiente de Esbeltez
CM	Cáscaras de maní
CME	Cáscaras de maní enteras
CMM	Cáscaras de maní tratadas en molino
H	Humedad
IRAM	Instituto de Racionalización de Materiales
ITM	Instituto de Tecnología de la Madera
MOE	Módulo de Elasticidad
MOR	Módulo de Rotura
OSB	Oriented strand board
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UNSE	Universidad Nacional de Santiago del Estero

RESUMEN

Los tableros de partículas son materiales que pueden elaborarse a partir de materia prima económica. Por sus características constructivas permite la incorporación de residuos lignocelulósicos y una fuente importante surge de la actividad agrícola y forestal. El uso de un residuo está en función de la determinación de la aptitud técnica del material y de la cantidad que puede incorporarse sin afectar las propiedades del tablero. En este trabajo se realizaron estos estudios con virutas residuales de algarrobo y cáscaras de maní, se caracterizó la materia prima y se investigó la posibilidad de modificación de la forma y tamaño de los residuos. Además, se analizaron las características estéticas del producto como valor agregado. La metodología aplicada consistió en la elaboración de paneles con materia prima sin tratar en molino y tratada en molino, en diferentes proporciones (0%, 25%, 50%, 75% y 100%). Los resultados mostraron que en general la modificación de las partículas mejora las propiedades físicas y mecánicas de los tableros. Sin embargo, ningún tablero alcanzó los valores óptimos de resistencia pudiendo ser utilizados como revestimientos, cielorrasos y paneles aislantes. Por sus características estéticas, los tableros con cáscaras de maní enteras constituyen una alternativa viable, innovadora y sustentable para ser usados en diseño interior y arquitectura. Se determinó que en términos técnicos la formulación más adecuada es la que contiene 75% de virutas de algarrobo tratadas en molino y 25% de cáscaras de maní tratadas en molino. De los resultados obtenidos se concluye que es técnicamente viable producir tableros de partículas de uso interior a partir de la mezcla de virutas residuales de algarrobo (*Prosopis alba* Griseb.) y cáscaras de maní (*Arachis hypogaea* L.) modificados. Para mejorar la calidad de este producto se recomienda: modificar la geometría de las partículas ampliando el largo de las virutas de algarrobo; aumentar la humedad de las partículas antes del tratamiento en molino para evitar que las partículas se resquebrajen y produzcan finos; agregar un agente hidrófugo al adhesivo; aumentar la cantidad de adhesivo para las cáscaras de maní, ensayar el encolado de las materias primas por separado.

Palabras clave: tableros de partículas, residuos lignocelulósicos, residuos de carpintería, cáscaras de maní, valor agregado, características estéticas.

ABSTRACT

Particleboards are materials that can be made from cheap raw material. Due to its constructive characteristics, it allows the incorporation of lignocellulosic residues and an important source arises from agricultural and forestry activities. The use of a waste depends on determining the technical suitability of the material and the amount that can be incorporated without affecting the properties of the particleboard. In this work, these studies were carried out with residual carob shavings and peanut shells, the raw material was characterized and the possibility of modifying the shape and size of the residues was investigated. In addition, the aesthetic characteristics of the product were analyzed as an added value. The applied methodology consisted in the elaboration of panels with untreated raw material in the mill and treated in the mill, in different proportions (0%, 25%, 50%, 75% and 100%). The results showed that in general the modification of the particles improves the physical and mechanical properties of the particleboards. However, none of the particleboards reached the optimum resistance values and could be used as cladding, ceilings and insulating panels. Due to their aesthetic characteristics, particleboards with whole peanut shells constitute a viable, innovative and sustainable alternative to be used in interior design and architecture. It was determined that in technical terms the most suitable formulation is the one that contains 75% mill-treated carob shavings and 25% mill-treated peanut shells. From the results obtained, it is concluded that it is technically feasible to produce particleboard for interior use from the mixture of residual carob shavings modified (*Prosopis alba* Griseb.) and peanut shells modified (*Arachis hypogaea* L.). To improve the quality of this product, it is recommended to: modify the geometry of the particles by increasing the length of the carob shavings; increase the humidity of the particles before milling to prevent the particles from cracking and producing fines; add a water-repellent agent to the adhesive; increase the amount of adhesive for peanut shells, test the gluing of raw materials separately.

Keywords: particleboards, lignocellulosic waste, carpentry waste, peanut shells, added value, aesthetic characteristics.

1. Introducción



1 INTRODUCCIÓN

La industria de tableros a base de madera es una de las de las industrias de mayor importancia en términos de tecnología, empleo directo e indirecto, innovación, facturación y crecimiento. La expansión se debe a que los tableros son un sustituto natural de la madera sólida, con ventajas tecnológicas que resultan de la posibilidad de obtener un producto con propiedades físicas y mecánicas programables y de mayor superficie útil. Los tableros de partículas son un ejemplo de estos paneles, que tienen la importancia adicional de elaborarse a partir de materia prima más barata. Este crecimiento en la producción presenta como problemática lógica la demanda de mayores cantidades de materia prima. Por sus características constructivas, este producto permite la incorporación de residuos durante su elaboración lo que da la posibilidad no solo de mantener los niveles de producción, sino también de aumentarlos. El uso de estos desechos resulta un aporte económico al sector por la valorización de residuos y también un aporte al ambiente, ya que contribuye a reciclar y aprovechar este material que de otra forma resultaría contaminante.

Como es de esperar, con mayor frecuencia se recurre a los residuos de madera para su empleo como material de aporte a la industria de tableros de partículas y en una menor escala se emplean otros tipos de residuos lignocelulósicos. Una fuente importante de este tipo de materia prima surge de la actividad agrícola, residuos que son de una gran diversidad y que dependen del tipo de cultivo; esto es, dependen de las características propias de las economías regionales. El uso de uno u otro residuo es función de la determinación de la aptitud técnica del material y de la cantidad de material que puede incorporarse sin afectar las propiedades del tablero.

Este estudio no concluye en estas determinaciones pues debe estudiarse además la posibilidad de modificación de la forma y tamaño del residuo; es decir, mejorar la calidad para su mejor aprovechamiento cuantitativo y cualitativo. En Argentina no se dispone, a nivel público, de conocimientos técnicos que orienten qué residuo de madera utilizar y cómo hacerlo, menos aún de otros residuos lignocelulósicos. En este trabajo se evalúan residuos de algarrobo y cáscaras de maní, un residuo agrícola de un cultivo sobreabundante de la actividad agrícola argentina. Este aporte, que resulta original al combinar residuos tiene además, como novedad, la incorporación del análisis de las características estéticas del producto como aporte de valor agregado original. De este

estudio se espera desarrollar productos con diferentes propiedades que diversifiquen el uso de estos tableros cubriendo el rango enmarcado por su uso estructural y decorativo. La información a producir tendrá un ámbito de aplicación nacional, por lo que procura instalar el tema en el sector académico y además servirá a las industrias actuales y a las que eventualmente decidan instalarse en Argentina.

1.2 HIPÓTESIS

La mezcla de virutas residuales de algarrobo (*Prosopis alba* Griseb.) y cáscaras de maní (*Arachis hypogaea* L.) modificadas constituye una materia prima alternativa técnicamente viable para la fabricación de tableros de partículas de uso interior.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la viabilidad técnica de producción de tableros de partículas a partir de residuos provenientes de virutas de algarrobo (*Prosopis alba* Griseb) y cáscaras de maní (*Arachis hypogaea* L.) por medio de propiedades tecnológicas.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar la materia prima. En cáscaras de maní, determinar propiedades físicas y químicas, y características macroscópicas. Características morfológicas y granulometría de ambas materias primas;
2. Analizar la influencia de las características de las partículas en las propiedades físicas y mecánicas de los tableros elaborados;
3. Modificar las formas y dimensiones de las virutas residuales de la operación de cepillado de la madera y de cáscaras de maní para adecuarlas a las exigencias de la industria de tableros de partículas;
4. Producir tableros con diferentes tamaños de partículas y distintas proporciones de materia prima;
5. Evaluar el aspecto estético de los tableros fabricados con residuos de madera y cáscaras de maní;
6. Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los tableros fabricados mediante normas IRAM para tableros con aplicaciones de interior (incluyendo mobiliario) para utilización en ambiente seco.

2. Revisión Bibliográfica



2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 ALGARROBO

2.1.1 Distribución geográfica

El algarrobo blanco (*Prosopis alba*), tiene una extensa área de distribución que incluye la Región Chaqueña de Argentina (Di Marco, 2013), es una especie muy abundante en la zona centro y norte del país, en las provincias fitogeográficas del Chaco, Espinal y del Monte (Ledesma *et al.*, 2008). Si bien existen plantaciones de esta especie (6 mil hectáreas en Chaco y 2 mil hectáreas en Formosa), son forestaciones jóvenes que no han llegado aún a su turno de corta final, por lo que la madera que se utiliza proviene del bosque nativo (Di Marco, 2013). En Santiago del Estero actualmente se encuentran en vigencia planes del Estado Nacional que incentivan la forestación (Ley Nacional 25.080/99 y su reforma Ley 26.432/08) y el algarrobo blanco es una de las especies promocionadas para realizar plantaciones comerciales (Coronel *et al.*, 2013).

2.1.2 Propiedades físicas y mecánicas

La madera de algarrobo es una madera pesada, con densidad aparente de 0,760 g/cm³ al 15 % de contenido de humedad. Es una madera muy estable, con bajas contracciones, Tabla 1. Resistente al ataque de hongos e insectos, constituyendo una madera durable. Presenta buen comportamiento durante el secado, tanto en el proceso natural como artificial. Se trabaja sin dificultad, aunque resulta abrasiva cuando se encuentra seca para los elementos de corte, en verde no ofrece dificultades para el aserrado y permite superficies lisas y pulidas. Debido a su dureza presenta dificultades para el clavado por lo que requiere pretaladrado. Toma bien tintes, colas, pinturas, lustres y barnices. Con respecto a sus propiedades mecánicas presenta a la flexión estática un módulo de rotura de 64,7 N/mm² y un módulo de elasticidad de 6.122 N/mm²¹, considerando su densidad es una madera poco resistente a los esfuerzos de flexión (Tinto, 1978; Di Marco, 2013).

¹ Martinuzzi, F. Fichas Técnicas de maderas/Algarrobo Blanco. INTI Maderas y Muebles. [en línea] [fecha de consulta: 08 Octubre 2019]. Disponible en: <<http://www.cema.com.ar/wp-content/uploads/ALGARROBO-BLANCO.jpg>>

Tabla 1. Contracciones totales, coeficiente de retractsibilidad y relación de contracción para madera de algarrobo blanco al 15% de humedad.

Contracciones totales		Coeficiente de retractsibilidad		Relación contracción	
Tangencial %	2,5	Tangencial %	0,18		
Radial %	1,9	Radial %	0,06	T/R %	1,31
Volumétrica %	6,6	Volumétrica %	0,24		

Fuente. <http://www.cema.com.ar/wp-content/uploads/ALGARROBO-BLANCO.jpg>

2.1.3 Composición química

La madera de algarrobo blanco posee un poder calorífico elevado, es de combustión lenta y escasa ceniza (Di Marco, 2013). A continuación, en la Tablas 2 y 3 se presentan sus constituyentes químicos medidos por distintos autores.

En la Tabla 2 se presentan los constituyentes químicos de la madera (duramen y albura juntos) de algarrobo blanco de Santiago del Estero determinados por Besold *et al.* (1988) utilizando normas TAPPI.

En la Tabla 3 se muestra la composición química del duramen, albura y corteza de la sección basal del tallo en árboles de algarrobo blanco de 22 y 50 años de edad medidos por Rosende *et al.* (1985), utilizando normas ASTM.

Tabla 2. Constituyentes químicos de madera de algarrobo blanco sin extractar medidos por Besold *et al.* (1988).

Constituyentes	(%)
Extractivos ol-Tol/ol	10,7
Extractivos ol-Ben/ol/agua caliente	19,8
Lignina Runkel	24,3
Lignina Klason	23,7
Holocelulosa	68,8
Celulosa	44,1
Poliosa A	18,7
Poliosa B	4,0
Cenizas	2,4

Tabla 3. Constituyentes químicos del duramen, albura y corteza en árboles de algarrobo blanco de 22 y 50 años de edad, determinados por Rosende *et al.* (1985).

Constituyentes (%)	22 años			50 años		
	Albura	Duramen	Corteza	Albura	Duramen	Corteza
Cenizas	1,72	2,07	5,20	1,98	2,72	7,98
Extractivos en alcohol/benc.	3,00	8,30	9,20	6,00	4,27	5,09
Extractivos en alcohol	4,12	4,25	7,38	2,50	5,98	5,95
Extractivos en agua	14,13	7,34	13,06	7,58	7,37	11,02
Extractivos en NaOH 1%	8,67	12,87	15,96	14,14	10,64	14,97
Total de extractivos	29,92	32,76	45,61	30,22	28,26	37,03
Lignina*	21,05	21,30	33,22	22,12	20,67	34,82
Holocelulosa*	79,05	79,70	65,75	79,84	78,28	67,02
Alfa-celulosa*	41,90	43,04	26,71	39,92	40,77	24,13
Grupo Metoxidil**	-	15,75	-	-	16,50	-
Taninos***	1,31	4,00	10,24	<1	7,65	8,90
No taninos	16,69	11,45	16,12	-	11,98	16,11

*Porcentaje expresado sobre la base extraíble en madera libre; ** Porcentaje expresado sobre la base de lignina anhidro; *** Estimado sobre el método Stiasny, no taninos obtenidos por diferencia sobre lo extraíble.

Según los datos informados por Besold *et al.* (1988) y Rosende *et al.* (1985) la madera de esta especie presenta una composición química variable. Esto se debe a que los autores utilizaron diferentes técnicas para su determinación, trabajaron las muestras de forma distinta (albura y duramen juntos y por separado), y utilizaron muestras de distintas regiones.

Sin embargo, de manera general, de acuerdo a estos valores la madera de algarrobo posee un alto porcentaje de extractivos comparado con especies de madera utilizadas en la fabricación de tableros comerciales, como pinus sp., eucaliptus sp. y salicáceas.

Por otra parte, en cuanto al contenido de lignina presentes en albura y duramen se obtuvieron valores entre los 20,67 % y 24,3 %, un porcentaje que se encuentra dentro del rango esperado para madera de latifoliadas (18 % - 25 %) de acuerdo con Rowell *et al.* (2012).

2.1.4 Usos

Las características tecnológicas de su madera permiten su uso en muebles, tonelería, marcos de aberturas, parqueté, carpintería rural, leña y carbón. En construcción se usa para umbrales y escalones, muros macizos exteriores e interiores, parantes o columnas, puertas y ventanas, pisos, escaleras, estantes y repisas (Tinto, 1978; Di Marco, 2013).

2.2 CÁSCARAS DE MANÍ

2.2.1 Distribución geográfica

El maní (*Arachis hypogaea*) es una planta anual herbácea, de la familia de las Leguminosae (Lavia, 1998), originaria de América del Sur, específicamente del Sudeste de Bolivia y Noroeste de Argentina (Fernández y Giayetto, 2017). La producción mundial de maní con cáscara o caja ronda los 45,5 millones de toneladas según datos del USDA² y es liderada por China (40% de la producción total), seguido por la India (16% del total). Argentina, participa con un 3% de la producción mundial, lo cual es un volumen relativamente bajo, pero debido al escaso consumo interno esto le permite volcar prácticamente la totalidad de lo producido en el mercado internacional (80 % de su

² https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/inase_sisa_if_maní19_20.pdf

producción). Su producción se concentra en las provincias de Córdoba (88%); San Luis (5%) y La Pampa (3%), y en proporciones inferiores al 1% en Buenos Aires, Salta, Santa Fe y Jujuy (Pellegrino, 2019). La producción de maní en caja alcanzó 1.539.100 toneladas en la campaña 2020/2021³, siendo el 30 % del total en masa correspondiente a las cajas o cáscaras del maní.

2.2.2 Propiedades físicas

La cáscara de maní es muy liviana, posee una densidad básica entre 0,067 - 0,077 g cm⁻³ al 5 % de humedad (Akcali *et al.*, 2006). Debido a su geometría cóncava permite el alojamiento de importante cantidad de aire en su interior, resultando de bajo peso específico y haciendo que su volumen aumente (Gatani *et al.*, 2010; Gatani y Argüello, 2007). La textura superficial externa es vitrificada, muy delgada y frágil, que se desprende con facilidad. Por debajo de ella existe un esqueleto fibroso, que constituye el soporte de la primera capa y le aporta rigidez estructural. Esta estructura de fibras a su vez está adherida a una capa interna de aspecto más poroso (Gatani y Argüello, 2007; Bieak y George, 2003).

2.2.3 Composición química

En la Tabla 4 se presentan los valores de volátiles, carbono fijo, poder calorífico superior y componentes químicos de la cáscara de maní determinados por distintos autores.

³ <https://www.bccba.org.ar/informes/calculos-finales-de-produccion-de-mani-en-la-region-bccba-campana-2020-21/>

Tabla 4. Volátiles, carbono fijo, poder calorífico superior y componentes químicos de la cáscara de maní medidos por distintos autores.

Autores	Norma utilizada	Extr. T. ^a (%)	Solubilidad (%)				Hol. ^c (%)	Cel. ^d (%)	Hem. ^e (%)	Lig. ^f (%)	Cen. ^g (%)	Vol. ^h (%)	CF ⁱ (%)	PCS ^j (kcal/kg)
			Ol/ben ^b (2/1)	Agua fría	Agua cte.	NaOH al 1 %								
Hoffponir (1945) citado por Ravera <i>et al.</i> (2008)	No informa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,19	-	-	-
Giller y Silvetri (1970) citado por Ravera <i>et al.</i> (2008)	No informa	-	-	-	-	-	68,83	-	-	-	4,19	-	-	-
Woodroof (1983) citado por Gatani <i>et al.</i> (2010) y Santa Cruz Orellana (2012)	No informa	-	-	-	-	-	35-45	-	27-33	-	2-4	-	-	-
Yeboah <i>et al.</i> (2003) citado por Gatani <i>et al.</i> (2010) y Santa Cruz Orellana (2012)	No informa	14,2	-	-	-	-	-	-	34,8	-	3,4	-	-	-
Fasina (2008)	ASTM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,91	-	50,61	4759,3
Güler <i>et al.</i> (2008)	TAPPI T	-	7,0	17,0	11,75	33,5	68,8	42,5	-	28,0	-	-	-	-

^a Extractivos totales; ^b solubilidad en alcohol/benceno (2/1); ^c holocelulosa; ^d celulosa; ^e hemicelulosa; ^f lignina; ^g ceniza; ^h volátiles; ⁱ carbono fijo; ^j poder calorífico superior; * extractivos solo en alcohol

Tabla 4 (continuación). Volátiles, carbono fijo, poder calorífico superior y componentes químicos de la cáscara de maní medidos por distintos autores.

Autores	Norma utilizada	Extr. T. ^a (%)	Solubilidad (%)				Hol. ^c (%)	Cel. ^d (%)	Hem. ^e (%)	Lig. ^f (%)	Cen. ^g (%)	Vol. ^h (%)	CF ⁱ (%)	PCS ^j (kcal/kg)
			Ol/ben ^b (2/1)	Agua fría	Agua caliente	NaOH al 1 %								
Akgül y Tozluoglu (2008)	TAPPI T	-	7,2	17,2	11,5	32,6	69,1	-	-	28,0	-	-	-	-
Oliveira <i>et al.</i> (2010)	AOAC, método de Van Soest <i>et al.</i> (1991)	-	-	-	-	-	-	44,8	5,6	36,1	3,8	-	-	-
Martin <i>et al.</i> (2007)	TAPPI T	8,5*	-	-	-	-	-	-	-	35,2	7,2	-	-	-
Gurevich Messina <i>et al.</i> (2013)	TAPPI T ASTM cáscaras sin tratar	-	-	-	-	-	71,2	-	-	28,8	5,9	73,6	20,5	-
Gatani <i>et al.</i> (2013a)	No informa	4,53	-	-	-	-	-	54,47	2,1	27,8	-	-	-	-
Jaishankar <i>et al.</i> (2014)	No informa	-	-	-	-	-	-	37,00	18,7	28,0	-	-	-	-
Nisamaneenat e <i>et al.</i> (2015)	No informa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,96	65,65	17,34	4175

^a Extractivos totales; ^b solubilidad en alcohol/benceno (2/1); ^c holocelulosa; ^d celulosa; ^e hemicelulosa; ^f lignina; ^g ceniza; ^h volátiles; ⁱ carbono fijo; ^j poder calorífico superior; * extractivos solo en alcohol

Según datos reportados por estos autores en el análisis químico, la cáscara de maní es un material con un elevado contenido de lignina (27 % – 36,1 %).

También se observa que la cáscara posee valores de contenido de extractivos totales, celulosa y hemicelulosa, variables; esto puede explicarse, en parte, a las diferentes técnicas utilizadas para su determinación.

Sin embargo, puede decirse, en general, que los contenidos de celulosa son comparables entre sí y con los obtenidos para madera (40 – 45 % en coníferas y 38 – 49 % en latifoliadas; Rowell *et al.*, 2012) a excepción de lo encontrado por Giller y Silvetri (1970) citado por Ravera *et al.* (2008), un contenido de celulosa del 68,83 %, que se aleja de los valores obtenidos por el resto de los autores. Asimismo, los valores de solubilidad obtenidos en los diferentes estudios para la cáscara de maní, también muestran valores muy similares de solubilidad en agua fría, caliente y en hidróxido de sodio al 1 %.

En cuanto al análisis energético realizado por los autores, se observan valores variables de carbono fijo (17,34 % - 50,61 %) y cenizas (2 % – 11,19 %), como se mencionó anteriormente puede deberse a las diferentes técnicas utilizadas.

Mientras que, el poder calorífico superior (4175 kcal/kg - 4759,3 kcal/kg) de la cáscara es elevado, lo que puede deberse a su alto contenido de lignina.

2.2.4 Usos

Este material se utiliza como combustible en calderas para uso térmico o eléctrico (generación de energía eléctrica a partir de un 65 – 70 % de cáscaras de maní y un 30 – 35 % de cáscaras de girasol), para producir vapor de proceso y en los casos en que no se aprovecha, los mismos productores la incineran a cielo abierto. En menor medida se la utiliza para la producción de carbón activado (entre 2000 y 3000 toneladas anuales), paneles aglomerados, hormigón premoldeado, alimento de ganado o camada para aves (Kermit *et al.*, 2006; Gatani y Argüello, 2007; Ravera *et al.*, 2008; Keller, 2009; Granero *et al.*, 2013).

2.3. TABLEROS DE PARTÍCULAS

2.3.1. Definición, producción y comercio mundial

Maloney (1977), basándose en las definiciones de la norma ASTM D 1554, define al tablero de partículas como el panel fabricado a partir de materiales lignocelulósicos (normalmente madera), principalmente en forma de partículas, combinados con una resina sintética u otro aglutinante, unidos bajo calor y presión en una prensa caliente. Pudiéndose agregar otros materiales durante su fabricación para mejorar ciertas propiedades.

Según la norma IRAM 9722 (1999) el tablero de partículas es un “tablero fabricado mediante la aplicación de presión y calor sobre partículas de madera (aserrín, virutas y similares) u otros materiales lignocelulósicos en forma de partículas (cáñamo, lino, bagazo o similares) con la adición de un adhesivo”. Esta norma clasifica a los tableros de partículas: según el proceso de fabricación; según el acabado superficial; según su forma; según la forma y tamaño de las partículas (tablero de partículas, tablero de virutas, tablero de virutas orientadas y tablero de otros tipos de partículas); según la estructura del tablero; según el uso. En este estudio se hará referencia a tableros de partículas de acuerdo a la clasificación según la forma y tamaño de las partículas.

Como se observa en la Tabla 5, en el año 2017 la producción mundial de paneles a base de madera alcanzó los 402 millones de m³. Los paneles a base de madera son la categoría de productos forestales que registró un rápido aumento en la producción, debido al crecimiento rápido y constante en la región de Asia y el Pacífico. La producción tuvo un fuerte aumento de 33 por ciento en la región durante 2012 - 2016, mientras que demostró un crecimiento moderado del 13 % en las otras cuatro regiones durante el mismo período.

Contrariamente a los años anteriores, la producción de tableros de partículas aumentó del 8%, a 93 millones de m³ en 2016. La producción de oriented strand board (OSB) experimentó un crecimiento promedio del 8 % desde 2012, hasta alcanzar los 30 millones de m³ en 2016. La mayor parte de este crecimiento, en ambos productos, se registró en Europa (FAO, 2017).

La producción a nivel mundial de tableros de partículas y tableros OSB fue la que registró el crecimiento más rápido entre todas las categorías de productos madereros. El crecimiento de la producción de tableros de partículas fue del 0,3 por ciento en 2015 al 8 por ciento en 2016, mientras que la producción de paneles OSB creció un 10 por ciento en 2016 en comparación con un aumento de 7 por ciento en 2015⁴.

Tabla 5. Producción y comercio mundial de tableros a base de madera en 2017.

Producto	Unidad	Producción				Exportación			
		2017	Cambio (%) con respecto a:			2017	Cambio (%) con respecto a:		
			2016	2000	1980		2016	2000	1980
Tableros de madera	millón m ³	402	0%	125%	314%	91	4%	72%	509%
Madera contrachapada	millón m ³	157	-2%	168%	297%	30	2%	71%	355%
Tableros de partículas, OSB y de fibra	millón m ³	245	1%	104%	321%	60	6%	73%	632%

Fuente. Base de datos FAOSTAT-Forestal, 2019. <http://www.fao.org/forestry/statistics/80938/es/>

2.3.2 Tableros de partículas con residuos de madera

Peredo y Torrez (1991) evaluaron la calidad de tableros de partículas elaborados con material de desecho de los procesos de aserrío, debobinado y foliado. Los distintos tipos de desechos fueron astillados y viruteados a modo de obtener partículas de tamaños adecuados para la fabricación de tableros. De acuerdo a los resultados obtenidos se determinó que los distintos tipos de desechos son apropiados para la elaboración de tableros de partículas, cumpliendo todos ellos satisfactoriamente con la norma DIN 68763 (1990) para las propiedades mecánicas. Mientras que, la presencia de corteza tuvo un efecto negativo sobre las propiedades físicas que se manifestó en un aumento de los valores de hinchamiento y absorción de agua en aquellos tableros que contenían corteza sin la adición de hidrófobo.

⁴ <http://www.fao.org/news/story/es/item/1073841/icode/>

Celano (2010) desarrolló tableros termo-acústicos para ser utilizados como elementos constructivos, a base de desperdicios de la industria del procesamiento de la madera (aserrín y virutas) y evaluaron su factibilidad técnica y económica. Concluyeron que es factible el desarrollo de productos alternativos, y que al ser utilizados como componentes en la construcción, se obtendrán rendimientos técnicos aceptables en aislaciones termo-acústicas.

Santillán y Canchucaja (2007) fabricaron tableros de partículas homogéneos con residuos de chapas decorativas de las especies *Micranda spruceana* (Bailon) R. Shultes, “higuerilla”, y *Cedrela montana*, “cedro virgen”. Los resultados mostraron que las densidades de las especies utilizadas influían en la calidad de los tableros. Al aumentar la proporción de residuos de “higuerilla” en el tablero, mayor es la resistencia a la tracción perpendicular al grano, y a mayor proporción de residuos de “cedro virgen”, mayor es el módulo de rotura a la flexión estática.

Zau *et al.* (2014) evaluaron el desempeño físico y mecánico de tableros de partículas producidos con residuos del procesamiento de madera de *Dipteryx odorata* (cumarú). Para el análisis físico y mecánico, se produjeron veinticuatro tableros, utilizando diferentes cantidades de residuos (1000, 1300, 1500 g) y contenido de resina (10 %, 12,5 % y 15 %). Los tableros con 1500 g (10 % y 15 % de resina) fueron los que presentaron los mejores resultados mecánicos, superiores al mínimo especificado por la norma NBR 14810-3 (2006), confirmando su potencialidad en la producción de tableros de partículas.

En un estudio realizado por Fiorelli *et al.* (2014), se examinó la potencial fabricación de tableros a partir de residuos de la industria maderera de *Pinus sp.*, usando como adhesivos urea formaldehído y resina poliuretana bicomponente a base de aceite de ricino. Se determinaron las propiedades físico-mecánicas de los tableros siguiendo las recomendaciones de las normas ABNT (2006) NBR 14810. Los tableros fueron clasificados por la norma ANSI (1993) A208.1, como tableros de baja y media densidad. La resina poliuretana a base de aceite de ricino se destacó como una alternativa viable como adhesivo en la producción de tableros de partículas con residuos de madera.

Por otra parte, Alves *et al.* (2014) evaluaron las propiedades físicas de tableros producidos con residuos procedentes del aserrado de madera de *Couratari sp.*, *Goupia labra*, *Apuleia leiocarpa*, *Erisma uncinatum*, utilizando como adhesivos urea formadehído

(UF) y resina poliuretana (PU). Los resultados confirmaron que los tableros producidos presentaron propiedades físicas compatibles en comparación con otras investigaciones realizadas, lo que demuestra la viabilidad de los insumos empleados. Los tableros producidos con PU mostraron un mejor rendimiento que los producidos con UF.

Félix *et al.* (2016) investigaron la factibilidad de uso de aserrín de madera de *Pinus oocarpa* como materia prima para la fabricación de tableros de partículas, utilizando para ello resina de urea formaldehído como ligante. Se evaluaron las propiedades físico-mecánicas de los tableros elaborados de acuerdo a las normas ASTM D1037 (2006) y DIN 52362 (1982). Los tableros producidos con aserrín de madera de *P. oocarpa* cumplen con todos los requisitos estipulados por la norma de comercialización, lo que demuestra un gran potencial para su uso en la fabricación de tableros de partículas.

2.3.3 Tableros de partículas con residuos de carpintería

Nascimento y Lahr (2007) investigaron la posibilidad de incorporar madera de algarrobo colorado (*Prosopis juliflora*) cepilladas y molinadas, como materia prima para la producción de tableros de partículas de una capa. Para ello, se determinaron módulos de resistencia y de elasticidad a la flexión; densidad; hinchamiento y absorción de agua. Los resultados muestran que los tableros producidos con madera de algarrobo presentan propiedades equivalentes o superiores a los tableros de partículas comerciales producidos con madera de los géneros *Eucalyptus* y *Pinus*.

Posteriormente, Biswas *et al.* (2011) investigaron en la producción de tableros de partículas las aptitudes de los residuos de cepilladora y de chips de dos especies de bambú, determinando que la variación de la geometría de la partícula de las materias primas influye significativamente en las propiedades físicas y mecánicas de los tableros. Concluyendo que este producto podría ser utilizado para la aplicación en interiores y que es necesaria una mayor investigación sobre la mejora de la estabilización dimensional del producto.

Paes *et al.* (2011) confeccionaron tableros de partículas con residuos del procesamiento mecánico de la madera de *Pinus elliottii* Engelm, los cuales fueron procesados en molino, obteniendo valores de tracción perpendicular superiores a las exigidas por norma.

Más tarde, Christoforo *et al.* (2015) elaboraron tableros con residuos de cepilladora de madera de *Cordia goeldiana* alterados en molino y resina poliuretana, obteniendo propiedades mecánicas superiores a las exigidas por la norma Brasileira utilizada como referencia.

Jiménez *et al.* (2017) trabajando con residuos de carpintería de *Prosopis alba* y *Pinus sp.* en la fabricación de tableros de partículas de una capa, detectaron como factor que resta resistencia a los tableros las formas y dimensiones de las partículas, por lo que se recomendó trabajar sobre las características de las partículas usadas a fin de mejorar estos valores.

2.3.4. Tableros de partículas con cáscaras de maní

Con respecto a la utilización de cáscaras de maní, Batalla *et al.* (2005) estudiaron la viabilidad de fabricar tableros de partículas de densidad media a partir de cáscaras de maní molidas y resol como aglutinante, utilizando baja presión de compactación y un alto contenido de fibras. Las propiedades físicas y mecánicas de los tableros fueron similares a las informadas para tableros de partículas de madera cuando se utilizó un 80 % en peso de relleno. Recomendando que para mejorar la rigidez del tablero de partículas se podría reducir la porosidad, pero incluso un bajo contenido de vacío tenía un efecto crítico sobre la resistencia de los materiales compuestos.

En un estudio realizado por Gatani *et al.* (2010) se fabricaron tableros con cáscara de maní y cemento como material para construcción. Los ensayos mostraron que los materiales resultantes eran de baja densidad y elevada absorción de agua, concluyendo que estos tableros podrían ser aplicados en componentes de construcción livianos y de uso no portante. Recomendando en futuras experimentaciones el uso de cáscara de maní de granulometría más pequeña a fin de mejorar los resultados obtenidos.

Güler y Büyüksari (2011) desarrollaron tableros de partículas de tres capas con cáscaras de maní, fabricaron tableros de varias densidades y con diferentes proporciones de adhesivo usando resina de urea formaldehído. Llegaron a la conclusión de que los tableros fabricados podrían utilizarse como materiales aislantes en edificios ya que no estarían sometidos a ningún esfuerzo mecánico, debido a que la mayoría de los tableros producidos no cumplían con los requerimientos de la norma TS-EN (2005) 312.

Granero *et al.* (2013) investigaron la influencia del tamaño y forma de partículas de cáscaras de maní en propiedades de tableros de partículas con resina ureica. Se formularon tableros con cáscaras molidas, tableros con cáscaras enteras y dos combinaciones de las mismas. Los resultados demostraron que tableros compuestos por partículas de cáscaras de maní molidas (finas) tenían propiedades físicas y mecánicas superiores respecto de los tableros que incorporaron partículas de mayor tamaño. De acuerdo a los valores de densidad, las propiedades caracterizadas se encuentran por debajo de las correspondientes para tableros comerciales de madera.

Gatani *et al.* (2013b) estudiaron el uso potencial de las cáscaras de maní en la elaboración de tableros de partículas con resina de urea formaldehído. La calidad de estos tableros fue evaluada de acuerdo a la norma ASTM D 1037:2006, mediante ensayos físico-mecánicos (densidad, hinchamiento en espesor, absorción de agua y flexión estática). Los resultados mostraron que, basándose en el documento normativo ANSI A208.1:1993, los tableros elaborados presentan uso potencial en ambientes internos, revestimiento superficial de residencias, construcciones agrícolas, en el sector mueblero y como elemento decorativo; recomendándose la intervención en el proceso de fabricación del tablero para mejorar sus propiedades mecánicas y así posibilitar su uso como material estructural.

Machado Cravo (2013) estudió la factibilidad de producir tableros de partículas de baja densidad para revestimiento de galpones avícolas con cáscara de maní y fibra de coco verde. Los resultados mostraron que las propiedades físico-mecánicas de los tableros producidos eran compatibles con el uso del material, mientras que los ensayos de durabilidad mostraron que en contacto prolongado con fuentes de humedad son susceptibles a desarrollar hongos, por lo que recomendó utilizar un producto impermeabilizante en la superficie del material.

Gatani *et al.* (2014) realizaron tableros con cáscaras de maní utilizando como aglutinante urea formaldehído y resina poliuretánica. El objeto de estudio fue determinar por un lado la influencia del tamaño, forma y combinaciones de las partículas, y por el otro, la influencia de la resina poliuretánica en las propiedades finales de los tableros fabricados. Concluyeron que las partículas más pequeñas tenían una influencia positiva en las propiedades físico-mecánicas del tablero y que los tableros elaborados con resina poliuretánica fueron satisfactorios para uso en muebles de interior. Además que, los

tableros de cáscaras de maní muestran buenas perspectivas para su integración en el campo del diseño y arquitectura.

Cheng *et al.* (2016) elaboraron tableros de partículas a partir de cáscaras de maní, con el objeto de determinar el efecto de la geometría de las partículas y la cantidad de adhesivo en las propiedades físicas (hinchamiento y absorción en agua) y mecánicas del tablero (flexión estática y adhesión interna). Para la fabricación de los tableros se utilizaron dos tipos de adhesivos urea formaldehído y diisocianato de difenilmetano (MDI). Los resultados mostraron que: el aumento en la cantidad de adhesivo mejoraba la estabilidad dimensional de los tableros; hubo un mejor rendimiento de las propiedades mecánicas en los tableros con MDI; existió una mayor unión entre el adhesivo MDI y las diferentes geometrías de partículas de la cáscara de maní (finas, mezcla, gruesas y polvo); las partículas gruesas y el polvo de cáscaras de maní resultaron inadecuadas para la fabricación de tableros debido al riesgo de una explosión interna en los mismos; los tableros resultaron con baja resistencia al agua, mientras que, la resistencia mecánica cumplió con lo exigido por la norma ANSI A208.1 (2009) para tableros de partículas de madera clase M-1.

2.3.5 Tableros de partículas con mezcla de cáscaras de maní y madera

En un estudio realizado por Medina y Ambrogui (1994), se mencionan algunas propiedades físicas y mecánicas de tableros de partículas, elaborados a partir de una mezcla de cáscara de maní con partículas de madera de pino. El objetivo de este trabajo fue determinar en qué porcentaje se puede agregar cáscara de maní, a un tablero elaborado con materia prima convencional, sin que se afecten sus propiedades. El experimento realizado constó de tableros formados por mezclas diferentes en las que el porcentaje de cáscara adicionada variaba. Los resultados obtenidos indicaron que, de manera general a medida que se aumenta la participación porcentual de la cáscara de maní en las mezclas, se deteriora la calidad de los mismos. En términos de flexión, es posible producir tableros de calidad agregando cáscaras de maní en una cantidad de hasta 30 %. Por lo que recomendaron que para mejorar la calidad (o agregar mayor cantidad de cáscara de maní sin perjudicar las características del panel) se debe cambiar la forma de la cáscara reduciéndose su tamaño o aumentando la cantidad de adhesivo. En este último caso, para no aumentar excesivamente este insumo costoso, se sugiere

encolar por separado aumentándose los niveles de adhesivo solo para las cáscaras de maní.

Años más tarde, Akgül y Tozluoglu (2008) estudiaron la factibilidad del uso de las cáscaras de maní en tableros, el principal objetivo de este trabajo fue investigar el uso de las cáscaras en mezclas con fibras de madera de pino, roble y haya, para elaborar tableros de fibra de uso convencional. Se estudió exclusivamente el efecto, de la incorporación de distintas cantidades de cáscaras de maní a la mezcla, sobre las propiedades del tablero. Sobre los tableros fabricados se midieron resistencia a la flexión, tracción, dureza y arranque por tornillo. Los resultados encontrados indican que se puede producir tableros de fibra mecánicamente aceptables con el uso de hasta 30 % en peso de cáscaras de maní. Sin embargo, no se alcanzaron las exigencias de resistencia de encolado.

Los autores Güler *et al.* (2008) realizaron tableros de partículas de tres capas de 0,70 g/cm³ de densidad, con cáscara de maní (*Arachis hypogaea* L.) y partículas de madera de pino negro europeo (*Pinus nigra* Arnold) en varias proporciones (0 %, 25 %, 50 % y 100 %); a partir de los resultados obtenidos determinaron que al aumentar la cantidad de cáscara de maní en la mezcla (superiores al 25 %) disminuían las propiedades físicas y mecánicas de los tableros producidos.

2.3.6 Factores que afectan la calidad del tablero de partículas

Densidad

Uno de los principales requisitos en la elección de la especie a utilizar para la producción de tableros de partículas es la densidad de la madera (Iwakiri, 2005). De manera general se prefieren las maderas más livianas o de baja densidad. Esto obedece a que para tener un tablero tan o más resistente que la madera original se deben comprimir las partículas a una densidad igual o mayor a la densidad de la madera en uso; esto es, el cociente entre la densidad del panel y la densidad de la madera, conocido como coeficiente de compresión, debe ser igual o mayor que 1. Si la densidad de la madera es alta el tablero a obtener resultará muy pesado y denso. Las propiedades mecánicas de los tableros

resultantes tienen una relación directamente proporcional con la relación de compresión, mientras que las físicas exhiben una relación inversa (Azambuja, 2015).

La densidad del tablero y la densidad de la madera afectan la resistencia a la flexión; el aumento en la densidad del tablero causa un aumento en la relación de compresión y, por lo tanto, el mayor contacto entre las partículas, resulta en la mejora de esta propiedad. El aumento de la densidad de la madera obliga a fabricar tableros muy densos para asegurar el mayor contacto de las partículas entre sí, lo que torna inviable un producto comercialmente apto. Los tableros producidos con especies de baja densidad presentan un aumento en la mayoría de las propiedades mecánicas, mientras que la resistencia a la fijación de tornillo, hinchamiento en espesor y absorción de agua son poco afectados (Moslemi, 1974; Iwakiri *et al.*, 2008; Enayati *et al.*, 2013).

De acuerdo a Moslemi (1974) y Maloney (1996), para que ocurra la densificación necesaria para la formación del tablero, la relación de compresión debe estar entre 1,3 y 1,6, por lo tanto, las especies de baja densidad son las más recomendadas. Valores superiores a 1,6 pueden mejorar las propiedades de resistencia, pero, por otro lado, la hinchazón del espesor será superior debido a la mayor compresión sobre el material durante la etapa de prensado del tablero, esto es, resultan mayores las tensiones internas generadas durante el prensado (Moslemi, 1974; Kelly, 1977; Iwakiri *et al.*, 2006). Especies con densidad de entre 0,40 y 0,60 g/cm³ son las más empleadas (Maloney, 1993; Hillig, 2000). Debido a esto, las especies más utilizadas en la producción de tableros de partículas son coníferas y en menor medida frondosas de densidad media (Iwakiri, 2005).

Sin embargo, es posible utilizar especies de mayor densidad en mezcla con otras de menor densidad, posibilitando la producción de tableros con relación de compresión dentro de la franja adecuada. De esta forma se viabiliza el uso de una amplia gama de especies de madera (Moslemi, 1974; Dias, 2005; Cabral, 2007).

Las variaciones en la densidad de la madera también pueden influenciar en las operaciones de procesamiento, como la generación de partículas, consumo de resina y prensado de los tableros (Maloney, 1993).

De acuerdo a Kelly (1977) y lo establecido por Suo y Bower (1994) en Albuquerque e Iwakiri (2005), el gradiente del perfil densidad depende de la geometría de las partículas,

distribución de la humedad del manto, temperatura de los platos de la prensa, reactividad de la resina y la resistencia a la compresión de las partículas.

Geometría de las partículas

La primera exigencia, en lo que se refiere a la forma de las partículas, es que sean planas y cortadas, en lo posible, paralelamente a la dirección de las fibras de la madera (Ginzel y Peraza, 1966).

Las virutas de madera utilizadas en la fabricación de tableros de partículas, se caracterizan por tener una relación entre longitud y espesor, llamada coeficiente de esbeltez, cuyos valores deben oscilar entre 60 y 120, Kollmann (1975) en Poblete (1979), Ginzel y Peraza (1966).

La calidad del tablero depende, entre otros factores, del tipo y forma de la partícula. En lo referente a la resistencia del tablero, esta depende de la propia resistencia de la partícula y de su capacidad para transmitir la misma al tablero. La resistencia de la partícula depende principalmente de su peso específico, y su capacidad de transmisión depende de la calidad del encolado, como así también de las características de las partículas (Ginzel y Peraza, 1966). La forma y tamaño de las partículas influyen además, en la superficie encolable. Partículas de menor espesor presentan mayor superficie encolable, ósea que cuando disminuye el espesor de la viruta se debe aumentar la cantidad de adhesivo para asegurar un encolado adecuado. Otro factor negativo es la superficie rugosa del material, disminuyendo el área de contacto entre las partículas (Ginzel y Peraza, 1966; Poblete, 1979).

A la geometría de la partícula se le atribuyen efectos importantes en los cambios dimensionales de los tableros (Poblete *et al.*, 2000). La variación de la geometría de la partícula influye significativamente en las propiedades físicas y mecánicas finales de los tableros producidos (Biswas *et al.*, 2011). La disminución del tamaño de la partícula afecta el comportamiento mecánico, traduciéndose en un incremento de los valores de tracción perpendicular al plano y una disminución de los de flexión (Brumbaugh, 1960; Ko-lejack, 1960; Klauwitz y Büro, 1962; Rackwitz, 1963; Jensen y Kehr, 1971, citados por Poblete, 1979).

Las dimensiones de las partículas quedan definidas de acuerdo con el tipo de tablero y la calidad deseada. Partículas largas y finas, en general, resultan en tableros con mayor resistencia a la flexión y estabilidad dimensional; mientras que, los tableros elaborados con partículas cortas y gruesas aumentan la resistencia a la tracción perpendicular (Haselein, 2002; Azambuja, 2015). Siguiendo con esto, Peixoto y Brito (2000), encontraron que las partículas de menor granulometría posibilitan la producción de tableros con mejor ligazón interna, mientras que las partículas de mayor granulometría producían tableros más resistentes a la flexión estática.

La superficie del tablero depende de la clase de madera y forma de las partículas, es por ello que, en las capas externas se utilizan partículas delgadas, de madera lisa y compresible para obtener una superficie lisa y bien compacta (Afur, 1996).

pH y sustancias extraíbles

Los extractivos de la madera son aquellos elementos que no forman parte de la estructura de la madera, tales como, taninos y otros polifenoles; colorantes; aceites esenciales; grasas; resinas; ceras; almidón; gomas; nutrientes y compuestos metabólicos intermedios simples (Maloney, 1977; Iwakiri, 2005). Otra variable de importancia es la acidez de la madera, medida como pH y capacidad de buferización; el pH mide el nivel específico de la acidez y la buferización cuantifica la capacidad de resistencia de la madera de cambiar su nivel de pH (Santillán y Canchucaja, 2007).

El pH de la madera puede variar entre 3 y 6; en el procesamiento y aprovechamiento de la madera el pH influye en la fijación de preservantes químicos, en la aplicación de tintas y barnices, y en la cura de resinas. Con respecto a este último punto, la alta acidez de la madera y los extractivos presentes pueden provocar la pre-cura de la resina de urea formaldehído, que cura en medio ácido durante el prensado de los tableros, comprometiendo así el grado de adhesión entre partículas y consecuentemente en la calidad de los tableros producidos (Iwakiri, 2005; Iwakiri *et al.*, 2012; Azambuja, 2015). Esto se debe a que las reacciones químicas que se producen durante el fraguado de los adhesivos siguen su curso óptimo en un determinado rango de pH. Para la resina de urea formaldehído el valor de pH fluctúa entre 3 y 3,5 (Poblete, 2001; Santillán y Canchucaja,

2007). Al trabajar con este adhesivo de fraguado ácido, es conveniente contar con un cierto grado de acidez. De esta manera se mejoran el fraguado y las propiedades físicas y mecánicas de los tableros (Poblete *et al.*, 2000). Para el caso del encolado con fenol formaldehído, un pH bajo en la madera puede retardar la cura de la resina (Iwakiri *et al.*, 2006). En la fabricación de tableros de partículas la mayoría de las especies utilizadas tienen un pH entre 2 y 5 (Poblete, 2001).

La acidez de la madera es una característica a tener cuenta por su influencia en la cura de la resina y además para escoger el catalizador a ser utilizado en la fabricación del tablero (Iwakiri, 2005). Aquellas maderas que presentan un pH poco ácido requieren una cantidad mayor de catalizador para acelerar la cura de la resina (Maloney, 1977; Iwakiri *et al.*, 2012).

Con respecto al contenido de extractivos, Marra (1992) señala que las maderas con altos contenidos de extractivos tienen dificultades en el encolado lo que se traduce en baja resistencia y ligazón entre partículas. En función del tipo y cantidad de extractivos se pueden generar problemas en cuanto al consumo y cura de la resina, higroscopicidad, aparición de “bolsas” en el tablero durante la etapa de prensado y baja resistencia en las propiedades físicas del tablero producido (Maloney, 1977; Iwakiri, 2005).

Todas las especies de madera pueden utilizarse para la fabricación de tableros, con la excepción de aquellas que por su alto contenido de materias grasas, ceras o resinas, tengan poca afinidad con la resina utilizada como adhesivo (Ginzel y Peraza, 1966). Baharoglu *et al.* (2013) encontró que los contenidos de celulosa, hemicelulosa, ácidos y solubilidad de la madera afectaban todas las propiedades de los tableros de partículas.

Tenor de humedad de las partículas

Iwakiri (2005) señala que el contenido de humedad de las partículas utilizadas en la confección de los tableros produce alteraciones en el proceso productivo, cura de la resina; tiempo de prensado y tiempo necesario para la consolidación del colchón de partículas. Esto lo hace un factor crítico y decisivo en el desarrollo del gradiente vertical de masa específica y en el tiempo de prensado, por lo tanto el control de esta propiedad es fundamental.

La humedad que tiene la madera al entrar en la astilladora es importante, cuanto más seca esté más polvo producirá y la superficie de las partículas será más áspera, generando un menor contacto superficial en la unión de las partículas (Ginzel y Peraza, 1966). Pratt (1997) citado por Azambuja (2015), indica que bajos contenidos de humedad resulta en riesgos de incendio en secaderos; descargas electrostáticas en tuberías; aumento de polvo en la industria y tableros con bordes deficientes.

Durante el proceso de encolado es necesario controlar la humedad de las partículas debido a que la aplicación de la resina sobre las mismas debe ser uniforme (Lewis, 1971). Cuando la madera tiene un alto contenido de humedad, en el proceso de prensado se produce un aumento en el ciclo de prensado, debido a que se requiere más tiempo para la cura de la resina; se observa la presencia de “bolsas” de vapor en las capas internas del tablero; partículas más flexibles, requiriendo así un menor tiempo para alcanzar un determinado espesor (Ginzel y Peraza, 1966; Moslemi, 1974; Kollmann *et al.*, 1975; Albuquerque, 2002).

De acuerdo a Ginzel y Peraza (1966) la humedad más adecuada para el uso de resinas fenólicas es del 4 al 8 %.

Adhesivo y encolado

El tipo de adhesivo, la cantidad a utilizar y su distribución, son elementos importantes en la elaboración del tablero de partículas, debido a que son determinantes en las propiedades del producto final e influyen en el costo del proceso de producción (Azambuja, 2015; Kollmann *et al.*, 1984).

En lo referente a la superficie de encolado y la cantidad de resina, influyen la densidad de la madera empleada y el espesor de la partícula. Encontramos aquí dos conceptos básicos: el primero la cantidad específica, que es la cantidad de resina sólida (g) disponible por metro cuadrado de partículas secas; y el segundo, la superficie específica, que es la superficie total (m²) en 100 g de madera seca (Ginzel y Peraza, 1966).

La cantidad de adhesivo necesario a usar en la fabricación de un tablero se calcula en base al peso seco de la madera, expresado en porcentaje. La cantidad de adhesivo está relacionada con el tamaño y forma de las partículas, un aumento en la producción de partículas pequeñas aumenta la superficie encolable de las mismas y eso a su vez genera

una reducción de la cantidad de cola disponible por metro cuadrado, dificultando además la dispersión de la cola, haciendo que la distribución no sea homogénea (Ginzler y Peraza, 1966; Lewis, 1971; Poblete, 2001).

Como la resina se calcula en base al peso seco de las partículas y no en función de su superficie, las especies más densas se benefician con mayor cantidad de adhesivo por metro cuadrado (Santillán y Canchucaja, 2007). No obstante, que estas tengan mayor resina no significa que los tableros sean más resistentes, ya que a igual densidad del tablero, una especie de baja densidad puede producir tableros de resistencia superior a los elaborados con maderas más densas (Maloney, 1977).

La anatomía de la madera en el proceso encolado se relaciona con los efectos del movimiento del adhesivo en el interior de la estructura de la madera (Iwakiri, 2005). De acuerdo a Marra (1992), las propiedades de la madera ejercen una fuerte influencia en la ligazón durante el encolado y, de forma general las maderas frondosas presentan mayor dificultad de encolado que las coníferas. Según este autor, cuanto más profunda es la penetración del adhesivo más resistente es la unión, pudiendo hasta exceder la resistencia de la madera. Los mecanismos que se relacionan con el proceso de adhesión, pueden ser explicados por las teorías mecánica, adhesión química y difusión de polímeros (César, 2011).

En estudios llevados a cabo por Larmore (1959) en Poblete *et al.* (2000), se comprobó que la cantidad de resina utilizada afectaba la estabilidad dimensional en espesor del tablero fabricado. Con un incremento en la cantidad de adhesivo se obtiene un menor cambio dimensional en el espesor. Mientras que, la expansión lineal solo se reduce levemente con un aumento en la cantidad de adhesivo (Gatchell *et al.*, 1966 citado por Poblete *et al.*, 2000). Brito *et al.* (2004) citado por Fiorelli *et al.* (2015) encontraron que el módulo de ruptura a la flexión era afectado, en parte, por la cantidad de adhesivo utilizado. La cantidad de resina a utilizar en la fabricación de los tableros de partículas se limita, por razones económicas, del 6 al 10 % (Ginzler y Peraza, 1966; Lewis, 1971; Moslemi, 1974). Es posible emplear pocas cantidades de adhesivo cuando se tienen partículas eficientes en cuanto a tamaño y forma (Lewis, 1971).

Durante el encolado, la cura de la resina puede ser acelerada por diversos factores, un bajo pH; alta temperatura; catalizadores; relación molar; contenido de formol libre (en el caso de las ureicas).

Formación de la manta

Es el proceso en el cual se realiza la deposición de las partículas encoladas en la placa de aluminio; la cantidad y su altura son predeterminadas en función de la densidad y espesor del panel, y de la densidad de la madera (Iwakiri, 2005; Dias, 2008). En este paso debe tenerse en cuenta factores como densidad y espesor deseados del tablero; distribución uniforme de las partículas; arreglo del material, que puede ser en matriz al azar u orientada (Iwakiri, 2005).

Durante esta etapa es de fundamental importancia tener en cuenta la distribución de las partículas encoladas, dado que un tablero mal formado presentará variaciones en sus propiedades por diferencias de densidad en toda su extensión, y espesor excesivo en las áreas de alta densidad (Maloney, 1977; Dias, 2008). Además, una formación pobre afecta la apariencia del tablero y cuando la estera es irregular puede causar daños a la prensa (Maloney, 1977).

Prensado

La etapa de prensado tiene por función la densificación y consolidación del colchón hasta el espesor final del tablero, y el fraguado del adhesivo (Iwakiri, 2005; Santillán y Canchucaja, 2007). Durante este proceso se producen tres fenómenos, uno mecánico, otro térmico y finalmente uno químico. En el primero ocurre la disminución del aire y aumenta el contacto entre partículas, estas se deforman por flexión y compresión; en el fenómeno térmico se produce la plastificación de la madera y la cura de la cola; durante el fenómeno químico acontece la policondensación del adhesivo y la unión madera-adhesivo (Medina, 2012; Poblete, 2001).

Los factores que se encuentran involucrados en el prensado y que son importantes a tener en cuenta son, el tipo de resina, catalizador, temperatura de prensado, especie de madera y geometría de la partícula, humedad del manto y distribución, tiempo de prensado, presión, y la relación que estos tienen a su vez con el perfil de densidad del

tablero, la presión de vapor, pre-cura y post-cura de la resina (Moslemi, 1974; Maloney, 1977).

En lo referente al tipo de adhesivo a emplear, la urea y la melamina-urea formaldehído endurecen más rápido que el fenol formaldehído. De modo que esta última se utiliza solamente cuando es necesario por su prensado lento. Particularmente, la resina de urea formaldehído es de color claro y más económica que la fenólica. En cuanto al catalizador, las amino resinas son catalizadores de rápido curado.

La temperatura de prensado varía de acuerdo al adhesivo a emplear, para el caso de las resinas fenólicas esta se encuentra entre 182 °C – 204 °C y para las ureicas alrededor de 143 °C (Maloney, 1977). La temperatura influye sobre la plastificación de las partículas y el fraguado del adhesivo. En general, al aumentar la temperatura de los platos de la prensa se necesita menos presión para la compactación del manto por la plastificación de la lignina y reducción de la resistencia de la madera a la compresión. Durante la transferencia de calor desde las capas externas hacia las internas se produce el traslado del vapor de agua de las capas superficiales hacia el centro donde la temperatura es más baja, provocando de esta forma la condensación del vapor y consecuente transferencia de calor haciendo variar de esta manera la humedad del manto. Este fenómeno se produce hasta que la capa central llega a la temperatura de la cura de la resina, 100 °C (Poblete, 2001; Iwakiri, 2005). La temperatura de los platos de la prensa determina el tiempo necesario para lograr el fraguado del adhesivo en el centro del tablero (Poblete *et al.*, 1996).

La especie de madera y la geometría de la partícula son factores que afectan la consolidación del tablero. Aquellas especies más fáciles de comprimir requieren menor presión para la consolidación que las especies de difícil compresión. Sin embargo, las especies más compresibles tienden a “sellar” la superficie del tablero originando “bolsas” al no permitir el escape de vapor. En cuanto a la geometría de la partícula, las partículas largas requieren una mayor presión para ser compactadas que las más pequeñas. Sin embargo, partículas pequeñas de especies densas son difíciles de comprimir en la superficie lisa, similar a las partículas pequeñas conminutas utilizadas en tableros de partículas típicos de madera blanda (Maloney, 1977).

Cuando la madera encolada se comprime para obtener una determinada forma y volumen, se generan tensiones internas que favorecen la resistencia a esa deformación. Al finalizar la compresión estas tratarán permanentemente de recuperar su estado original. La magnitud de esas tensiones depende de la densidad de la madera y de su grado de compactación. Que se mantenga en las dimensiones preestablecidas va a depender de la calidad del encolado y del adhesivo. La humedad es el factor principal que puede perturbar ese equilibrio (Medina y Ambrogi, 1994). Moslemi (1974) recomienda una humedad relativamente inferior para maderas de baja densidad utilizadas para la producción de tableros que las maderas densas.

El tiempo de prensado es un parámetro que debe ser suficiente para lograr la cura de la resina en el centro del manto, y está ligado al espesor del tablero, humedad del manto y temperatura de prensado (Iwakiri, 2005; Dias, 2008). El tiempo de prensado aumenta al aumentar el espesor del tablero y cuanto más húmedo sea el manto. Usualmente, a mayor temperatura de los platos de la prensa menor es el tiempo de prensado y la presión a utilizar (Poblete *et al.*, 1996). De forma general, el tiempo de prensado puede ser definido en torno de 6 a 12 segundos por milímetro de espesor del tablero (Iwakiri, 2005). Es recomendable efectuar la compresión del manto en el menor tiempo posible de manera que la compresión termine antes que se inicie la policondensación en el interior del tablero (Medina, 1999). Al realizarse más rápidamente la compresión mejor será la conducción del calor a través del espesor comprimido ya que esto aumenta la conductividad del material (Ginzel y Peraza, 1966). La temperatura y el tiempo de prensado tienen influencia en las propiedades físicas y mecánicas del tablero final.

3. Materiales y Métodos



3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIAS PRIMAS

Se utilizaron para la confección de los tableros dos tipos de materia prima: madera como viruta residual de carpintería y cáscaras de maní como desecho de la industria manisera (Figura 1). Se emplearon virutas de madera de algarrobo resultantes de la operación de cepillado de la madera en carpintería. Este material se obtuvo en la carpintería del Instituto de Tecnología de la Madera (ITM), Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), Santiago del Estero, Argentina. Las trozas de madera de algarrobo se compraron en el mercado local. Las cáscaras de maní fueron suministradas por la empresa Maglione Hnos & CÍA S. A., ubicada en la localidad de Las Junturas, provincia de Córdoba, Argentina. Para la fabricación de los tableros se usó como aglutinante resina de urea formaldehído.



Figura 1. A) Virutas de madera de algarrobo, B) cáscaras de maní.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Caracterización de cáscaras de maní

La caracterización de las cáscaras de maní fue realizada en el laboratorio de Química de la Madera, perteneciente al Instituto de Tecnología de la Madera (I.T.M.) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), Santiago del Estero, Argentina; y en el laboratorio de Energía de Biomasa de la Universidad Federal de Paraná (UFPR), Curitiba, Brasil.

Colecta y preparación del material

En la manisera Maglione Hnos & CÍA. S. A. se llevó a cabo la mezcla y homogeneización del material, se realizó un muestreo por lote y se tomó una muestra representativa de la cual se separaron tres submuestras. Parte de las muestras seleccionadas se astillaron, secaron a temperatura ambiente, molieron en molino (Wiley) y se tamizaron para obtener partículas entre 0,4 mm y 0,6 mm, finalmente se guardaron en bolsas de polietileno para su conservación y posterior análisis químico. Realizándose por cada tipo de análisis tres repeticiones.

Caracterización física y química

Para la caracterización de la cáscara de maní se realizaron análisis físicos y químicos. Las variables analizadas en cada caso fueron:

-Análisis físico: determinación de contenido de humedad y densidad bulk.

-Análisis químico: determinación de solubilidad en alcohol-benceno (1:2), solubilidad en agua fría y en agua caliente, solubilidad en hidróxido de sodio al 1 %, contenido de lignina, contenido de celulosa, contenido de cenizas, contenido de volátiles, contenido carbono fijo y poder calorífico.

Análisis físico

El contenido de humedad de las cáscaras de maní se estableció por medio del método en estufa, siguiendo la norma TAPPI T 12 os-75 (1978). Se pesaron 2 g de muestra, se colocaron en estufa a 105 ± 3 °C durante 2 horas, se dejaron enfriar en desecador y se pesaron. Este procedimiento se repitió hasta obtener peso constante. El porcentaje de humedad se obtuvo mediante la ecuación (1).

$$H (\%) = \frac{(P_u - P_s)}{P_u} \times 100 \quad (1)$$

H: humedad

P_u: peso muestra húmeda (g)

P_s: peso muestra seca (g)

Se determinó densidad bulk de cáscaras de maní conforme la norma Brasileira NBR 11941 (2003). La masa de la muestra se obtuvo por medio de pesadas en balanza digital (Figura 2 A) y luego el volumen mediante un dispositivo cilíndrico graduado y de diámetro conocido (Figura 2 B). El cálculo de la densidad se efectuó a través de la ecuación (2).

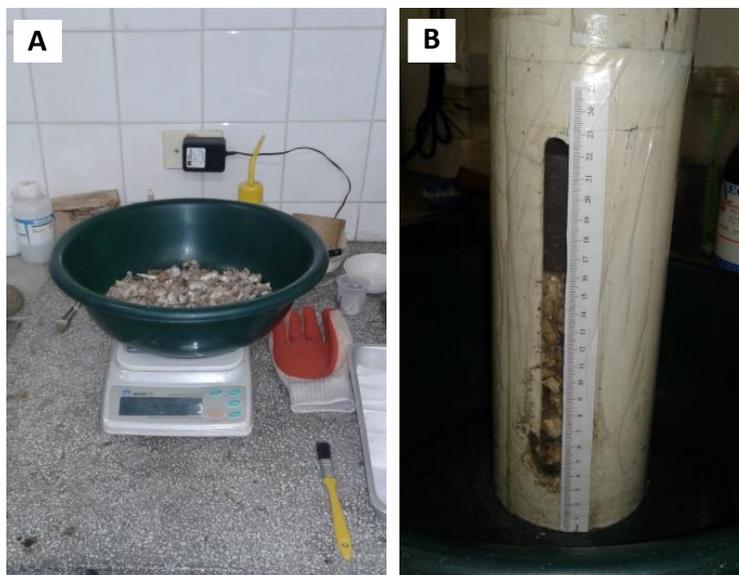


Figura 2. A) Determinación de masa de cáscara de maní mediante balanza digital, B) determinación de volumen mediante dispositivo cilíndrico.

$$\text{Densidad bulk (kg/m}^3\text{)} = \frac{(100-H) \times M}{\left[\frac{A_1+A_2}{2}\right] \times Ar} \quad (2)$$

H: humedad (%)

M: masa (kg)

A: altura (m)

Ar.: área de la circunferencia (m²)

Análisis químico

Los extraíbles fueron determinados como solubles en alcohol-benceno (1:2) según TAPPI T 204 cm 07 (2007); solubles en agua fría y caliente según TAPPI T 207 cm 08 (2008) y solubles en hidróxido de sodio al 1% según TAPPI T 212 om 12 (2012). Para determinar la cantidad total de sustancias extraíbles de cáscaras de maní se aplicó una extracción sucesiva sólido-líquido en equipo Soxhlet. El extracto obtenido se colocó en un desecador con gel de sílice como agente desecante hasta peso constante. El contenido de extraíbles para cada disolvente se calculó mediante la ecuación (3):

$$\% \text{ Solubilidad} = \frac{(A-B) \times 100}{A} \quad (3)$$

A: muestra seca (g)

B: muestra extraída (g)

El contenido de lignina (Lignina Klason) se determinó de acuerdo a la norma TAPPI T 222 om 11 (2011). Para muestras de 1 g de cáscaras de maní libre de extraíbles se calculó el contenido de lignina de acuerdo a la ecuación (4).

$$\% \text{ Lignina} = \frac{A \times 100}{W} \quad (4)$$

A: lignina seca (g)

W: muestra seca libre de extractivos (g)

El contenido de celulosa se obtuvo mediante el método Seifert. Se trataron muestras de 1 g con una mezcla de acetilacetona, ácido clorhídrico y dioxano por media hora en un matraz a baño maría con refrigerante a reflujo. El material resultante se lavó posteriormente con varios solventes y se secó hasta obtener masa constante. El contenido de celulosa se determinó mediante la ecuación (5).

$$\% \text{ Celulosa} = \frac{C}{M \times S} \quad (5)$$

C: celulosa seca (g)

M: madera seca al aire (g)

S: sequedad de la madera (%)

Se determinaron contenido de cenizas, volátiles, carbono fijo y poder calorífico de acuerdo a normas TAPPI T 211 om 12 (2012), ASTM D1762/84 (2007), ASTM D240 (2007) y DIN 51900 (2000), respectivamente. Para la determinación del contenido de cenizas se colocaron muestras de 3 g en una mufla a 550 ± 25 °C, las cenizas se dejaron enfriar en desecador y se pesaron, el cálculo se realizó conforme a la ecuación (6). El contenido de volátiles se calculó como se muestra en la ecuación (7). El contenido de carbono fijo se estimó en el laboratorio de Energía de Biomasa (UFPR) de acuerdo a la ecuación (8), mientras que en el laboratorio de Química de la Madera (UNSE) se estimó de acuerdo a la ecuación (9).

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{A \times 100}{B} \quad (6)$$

A: ceniza (g)

B: muestra seca (g)

$$\% \text{ Volátiles} = \frac{(A-Q)}{A} \times 100 \quad (7)$$

A: muestra seca (g)

Q: coque (g)

$$\% \text{ Carbono fijo} = \frac{(Q-C)}{A} \times 100 \quad (8)$$

Q: coque (g)

C: cenizas (g)

A: muestra seca (g)

$$\% \text{ Carbono fijo} = 100 - (\text{Humedad} + \text{Volátiles} + \text{Cenizas}) \quad (9)$$

Para determinar el poder calorífico superior, se pusieron muestras de 0,5 g de cáscaras en bomba calorimétrica, colocada en un calorímetro adiabático (IkaWerke C5003).

Caracterización macroscópica

La caracterización macroscópica de la cáscara de maní se efectuó mediante observación en un microscopio digital DM 39 Motic 2.0.

3.2.2 Delineamiento experimental

Se fabricaron tableros de partículas de una capa con las matrices en diferentes proporciones. De esas combinaciones resultaron diez tratamientos más un testigo (Tabla 6). Por cada tratamiento y testigo se realizaron cuatro repeticiones, el número de repeticiones se estableció en función a lo efectuado por Peredo y Lizama (1993). Lo que dejó un total de cuarenta y cuatro tableros.

Las variables del proceso de fabricación (cantidad de adhesivo, temperatura, presión y tiempo de prensado) fueron iguales para todos los tratamientos y definidos mediante ensayos preliminares en planta piloto.

Tabla 6. Delineamiento experimental empleado en el estudio.

Tratamiento	Proporción de partículas (%)		Chipera	Molino
	Cáscaras de maní	Virutas de algarrobo		
T1	-	100	-	-
T2	25	75	-	-
T3	50	50	-	-
T4	75	25	-	-
T5	100	-	-	-
T6	-	100	-	X
T7	25	75	-	X
T8	50	50	-	X
T9	75	25	-	X
T10	100	-	-	X
Testigo	-	100	X	X

3.2.3 Procedimiento experimental

La metodología de fabricación de los tableros siguió lo propuesto por Maloney (1996). La producción de los tableros se llevó a cabo en el laboratorio de paneles a base de madera del I.T.M.

Los tableros se fabricaron teniendo en cuenta una densidad teórica de 0,75 g/cm³, con dimensiones aproximadas de 55 cm x 53 cm x 1,6 cm de largo, ancho y espesor, respectivamente.

Preparación de cáscaras de maní

Siguiendo lo realizado por Güler *et al.* (2008) y Güler y Buyuksary (2011), en un primer momento se eliminaron insectos, parte del polvo, tallos, hojas, granos y otro material ajeno a las cáscaras de maní de manera de facilitar su manipulación y su posterior tratamiento en la fabricación de los tableros.

Obtención de partículas de madera

Para la obtención de las partículas de madera de los tratamientos de T1 a T4 (tableros con virutas resultantes del cepillado de la madera) y de T6 a T9 (tableros con partículas de madera resultantes del paso de las virutas por molino), se aserraron y reaserraron trozas de madera de algarrobo hasta obtener tablas, las cuales luego fueron cepilladas en la carpintería del I.T.M., de manera de obtener un espesor de viruta semejante al espesor adquirido por carpinteros durante el cepillado de la madera.

Chipeado y molinado

Para obtener la materia prima de los tratamientos de T6 a 10 (tableros con partículas de madera y cáscaras de maní resultantes del paso de las mismas por molino), las partículas de madera y cáscaras de maní se molieron en un molino CONDUX de golpe cruz, modelo CSK 350/N1 (Figura 3), con malla de 48,47 mm y 6,49 mm de largo y espesor, respectivamente. Mientras que la madera utilizada para la confección del tablero testigo, en primer lugar se astilló en una chipera marca BENZER, modelo Kleinspaner K20, de disco vertical (Figura 3) y luego se molió en el molino anteriormente mencionado.



Figura 3. Astilladora BENSEN y molino de aspas CONDUX.

Secado

Las partículas de algarrobo y las cáscaras de maní se secaron en una estufa marca HEREAUS, modelo TU H 100/150, con circulación de aire forzado (Figura 4), a una temperatura de 60 °C al igual que lo realizado por Machado Cravo (2013) y Christoforo *et al.* (2015), con el propósito de reducir su contenido de humedad hasta uno final del orden del 10 al 15 %, humedad indicada por el fabricante de la resina para su uso en prensa caliente. Durante esta etapa se realizaron mediciones con el fin constatar el tenor de humedad alcanzado por las partículas, sobre muestras extraídas al azar, a través del método de secado en estufa a 103 °C ± 2 °C hasta peso constante, descrito en la norma IRAM 9532 (1963).



Figura 4. Estufa utilizada para el secado de las partículas.

Clasificación de partículas

Una vez secas, las partículas de algarrobo y cáscaras de maní se clasificaron en una zaranda oscilatoria marca ALLGAIER, modelo AST 600 (Figura 5). Para la clasificación de las partículas se utilizaron cuatro tamices con luces de malla de: 10 mm, 3 x 9 mm, 2 mm y 0.3 mm, con el fin de estudiar su granulometría. Las luces de malla fueron seleccionadas de acuerdo al tamaño de las diferentes partículas obtenidas.

Se seleccionaron como aceptables aquellas fracciones que pasaron la malla 10 y fueron retenidas por la malla 0,3, de manera de eliminar las partículas muy grandes y el polvo.

Sobre las virutas de algarrobo (cepilladas, molinadas y chipeadas) seleccionadas como aceptables, se extrajeron muestras de 200 unidades para estudiar sus formas, dimensiones y determinar el coeficiente de esbeltez. El coeficiente de esbeltez es el cociente entre el largo y el espesor de la partícula (ecuación 10).

$$CE = \frac{L}{e} \quad (10)$$

CE: coeficiente de esbeltez

L: longitud de la partícula (mm)

e: espesor de la partícula (mm)

El coeficiente de esbeltez de la cáscara de maní no se midió debido a su forma irregular.



Figura 5. Zaranda para clasificación de partículas.

Preparación de los tratamientos

Posteriormente se pesaron las cantidades necesarias de las materias primas utilizadas en los distintos tratamientos para la formación de un panel, empleando la siguiente ecuación (11):

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (11)$$

Donde:

ρ = densidad del tablero (g/cm^3)

m = masa (g)

v = volumen del tablero (cm^3)

Encolado

Durante esta etapa se empleó como adhesivo resina de urea formaldehído (U1065) marca FORTEX, en una relación del 10 % a peso seco de madera, ya que esta es la resina más empleada en este tipo de industria y para la producción de tableros de uso interior (Zau *et al.*, 2014; Iwakiri, 2005). Se adicionó como catalizador WJ Fortex y acelerador FL Fortex en una relación de 5 % del peso seco de la resina en ambos casos. En las Tablas 7 y 8 se muestran las características de la resina y composición de cola empleada, respectivamente.

Tabla 7. Propiedades de resina urea formaldehído.

Propiedades	Valores
Contenido de sólidos (%)	64 - 65
Peso específico (g/ml)	1,27 – 1,29
Gelificación (segundos)	50
Viscosidad a 25°C (cps)	450
pH	7,5 – 8,0

Tabla 8. Composición de cola empleada.

Componente	Cantidad (g)
Urea formaldehído	350
Catalizador	17,50
Acelerador	17,50
Agua	140

Las partículas de los diferentes tratamientos fueron encoladas durante diez minutos en una encoladora de tambor rotativo (Figura 6), mediante el método de pulverización.



Figura 6. Encoladora de tambor rotativo.

Formación del colchón de partículas

Una vez encoladas las partículas, estas fueron depositadas manualmente en forma de lluvia sobre una chapa de aluminio y dentro de un molde de madera (Figura 7).



Figura 7. Molde para formación del colchón de partículas.

Pre-prensado

El pre-prensado se efectuó a temperatura ambiente, a una presión específica de 6,1 Kg/cm² y por 30 segundos siguiendo lo efectuado por Granero *et al.* (2013). Esta operación se ejecutó con la finalidad de compactar el colchón de partículas.

Prensado

Posteriormente, el colchón de partículas compactado se prensó en una prensa hidráulica de platos calientes marca BÜRKLE, modelo L 160 (Figura 8), a 120 °C de temperatura y a una presión máxima de 30,7 kg/cm² y por un tiempo total de 16 minutos; como lo realizado por Medina y Ambrogi (1994) y Jiménez *et al.* (2017).



Figura 8. Prensa hidráulica de platos calientes.

Estabilización de los tableros

Los tableros elaborados se depositaron en una cámara de climatización hasta alcanzar su humedad de equilibrio con el ambiente.

3.2.4 Análisis de características estéticas superficiales

Este análisis se hizo con el objeto de determinar de forma cualitativa, el aspecto estético de los tableros fabricados, mediante el uso de la carta de colores de Munsell (1968).

3.2.5 Escuadrado, corte y estabilización de probetas

Una vez estabilizados, los tableros elaborados se escuadraron y cortaron para la obtención de probetas para ensayos físicos y mecánicos (Figura 9).



Figura 9. Corte de probetas en tablero para ensayos físicos y mecánicos.

Gráfico. Mgter. Feliza Benítez

Posteriormente, las probetas se depositaron en cámara con ambiente climatizado a una temperatura de 20 °C y a una humedad relativa del 65 % para continuar con su estabilización higrométrica (Figura 10).



Figura 10. Estabilización de las probetas para ensayos físicos y mecánicos.

3.2.6 Ensayos físicos y mecánicos

Los ensayos físicos y mecánicos se realizaron de acuerdo a los procedimientos estipulados en las normas IRAM (Tabla 9).

Tabla 9. Ensayos físicos y mecánicos con sus respectivas normas y número de probetas utilizadas por cada tablero en la determinación.

	Propiedades	Norma IRAM	N° Probetas
Físicas	Densidad	9705	8
	Humedad	9704	8
	Hinchamiento a 2 horas	9720	10
	Absorción de agua a 2 y 24 horas	9720	10
Mecánicas	Resistencia a la flexión estática	9706	8

En el ensayo de flexión estática se obtienen los valores de Módulo de Resistencia a la Rotura (MOR) y Módulo de Elasticidad (MOE). El primero de ellos proporciona la resistencia y el segundo la rigidez del tablero. La rigidez es un indicador de la resistencia del material a la deformación bajo tensión, cuando mayor es este, menor es la deformación bajo una determinada tensión (Medina, 1999).

Se determinó el coeficiente de compresión, que es la relación entre la densidad del tablero y la densidad de la materia prima, para los tableros fabricados con virutas de algarrobo y cáscaras de maní, siguiendo lo realizado por Poblete y Sánchez (1991) en tableros elaborados con dos tipos de materia prima, donde señala que por tratarse de una mezcla de materiales es necesario determinar la densidad de cada uno de ellos. Las densidades de las partículas de algarrobo y cáscaras de maní tratadas en molino se determinaron de acuerdo a la metodología utilizada para la cáscara de maní entera.

El coeficiente de compresión debe ser igual o superior a 1,0 para que exista un mínimo contacto entre partícula y partícula al momento del fraguado de la cola asegurando con ello un buen encolado, preferentemente este valor debe estar alrededor de 1,3 y 1,6 (Medina, 2012; Maloney, 1993). Este parámetro es importante para analizar el

comportamiento en uso de los tableros y debe tenerse en cuenta para interpretar los resultados de las propiedades físicas y mecánicas del tablero (Kajita, 1987).

Para evaluar los ensayos se efectuó un análisis estadístico (ítem 3.2.7), y a modo de referencia se compararon los valores obtenidos para los ensayos de hinchamiento en espesor a dos horas y flexión estática con las especificaciones de las normas IRAM para tableros con aplicaciones de interior (incluyendo mobiliario) para utilización en ambiente seco (Tabla 10). Es importante tener en cuenta que estos tableros son especiales, están fabricados con materiales residuales y por lo tanto no reúnen las condiciones de un tablero comercial.

Tabla 10. Propiedades físicas y mecánicas evaluadas con sus respectivas normas y valores exigidos por las mismas.

Propiedades			Norma IRAM	Valor exigido
Físicas	Hinchamiento	2 horas	9723-3	8 %
Mecánicas	Resistencia a la flexión estática	MOR	9723	11 N/mm ²
		MOE	9723	1600 N/mm ²

Nota. Los tableros de partículas conformes con los valores exigidos por la norma IRAM 9723:2021 se corresponden aproximadamente con los designados como tableros P2 en la norma UNE EN 312.

3.2.7 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó un diseño completamente aleatorizado con diez tratamientos y cuatro repeticiones. Se ajustó un modelo lineal mixto para comparar los valores medios de las propiedades físicas y mecánicas (Tabla 9) como variables respuestas. Se utilizó el Test de Tukey para determinar las diferencias significativas entre las comparaciones. El modelo ajustado utilizó la siguiente ecuación (12):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + Z + \varepsilon \quad (12)$$

Donde, Y fue la variable respuesta (humedad, densidad, hinchamiento, absorción, MOR, MOE); β_0 y β_1 fueron los coeficientes lineales; X fueron los tratamientos, Z fueron los

efectos aleatorios (tablero) y ε corresponde al error del modelo. De esta manera, el efecto fijo corresponde a cada tratamiento y el efecto aleatorio a cada unidad de observación (tablero). Las medidas de resumen y la corroboración de los supuestos del modelo lineal se reportan en el Anexo. Ante la presencia de valores atípicos (*outlier*) en los modelos, estos fueron eliminados, para lograr un mejor ajuste de los supuestos de los modelos. Los datos fueron analizados con el software Infostat versión 2017.

4. Resultados y Discusión



4.1 CARACTERIZACIÓN DE CÁSCARAS DE MANÍ

4.1.1 Análisis físico

Se determinó que la cáscara de maní entera utilizada en la fabricación de los tableros posee una densidad bulk de 49,26 kg/m³ (0,049 g/cm³) al 11,67 % de humedad (Tabla 11), valor cercano a lo informado por Nisamaneeate *et al.* (2015), 60 kg/m³ al 11,41 % de humedad.

Teniendo en cuenta la densidad obtenida en este estudio (49,26 kg/m³), la cáscara de maní, por sí sola, no se adecúa para la elaboración de tableros. Sin embargo, puede ser incorporada en combinación con maderas que reúnan las características óptimas en la fabricación de tableros de partículas y de esta manera viabilizar su aprovechamiento en este tipo de productos. De acuerdo a esto, Barbirato *et al.* (2014) encontraron que la incorporación de partículas de madera proporciona un aumento en las propiedades físicas y mecánicas de tableros elaborados con cáscara de maní. Asimismo, Güler *et al.* (2008) indican que la cáscara de maní como residuo de cultivo anual puede ser utilizada en la producción de tableros de partículas para usos generales en mezcla con partículas de madera.

Tabla 11. Media, desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) de densidad bulk y humedad, determinados para las cáscaras de maní.

Laboratorio	Parámetros estadísticos	Densidad bulk (kg/m ³)	Humedad (%)
Energía de biomasa (UFPR)	Media	49,26	11,67
	DE	1,07	0,08
	CV	2,18	0,65
Química de la Madera (UNSE)	Media	-	10,41
	DE	-	1,24
	CV	-	1,89

4.1.2 Análisis químico

Los resultados de la caracterización química de la cáscara de maní procedente de la provincia de Córdoba (Tabla 12), mostraron valores de celulosa (42,62 %), lignina (33,93 – 34,50 %) y cenizas (2,30 – 3,54 %), comparables con los encontrados en la literatura sobre cáscaras de maní de otras regiones del mundo (Tabla 13); a excepción de los valores de celulosa reportados por Giller y Silvetri (1970) (68,8 %), citado por Ravera *et al.* (2008), y los valores de cenizas informados por Hoffponir (1945) citado por Ravera *et al.* (2008) (11,19 %), que se alejan de los respectivos valores encontrados en este estudio. En cuanto a los valores de extractivos totales, estos resultaron algo menores (6,62 %; Tabla 12) comparado con lo reportado por Yeboah *et al.* (2003) (14,2 %; Tabla 13), citado por Gatani *et al.* (2010) y Santa Cruz Orellana (2012), pero cercano a lo informado por Gatani *et al.* (2013a) (4,53 %, Tabla 13). Asimismo, los valores de solubilidad en agua fría, agua caliente y en NaOH al 1 % (1,42 %, 15,2 %, 7,85 %, respectivamente; Tabla 11), fueron muy inferiores a los encontrados por Güler *et al.* (2008) y Akgül y Tozluoglu (2008) (17 – 17,2 %, 11,5 – 11,75 %, 32,6 – 33,5 %, 42,5 %, respectivamente; Tabla 13). Esta variabilidad era de esperarse ya que de acuerdo a Gatani y Argüello (2007), en términos generales la composición química de un agregado vegetal depende de la variedad, la región y el clima donde se cultiva, siendo muy importante además la técnica utilizada para su análisis composicional. También se debe considerar que se utilizaron diversos equipamientos para realizar las diferentes determinaciones.

Conforme a los valores de lignina (componente ligante) obtenidos en este trabajo, se tiene un alto porcentaje de este elemento (33,93 - 34,50 %; Tabla 12), lo cual favorecería la adhesión de las partículas y consecuentemente las propiedades mecánicas de los tableros (Baharoglu *et al.*, 2013). Asimismo, Cheng *et al.* (2016) mencionan que el contenido similar de lignocelulosa de la cáscara de maní lo hace un buen material para reemplazar la madera en la fabricación de tableros de partículas (el contenido de lignina en las maderas duras varía en un rango de 18 – 25 %, mientras que el contenido de lignina en las maderas blandas varía entre 25 % y 35 %, Rowell *et al.*, 2012).

Sin embargo, las cáscaras de maní estudiadas poseen altos valores de volátiles (70,79 - 74,13 %; Tabla 12), Maloney (1977) indica que el material volátil retorna en forma de

vapor durante el prensado en caliente, causando “bolsas” y problemas de delaminación al final del prensado.

En cuanto al contenido de extractivos totales presentes (6,62 %; Tabla 12), estos resultaron bajos. Estos valores son importantes ya que los extractivos presentes en la materia prima de un tablero determinan el pH e influyen en el fraguado de la cola. Como el contenido de extractivos totales resultó bajo, el fraguado de la cola no se vería afectado.

Cheng *et al.* (2016) citando a Copur *et al.* (2007), Barros Filho (2011), Fiorelli *et al.* (2012) y (Dias *et al.* 2016), mencionan que, en general, las materias primas utilizadas para fabricar tableros de partículas deben tener una composición química similar a la de la madera, que suele contener celulosa, hemicelulosa y lignina. Teniendo en cuenta esto, las cáscaras de maní estudiadas en este trabajo poseen valores de celulosa (42,62 %, Tabla 12) y lignina (33,93 – 34, 50 %, Tabla 12) que se encuentran dentro de los rangos establecidos en la literatura consultada para madera (celulosa: 40 - 45 % en coníferas y 38 - 49 % en latifoliadas; lignina: 25 - 35 % en coníferas y 18 - 25 % en latifoliadas, Rowell *et al.* 2012).

Tabla 12. Media, desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) de volátiles, carbono fijo, poder calorífico superior y componentes químicos de la cáscara de maní obtenidos en este estudio.

Laboratorio	Parámetros estadísticos	Extr. T. ^a (%)	Extr. ^b ol/ben (%)	Solubilidad (%)			Cel. ^c (%)	Lig. ^d (%)	Cen. ^e (%)	Vol. ^f (%)	CF ^g (%)	PCS ^h (kcal /kg)
				Agua fría	Agua cte.	NaOH 1%						
Energía de Biomasa (UFPR)	Media	6,62	-	-	-	-	-	33,93	3,54	74,13	22,33	4533
	DE	0,14	-	-	-	-	-	0,13	0,24	0,29	0,20	1,00
	CV	2,17	.	-	-	-	-	0,39	6,74	0,39	0,88	0,02
Química de la Madera (UNSE)	Media	-	1,11	1,42	1,52	7,85	42,62	34,50	2,30	70,79	16,5	-
	DE	-	0,03	0,11	0,07	0,23	1,13	1,51	0,48	0,70	-	-
	CV	-	2,55	1,10	0,36	0,57	2,45	4,39	2,91	0,99	-	-

^a Extractivos totales; ^b extractivos alcohol/benceno; ^c celulosa; ^d lignina; ^e cenizas; ^f volátiles; ^g carbono fijo; ^h poder calorífico superior.

Tabla 13. Volátiles, carbono fijo, poder calorífico superior y componentes químicos de la cáscara de maní obtenidos en este estudio, comparados con los encontrados en la bibliografía.

Autores	Norma utilizada	Extr. ^a T. (%)	Extr. ^b ol/ben (%)	Solubilidad (%)			Cel. ^c (%)	Lig. ^d (%)	Cenizas (%)	Volát. ^e (%)	CF ^f (%)	PCS ^g (kcal/kg)
				Agua fría	Agua caliente	NaOH al 1 %						
Resultados obtenidos en UFPR	ABNT ASTM DIN	6,62	-	-	-	-	-	33,93	3,54	74,13	22,33	4533
Resultados obtenidos en UNSE	TAPPI T Método Seifert ASTM D 1762-84	-	1,11	1,42	1,52	7,85	42,62	34,50	2,30	70,79	16,5	-
Hoffponir (1945) citado por Ravera <i>et al.</i> (2008)	No informa	-	-	-	-	-	-	-	11,19	-	-	-
Giller y Silvetri (1970) citado por Ravera <i>et al.</i> (2008)	No informa	-	-	-	-	-	68,83	-	4,19	-	-	-
Woodroof (1983) citado por Gatani <i>et al.</i> (2010) y Santa Cruz Orellana (2012)	No informa	-	-	-	-	-	35-45	27-33	2-4	-	-	-

^a Extractivos totales; ^b extractivos en alcohol/benceno; ^c celulosa; ^d lignina; ^e volátiles; ^f carbono fijo; ^g poder calorífico superior; * extractivos solo en alcohol.

Tabla 13 (continuación). Volátiles, carbono fijo, poder calorífico superior y componentes químicos de la cáscara de maní obtenidos en este estudio, comparados con los encontrados en la bibliografía.

Autores	Norma utilizada	Extr. ^a T. (%)	Extr. ^b ol/ben (%)	Solubilidad (%)			Cel. ^c (%)	Lig. ^d (%)	Cenizas (%)	Volát. ^e (%)	CF ^f (%)	PCS ^g (kcal/kg)
				Agua fría	Agua caliente	NaOH al 1 %						
Resultados obtenidos UFPR	ABNT ASTM DIN	6,62	-	-	-	-	-	33,93	3,54	74,13	22,33	4533
Resultados obtenidos UNSE	TAPPI T Método Seifert ASTM D 1762-84	-	1,11	1,42	1,52	7,85	42,62	34,50	2,30	70,79	16,5	-
Yeboah <i>et al.</i> (2003) citado por Gatani <i>et al.</i> (2010) y Santa Cruz Orellana (2012)	No informa	14,2	-	-	-	-	-	34,8	3,4	-	-	-
Fasina (2008)	ASTM	-	-	-	-	-	-	-	2,91	-	50,61	4759,3
Güler <i>et al.</i> (2008)	TAPPI T	-	-	17,00	11,75	33,5	42,5	28,00	-	-	-	-
Akgül y Tozluoglu (2008)	TAPPI T	-	-	17,2	11,5	32,6	-	28,00	-	-	-	-

^a Extractivos totales; ^b extractivos en alcohol/benceno; ^c celulosa; ^d lignina; ^e volátiles; ^f carbono fijo; ^g poder calorífico superior; * extractivos solo en alcohol.

Tabla 13 (continuación). Volátiles, carbono fijo, poder calorífico superior y componentes químicos de la cáscara de maní obtenidos en este estudio, comparados con los encontrados en la bibliografía.

Autores	Norma utilizada	Extr. ^a T. (%)	Extr. ^b ol/ben (%)	Solubilidad (%)			Cel. ^c (%)	Lig. ^d (%)	Cenizas (%)	Volát. ^e (%)	CF ^f (%)	PCS ^g (kcal/kg)
				Agua fría	Agua caliente	NaOH al 1 %						
Resultados obtenidos UFPR	ABNT ASTM DIN	6,62	-	-	-	-	-	33,93	3,54	74,13	22,33	4533
Resultados obtenidos UNSE	TAPPI T Método Seifert ASTM D 1762-84	-	1,11	1,42	1,52	7,85	42,62	34,50	2,30	70,79	16,5	-
Oliveira <i>et al.</i> (2010)	AOAC, método de Van Soest <i>et al.</i>	-	-	-	-	-	44,8	36,1	3,8	-	-	-
Martin <i>et al.</i> (2007)	TAPPI T	-	8,5*	-	-	-	-	35,2	7,2	-	-	-
Gurevich Messina <i>et al.</i> (2013)	TAPPI T ASTM cáscaras sin tratar	-	-	-	-	-	-	28,8	5,9	73,6	20,5	-
Gatani <i>et al.</i> (2013a)	No informa	4,53	-	-	-	-	54,47	27,8	-	-	-	-
Jaishankar <i>et al.</i> (2014)	No informa	-	-	-	-	-	37,00	28,00	-	-	-	-
Nisamaneena <i>te et al.</i> (2015)	No informa	-	-	-	-	-	-	-	5,96	65,65	17,34	4175

^a Extractivos totales; ^b extractivos en alcohol/benceno; ^c celulosa; ^d lignina; ^e volátiles; ^f carbono fijo; ^g poder calorífico superior; * extractivos solo en alcohol.

4.1.3 Caracterización macroscópica

La cáscara de maní presenta una superficie externa rugosa, delgada y frágil; por debajo de ella se ubica una malla de estructura más fibrosa que actúa como material de soporte de esta primera capa (Figura 11 A). Esta estructura en red se encuentra adherida a una segunda capa, situada en la parte interna de la cáscara, esta capa posee una superficie más lisa y compacta, con un aspecto más poroso y de color claro (Figura 11 B). El tamaño de la cáscara es variable y se encuentra en función de la cantidad de granos que ésta pueda alojar, entre 17 – 50 mm y posee un espesor promedio de 0,755 mm. Debido a su geometría cóncava, la cáscara permite que una gran cantidad de aire se aloje en su interior.

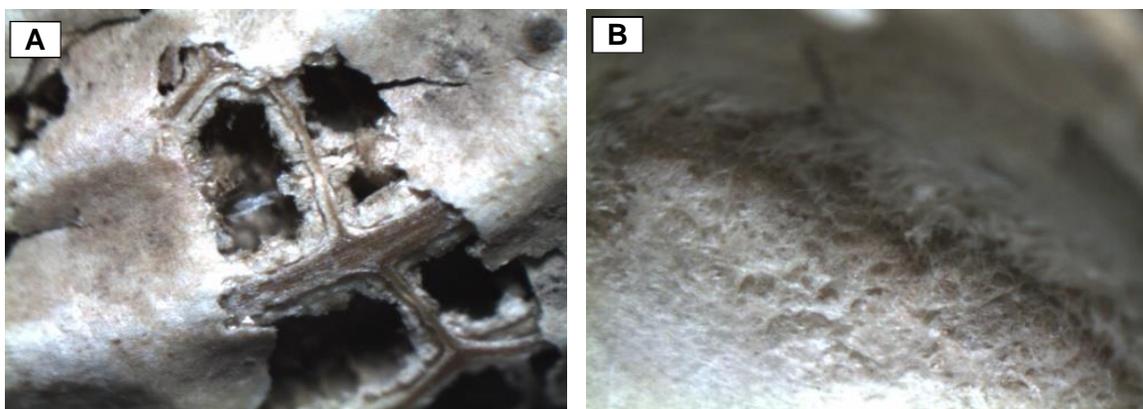


Figura 11. A) Aspecto de la superficie externa y estructura en red (2X) y B) aspecto de la capa interna de la cáscara de maní (2X).

4.2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

4.2.1 Clasificación de partículas

Análisis granulométrico

Sobre las partículas de algarrobo y cáscaras de maní, se realizó el estudio de su granulometría, cuyos resultados se presentan en la Figura 12. Dentro de las partículas de algarrobo se puede destacar la mayor uniformidad de las partículas cepilladas y pasadas por molino (ACM) con respecto a las partículas obtenidas del cepillado de la madera (AC), lo que muestra que el proceso de molinado favorecería la uniformidad de las mismas. Si comparamos dentro de las partículas de cáscaras de maní, ocurre lo mismo, el molinado probablemente mejoró la uniformidad.

El material de algarrobo cepillado presentó un alto contenido de polvo (<0,3), lo que puede atribuirse a que la madera en el cepillado estaba relativamente seca, hecho que concuerda con lo señalado por Medina (2012), cuando más seca está la madera se genera más polvo y su superficie resulta más áspera. En cuanto a la superficie rugosa es de esperarse un menor contacto superficial útil en la unión de las partículas al momento de ser prensadas.

La heterogeneidad de las partículas sin molinar, tanto de algarrobo como las de cáscara de maní, se puede imputar a la mayor quebradura esperada de las virutas anchas y a la contaminación de las cáscaras de maní derivada de su cosecha (tallos, hojas, granos, piel del maní y otros materiales).

La diferencia entre los tamaños de las partículas de los tratamientos puede explicarse al hecho de que las dimensiones de los residuos dependen en qué proceso productivo se originaron, además de que provienen de materias primas con distintas densidades y humedad. Situación que fue expuesta por Gorrini *et al.* (2004) al trabajar con *Eucaliptus nitens* y *Pinus radiata*.

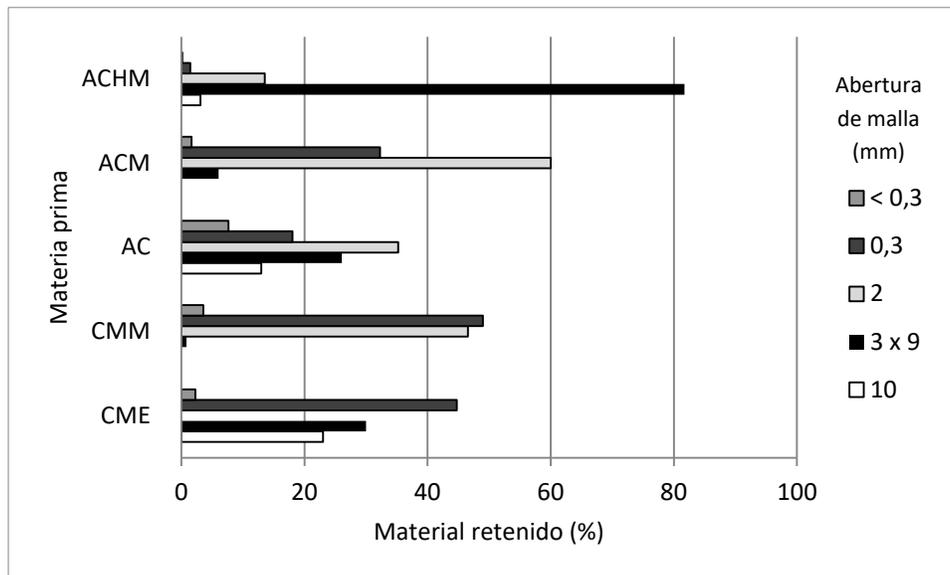


Figura 12. Distribución de tamaño de cáscaras de maní enteras (CME), cáscaras de maní tratadas en molino (CMM), algarrobo cepillado (AC), algarrobo cepillado y tratado en molino (ACM) y algarrobo tratado en chipera y molino (ACHM).

El polvo y las partículas grandes se eliminan puesto que dificultan la operación de encolado. El polvo debe retirarse ya que consume más adhesivo que las partículas normales (Maloney, 1977; Poblete, 1979). En el caso de las partículas grandes, las virutas de madera son muy curvadas o enrolladas y con las cáscaras de maní se encuentran presentes otros materiales (tallos, hojas, etc.).

Cabe resaltar además que, en todos los casos de las materias primas utilizadas, existe un alto porcentaje de partículas aceptadas que se encuentra entre el 74,75 % y el 98,33 %, especialmente de virutas de algarrobo pasadas por molino (Tabla 16 en Anexo). Lo que indica que el porcentaje de residuos que se utiliza en la elaboración de los tableros es elevado, sobre todo si son reducidos en molino, y con un mínimo de rechazos.

Coefficiente de esbeltez

El largo, ancho y espesor de las virutas influyen sobre la resistencia del tablero. En particular el largo y el espesor interactúan, y su efecto combinado se vincula a través del coeficiente de esbeltez (CE). La Tabla 14 muestra los valores de coeficiente de esbeltez

calculados para virutas de algarrobo clasificadas como aceptables durante la operación de clasificación de las partículas.

Tabla 14. Valores medios del largo y espesor de virutas de algarrobo y coeficiente de esbeltez calculado (C.E).

Viruta	Largo (mm)	Espesor (mm)	C.E.
AC [*]	20,86	0,53	39,60
ACM ^{**}	11,00	0,44	24,60
ACHM ^{***}	7,00	0,48	14,63

^{*}: Algarrobo cepillado; ^{**}: Algarrobo cepillado y tratado en molino; ^{***}: Algarrobo tratado en chipera y molino.

Los coeficientes de esbeltez encontrados no poseen los valores recomendados en la literatura consultada como los óptimos para la confección de tableros, ya que de acuerdo con Ginzl y Peraza (1966) un CE de 60 es el mínimo requerido para alcanzar resistencias aceptables. Con respecto a esto, Poblete y Sánchez (1991) obtuvieron un CE promedio para madera de *Pinus radiata* igual a 39,81 (con largo promedio de partículas de 16,85 mm y espesor promedio de 0,42 mm), señalando que si bien no cumplía con los estándares indicados en la literatura era un tamaño de uso normal en la industria. En cuanto al espesor de las virutas de algarrobo, estos son aproximados a 0,5 mm, espesor recomendado para la fabricación de tableros comerciales.

Las virutas de algarrobo blanco generadas en el cepillado de la madera son partículas anchas y con tendencia a curvarse (Figura 13A). Luego al ser tratadas en molino se reduce sustancialmente el ancho y el largo, manteniéndose el espesor (Figura 13B). Aunque el coeficiente de esbeltez disminuyó al pasar por molino las virutas de algarrobo, éstas se volvieron más planas, exigencia importante marcada por Ginzl y Peraza (1966) en cuanto a la forma de las partículas para favorecer su desempeño durante el encolado y conseguir tableros con buenas propiedades físicas y mecánicas finales.



Figura 13. A) Aspecto de las virutas de algarrobo resultantes de la operación de cepillado B) aspecto de las virutas de algarrobo tratadas en molino.

4.3 ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS ESTÉTICAS SUPERFICIALES

En esta etapa se realizó un análisis cualitativo para describir color y textura presentes en las superficies de las caras de los distintos tableros elaborados.

En la Figura 14 se presenta el aspecto superficial de los tableros de cáscaras de maní enteras (A); mezcla de cáscaras y virutas de algarrobo sin modificaciones (B); virutas de algarrobo (C), y virutas de algarrobo tratadas en molino (D). Puede observarse una textura heterogénea propia de las tonalidades de las cáscaras (Figura 14 A), de acuerdo a la carta de colores de Munsell el tablero presenta los siguientes colores: HUE 2.5 Y 5/6, HUE 2.5 Y 7/4, HUE 10 R 4/6, HUE 5 YR 8/2, HUE 5 YR 5/2; siendo el más predominante de ellos HUE 2.5 Y 5/6. Diferenciándose así de la textura de los tableros elaborados a base de madera de algarrobo (Figura 14 C y D), que resultaron de un tono con cierta homogeneidad. Los colores presentes en el tablero elaborado con virutas de algarrobo (Figura 14 C) son HUE 5 YR 5/6 y HUE 2.5 Y 7/6; donde el que más predomina es HUE 5 YR 5/6. Mientras que, en el tablero elaborado con virutas de algarrobo tratadas en molino (Figura 14 D), se encuentran los siguientes colores: HUE 5 YR 4/6, HUE 5YR 4/4, HUE 2.5 Y 8/10, predominando el color HUE 5 YR 4/6. En cuanto a los tableros realizados con mezcla de cáscaras y virutas de algarrobo sin modificaciones (Figura 14 B), se observan los colores HUE 5 YR 6/6, HUE 5 YR 4/4, HUE 2.5 Y 7/6, HUE 2.5 YR 3/6; siendo el color HUE 5 YR 6/6 de la carta de colores de Munsell el que se encuentra en mayor proporción.

De lo expuesto anteriormente puede decirse que, los tableros de cáscaras de maní enteras (Figura 14 A), resultan novedosos y se diferencian notablemente de los tableros realizados a base de madera de algarrobo (Figura 14 C y D) y de los constituidos a partir de mezcla (Figura 14 B), por la variedad de colores presentes y dibujos de la cáscara. En este sentido, los tableros de cáscaras de maní enteras constituirían una alternativa viable, innovadora y sustentable para ser usados en diseño interior y en arquitectura.

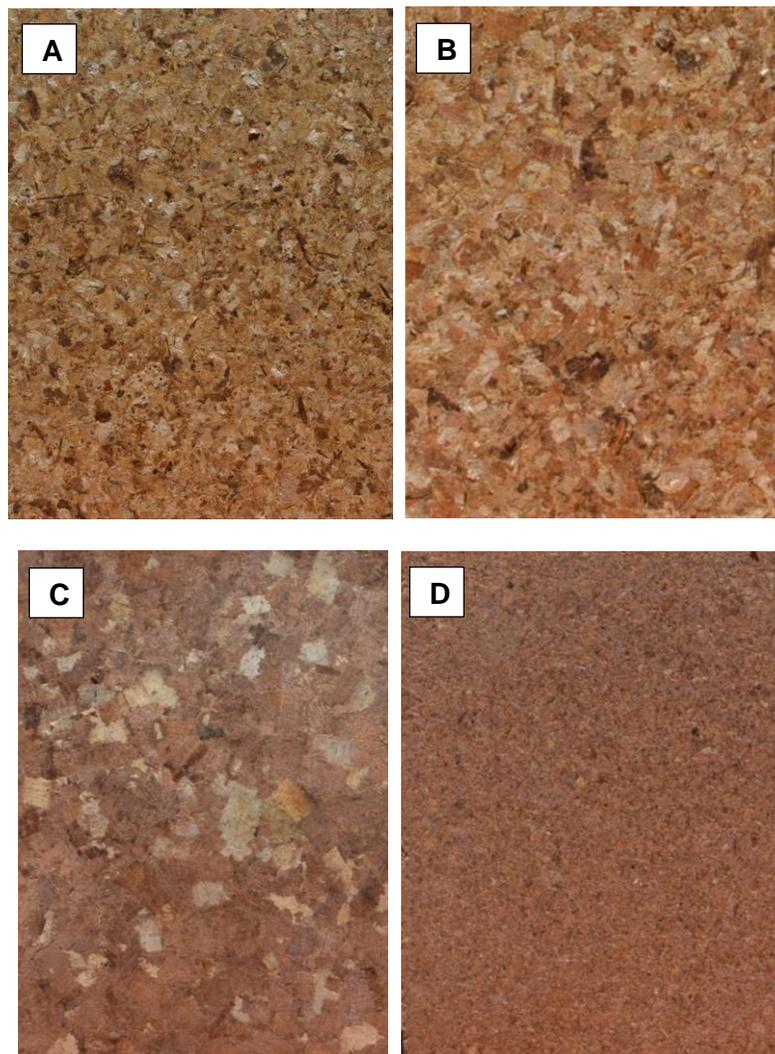


Figura 14. Aspecto superficial de tableros de A) cáscaras de maní enteras; B) mezcla de cáscaras y virutas de algarrobo sin modificaciones; C) virutas de algarrobo, y D) virutas de algarrobo tratadas en molino.

4.4 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS TABLEROS

4.4.1 Densidad y humedad

Densidad

En cuanto a la densidad, entre los tableros de los distintos tratamientos existió diferencia significativa (Figura 15; Tablas 18 y 19 de Anexo).

Para la fabricación de los tableros del tratamiento uno (T1) y testigo se utilizó un espaciador (dispositivo que sirve para fijar el espesor del tablero durante la etapa de prensado) para un espesor de tablero de 16 mm, logrando una densidad cercana a la programada ($0,75 \text{ g/cm}^3$). Mientras que para el resto de los tratamientos se utilizó, por error, un espaciador para un espesor de tablero de 13 mm, provocando una mayor compactación y un aumento de la densidad del tablero respecto de la programada. A causa de un desperfecto con la maquinaria (prensa hidráulica) fue imposible repetir la experiencia.

Debido a esto, se analizaron los tratamientos en dos subconjuntos de datos. Por un lado se analizó el conjunto de datos que involucran al tratamiento uno (T1) y testigo, y por otro lado a los tratamientos del dos al diez (T2 a T10).

Los tableros del tratamiento uno (T1) y testigo poseen una densidad de $0,68 \text{ g/cm}^3$ y $0,74 \text{ g/cm}^3$, respectivamente (Tabla 18 de Anexo). Mientras que el resto de los tratamientos tienen una densidad superior que varió entre $0,81 - 0,93 \text{ g/cm}^3$ (Tabla 19 de Anexo), catalogándose como tableros de alta densidad según la clasificación realizada por Ginzel y Peraza (1966).

La diferencia en la densidad de los tableros de menor espesor (del tratamiento dos al tratamiento diez), podría ser justificada por la variedad y formas de las partículas utilizadas.

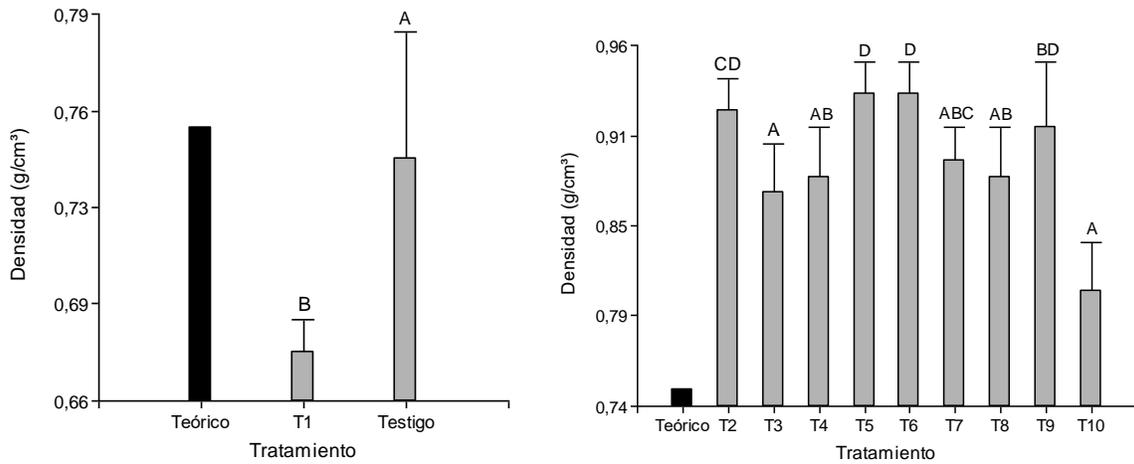


Figura 15. Valores medios, desvío estándar y Test de Tukey para ensayo de densidad de los diferentes tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Referencias Figura 15

T1. 100% virutas de algarrobo / **T2.** 75% virutas de algarrobo y 25% cáscaras de maní / **T3.** 50% virutas de algarrobo y 50% cáscaras de maní / **T4.** 25% virutas de algarrobo y 75% cáscaras de maní / **T5.** 100% cáscaras de maní / **T6.** 100% virutas de algarrobo tratadas en molino / **T7.** 75% virutas de algarrobo tratadas en molino y 25% cáscaras de maní tratadas en molino / **T8.** 50% virutas de algarrobo tratadas en molino y 50% cáscaras de maní tratadas en molino / **T9.** 25% virutas de algarrobo tratadas en molino y 75% cáscaras de maní tratadas en molino / **T10.** 100% cáscaras de maní tratadas en molino / **Testigo.** 100% partículas de algarrobo tratadas en chipera y molino.

Coefficiente de compresión

Teniendo en cuenta la densidad de las materias primas utilizadas en la fabricación de los tableros, se determinó el coeficiente de compresión para cada una de ellas. Como se observa en la Tabla 15 los tableros fabricados con virutas de algarrobo y cáscaras de maní tienen valores de compresión superiores al mínimo recomendado por la bibliografía consultada (1,0). Valores superiores a 1,6 pueden mejorar las propiedades de resistencia, pero, por otro lado, el hinchamiento del espesor será superior debido a la mayor compresión sobre el material durante la etapa de prensado del tablero, esto es, resultan mayores las tensiones internas generadas durante el prensado (Moslemi, 1974; Kelly, 1977; Iwakiri *et al.*, 2006).

Tabla 15. Coeficiente de compresión de los tableros fabricados con virutas de algarrobo y cáscaras de maní.

Partícula	Densidad (Kg/m ³)		Coeficiente de compresión
	Materia prima	Tablero	
Viruta de algarrobo	42,68	680	15,93
Viruta de algarrobo triturada	97,04	930	9,58
Cáscara de maní entera	49,26	930	18,87
Cáscara de maní triturada	204,22	810	3,96

Humedad

Es de destacar que todos los tableros elaborados poseen bajo porcentaje de humedad entre 6,37 % - 8,88 % (Figura 16, Tablas 18 y 19 de Anexo), característica aceptable para su uso en ambiente seco. Poblete *et al.* (2000) señalan que a mayor densidad del tablero corresponde una humedad de equilibrio menor, situación que podría darse por la baja porosidad de los tableros más densos, con lo que se vería restringido el flujo de humedad desde el medio ambiente.

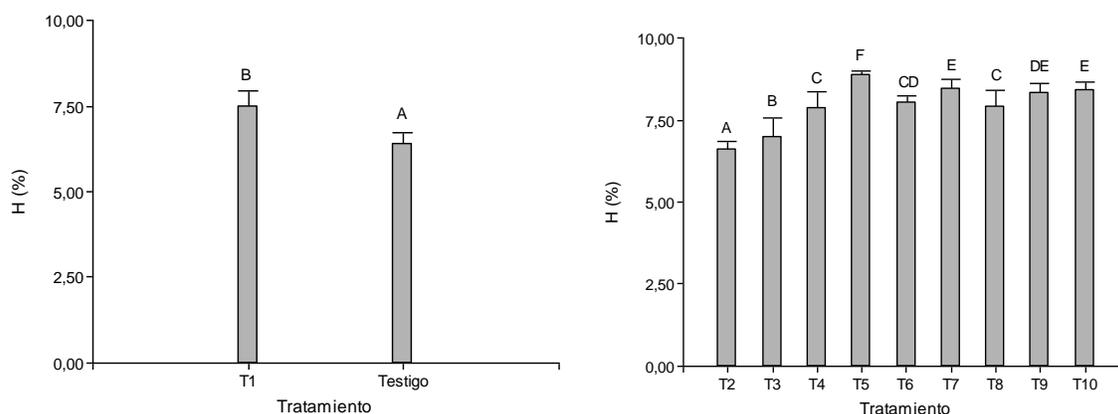


Figura 16. Valores medios, desvío estándar y Test de Tukey para ensayo de humedad (H) de los diferentes tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Referencias Figura 16

T1. 100% virutas de algarrobo / **T2.** 75% virutas de algarrobo y 25% cáscaras de maní / **T3.** 50% virutas de algarrobo y 50% cáscaras de maní / **T4.** 25% virutas de algarrobo y 75% cáscaras de maní / **T5.** 100% cáscaras de maní / **T6.** 100% virutas de algarrobo tratadas en molino / **T7.** 75% virutas de algarrobo tratadas en molino y 25% cáscaras de maní tratadas en molino / **T8.** 50% virutas de algarrobo tratadas en molino y 50% cáscaras de maní tratadas en molino / **T9.** 25% virutas de algarrobo tratadas en molino y 75% cáscaras de maní tratadas en molino / **T10.** 100% cáscaras de maní tratadas en molino / **Testigo.** 100% partículas de algarrobo tratadas en chipera y molino.

Debido a la diferencia en el espesor (y por lo tanto en la densidad) de los tableros, se decide continuar el análisis de los resultados de las propiedades de hinchamiento a 2 horas, absorción en agua a 2 y 24 horas y flexión estática, para los tratamientos del dos al diez, a causa de que hay mayor cantidad de tratamientos con espesores semejantes y comparables, donde se puede aplicar con mayor precisión un análisis estadístico.

4.4.2 Hinchamiento y absorción

Hinchamiento

Con respecto al ensayo de hinchamiento en agua a 2 horas, los resultados obtenidos mostraron que entre los tableros de los distintos tratamientos existió diferencia significativa, Figura 17 y Tabla 20 de Anexo. Allí se puede destacar que los tableros del tratamiento T6 (elaborados al 100 % con virutas de algarrobo tratadas en molino) y del

tratamiento T7 (elaborados con un 75 % de virutas de algarrobo tratadas en molino y 25 % de cáscaras de maní tratadas en molino), cumplen con los valores de hinchamiento a 2 horas recomendados por la norma IRAM 9723-3 (2001) (8 %); mientras que los tableros restantes no cumplen con dicho requisito.

Que los tableros de los tratamientos T6 y T7 resulten con valores de hinchamiento menores, puede explicarse por la variación de la geometría de las partículas de las materias primas utilizadas, Biswas *et al.* (2011) mencionan que esta influye significativamente en las propiedades físicas de los tableros. Esto es, los valores de hinchamiento en agua probablemente mejoraron al modificar las formas y dimensiones de las partículas usadas. Siguiendo con este razonamiento, se observa además que los tableros con materia prima tratada en molino tienen un mejor comportamiento en relación al hinchamiento, que sus respectivos homólogos con materia prima sin tratar en molino (T2 versus T7; T3 versus T8; T4 versus T9), a excepción del tratamiento T5 versus el tratamiento T10 (100 % cáscaras de maní enteras, 100 % cáscaras de maní tratadas en molino, respectivamente). Pudiéndose atribuir este comportamiento a que existió una mayor compactación en el tratamiento T5 (densidad = 0,93 g/cm³, Tabla 19 de Anexo) y probablemente un mejor encolado comparado con el tratamiento T10 (densidad = 0,81 g/cm³, Tabla 19 de Anexo), donde hay mayor superficie específica para la misma cantidad de cola.

Los tableros que resultaron con un hinchamiento superior al resto, son los tratamientos T4 y T10 (25 % virutas de algarrobo y 75 % cáscaras de maní enteras; 100 % cáscaras de maní tratadas en molino, respectivamente). En los tableros fabricados con cáscaras de maní, pudo afectar esta propiedad la forma de las mismas ocasionando un encolado pobre, lo que probablemente facilitó el hinchamiento de los tableros puros y de aquellos con un porcentaje de inclusión superior al 25 % de las mismas en las mezclas. Al aumentar el porcentaje de cáscaras, el encolado se perjudica y por lo tanto el hinchamiento aumenta. Asimismo, como se mencionó anteriormente, en el tratamiento T10 hay mayor superficie específica para la misma cantidad de cola, lo que favorece aún más un encolado incompleto.

En términos generales, Poblete *et al.* (2000) indican que los tableros con una densidad inferior a 800 kg/m³ poseen una buena estabilidad dimensional, tableros con una densidad superior a 800 kg/m³ tienen una estabilidad dimensional menor. También hay

que tener en cuenta que los tratamientos poseen un coeficiente de compresión superior a 1,6, valor a partir del cual el hinchamiento en espesor se ve notablemente afectado. Esto explicaría los elevados valores de hinchamiento encontrados para la mayoría de los tratamientos.

Además, en general, cabe destacar que no se agregó al adhesivo ningún tipo de agente hidrófugo que mejorara esta propiedad, por lo cual es previsible que se pueda optimizar la misma con el agregado de parafina.

Si adicionalmente se analiza el hinchamiento en agua a 2 horas en función de la densidad de los tableros por tratamiento (Figura 28 del Anexo), se observa que el comportamiento de los tratamientos se mantiene con respecto a esta propiedad.

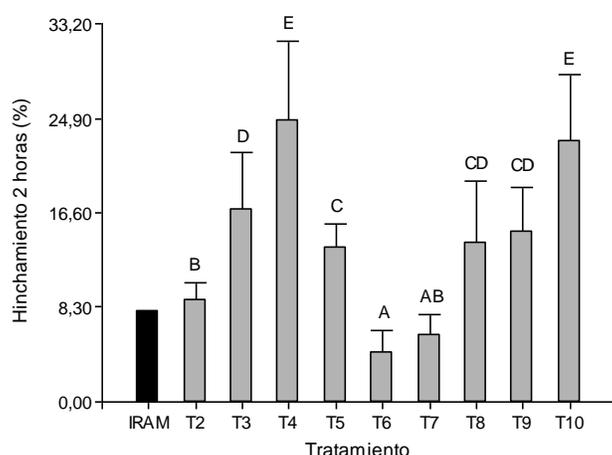


Figura 17. Valores medios, desvío estándar y Test de Tukey para ensayo de hinchamiento por inmersión en agua a 2 horas de los diferentes tratamientos. De acuerdo a las normas IRAM 9723-3 (2001). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Referencias Figura 17

T2. 75% virutas de algarrobo y 25% cáscaras de maní / **T3.** 50% virutas de algarrobo y 50% cáscaras de maní / **T4.** 25% virutas de algarrobo y 75% cáscaras de maní / **T5.** 100% cáscaras de maní / **T6.** 100% virutas de algarrobo tratadas en molino / **T7.** 75% virutas de algarrobo tratadas en molino y 25% cáscaras de maní tratadas en molino / **T8.** 50% virutas de algarrobo tratadas en molino y 50% cáscaras de maní tratadas en molino / **T9.** 25% virutas de algarrobo tratadas en molino y 75% cáscaras de maní tratadas en molino / **T10.** 100% cáscaras de maní tratadas en molino.

Absorción

Con respecto al ensayo de absorción en agua en peso a 2 y 24 horas, es importante señalar que los documentos normativos utilizados como referencia no especifican requisitos para esta propiedad.

Los resultados obtenidos mostraron que entre los tableros de los distintos tratamientos existió diferencia significativa. El análisis general de los resultados indicó que las medias calculadas de los diferentes tratamientos se encuentran en el rango del 15,88 % - 37,61 % a las 2 horas y del 19,94 % - 44,21 % a las 24 horas (Figura 18 y Tabla 20 de Anexo).

Entre los tratamientos, resultaron con valores más bajos para esta propiedad los tratamientos T6 (100 % de virutas de algarrobo tratadas en molino) y T7 (75 % de virutas de algarrobo tratadas en molino y 25 % de cáscaras de maní tratadas en molino). Posiblemente al variar la geometría de las partículas mejoró la calidad del encolado y por ello estos tratamientos presentaron los valores más bajos para la absorción.

Se observa además que, como sucedió para el hinchamiento, los tableros con materia prima tratada en molino tuvieron un mejor comportamiento en relación a la absorción a 2 y 24 horas, que sus respectivos homólogos con materia prima sin tratar en molino (T2 versus T7; T3 versus T8; T4 versus T9), a excepción del tratamiento T5 versus el tratamiento T10 (100 % cáscaras de maní enteras, 100 % cáscaras de maní tratadas en molino, respectivamente). Que como se señaló anteriormente, este comportamiento pudo deberse a que existió una mayor compactación en el tratamiento T5 (densidad = 0,93 g/cm³, Tabla 19 de Anexo) y probablemente un mejor encolado comparado con el tratamiento T10 (densidad = 0,81 g/cm³, Tabla 19 de Anexo), donde hay mayor superficie específica para la misma cantidad de cola.

Por otra parte, se puede advertir, en general, que al aumentar el porcentaje de cáscaras en la composición de los tableros la absorción es mayor, igual que lo acontecido para el hinchamiento en espesor.

El resultado alcanzado para esta propiedad pudo deberse al insuficiente contenido y distribución de la resina por la forma de las cáscaras de maní.

Cheng *et al.* (2016), por su parte, reportan que la estructura porosa y tubular de la superficie de la cáscara de maní genera un sistema capilar que promueve la absorción de

agua y ello provoca una estabilidad dimensional deficiente en los tableros de partículas fabricados con cáscara de maní. Asimismo, estos autores indican que la cáscara de maní al poseer una elevada cantidad de silicio hidrofóbico (27,19 %), este restringe la humectación y el encolado de las cáscaras con el adhesivo, generando una pobre estabilidad dimensional en los tableros cuando son sometidos al agua.

Si además se analiza la absorción a 2 y 24 horas en función de la densidad de los tableros por tratamiento (Figuras 29 y 30 del Anexo), se observa que el comportamiento de los tratamientos se mantiene con respecto a esta propiedad.

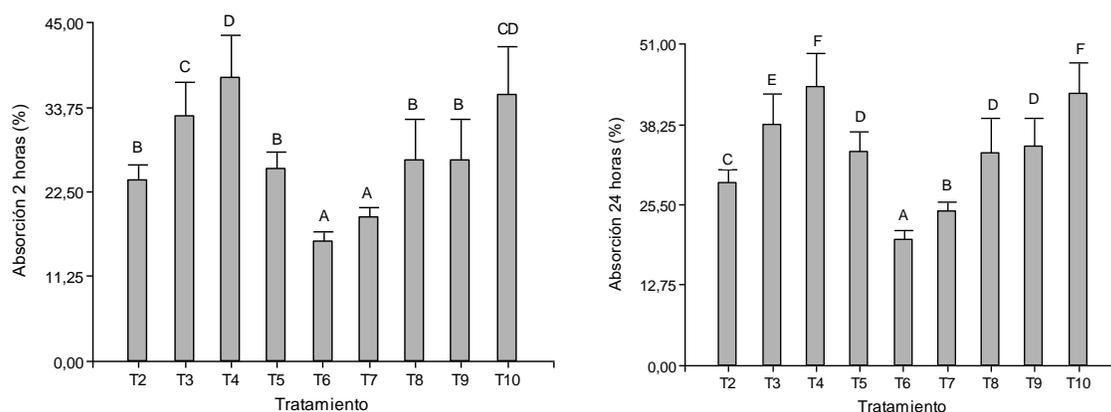


Figura 18. Valores medios, desvío estándar y Test de Tukey para ensayo de absorción en agua a 2 y 24 horas de inmersión de los diferentes tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Referencias Figura 18

T2. 75% virutas de algarrobo y 25% cáscaras de maní / **T3.** 50% virutas de algarrobo y 50% cáscaras de maní / **T4.** 25% virutas de algarrobo y 75% cáscaras de maní / **T5.** 100% cáscaras de maní / **T6.** 100% virutas de algarrobo tratadas en molino / **T7.** 75% virutas de algarrobo tratadas en molino y 25% cáscaras de maní tratadas en molino / **T8.** 50% virutas de algarrobo tratadas en molino y 50% cáscaras de maní tratadas en molino / **T9.** 25% virutas de algarrobo tratadas en molino y 75% cáscaras de maní tratadas en molino / **T10.** 100% cáscaras de maní tratadas en molino.

4.5 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS

4.5.1 Flexión estática

Los resultados obtenidos para el Módulo de Resistencia a la Rotura (MOR) mostraron que ningún tablero alcanzó el mínimo (11 N/mm^2) recomendado por la norma IRAM 9723 (2021) usada como control, mientras que todos superaron ampliamente el valor del Módulo de Elasticidad (MOE) (1600 N/mm^2) exigido por la misma norma (Figura 19 y 20, Tabla 21 de Anexo). Se puede entonces inferir que los tableros resultaron muy rígidos y poco resistentes.

Cabe aclarar que, la norma utilizada como control corresponde a tableros comerciales con uso para fabricación de muebles, esto quiere decir, que si los tableros no alcanzan estas exigencias, no dejan de ser útiles para su uso en otras aplicaciones como por ejemplo revestimientos, cielorrasos, tableros aislantes, donde las exigencias mecánicas son inferiores. Además, recordemos que los tableros elaborados en este estudio están elaborados con material residual y por lo tanto no tienen las formas ni dimensiones de las partículas de madera utilizadas como materia prima en la fabricación de tableros comerciales.

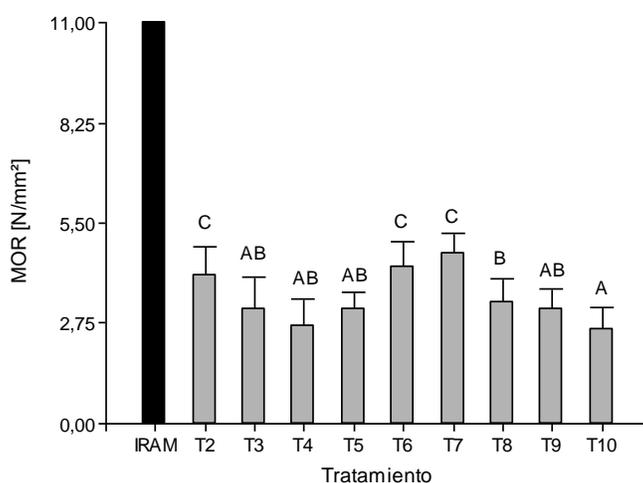


Figura 19. Valores medios, desvío estándar y Test de Tukey para ensayo de flexión estática de los diferentes tratamientos. Módulo de resistencia a la rotura (MOR). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

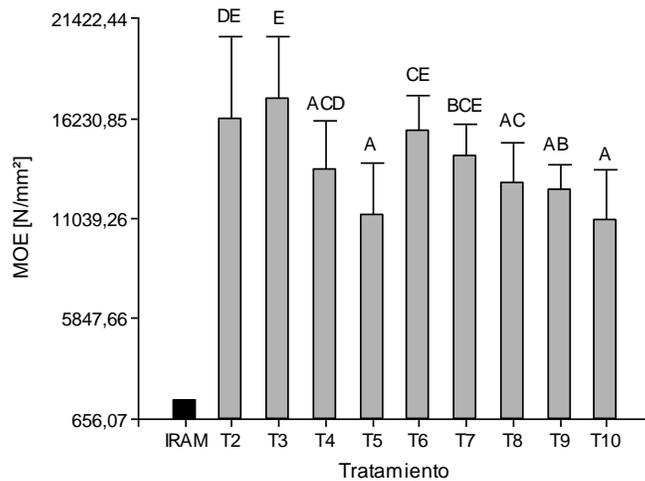


Figura 20. Valores medios, desvío estándar y Test de Tukey para ensayo de flexión estática de los diferentes tratamientos. Módulo de Elasticidad (MOE). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Referencias Figuras 19 y 20

T2. 75% virutas de algarrobo y 25% cáscaras de maní / **T3.** 50% virutas de algarrobo y 50% cáscaras de maní / **T4.** 25% virutas de algarrobo y 75% cáscaras de maní / **T5.** 100% cáscaras de maní / **T6.** 100% virutas de algarrobo tratadas en molino / **T7.** 75% virutas de algarrobo tratadas en molino y 25% cáscaras de maní tratadas en molino / **T8.** 50% virutas de algarrobo tratadas en molino y 50% cáscaras de maní tratadas en molino / **T9.** 25% virutas de algarrobo tratadas en molino y 75% cáscaras de maní tratadas en molino / **T10.** 100% cáscaras de maní tratadas en molino.

Del ANOVA del MOR y MOE (Tabla 21 del Anexo), se puede determinar que:

-Resultaron con valores superiores en términos de MOR los tableros elaborados con 75 % virutas de algarrobo tratadas en molino y 25 % de cáscaras tratadas en molino (T7).

-Resultaron con valores superiores en términos de MOE los tableros elaborados con 50 % virutas de algarrobo y 50 % cáscaras de maní enteras (T3).

-Los distintos porcentajes de materia prima dieron como resultado tratamientos estadísticamente diferentes. Asimismo, indicaron que tratar los materiales con el molino o no, también produce resultados estadísticamente diferentes.

Analizando los valores medios de MOR entre los tableros con materiales tratados y no tratados en molino, resultaron con valores superiores aquellos que llevan la materia prima tratada en molino. Entre los tableros con materia prima tratada en molino el mayor valor

resultó para el tablero con un porcentaje más alto de madera (T7), o dicho de otra forma, cuando disminuyó el porcentaje de cáscaras en la mezcla. Que los tableros con mayor porcentaje de madera resulten con valores superiores era de esperarse debido a que en términos de estructura anatómica la madera es la que más puede aportar resistencia. Teniendo en cuenta que el interés de este trabajo es la combinación de ambos residuos, resulta conveniente que el tablero compuesto por 75 % de virutas de algarrobo y 25 % de cáscaras tratadas en molino (T7) haya resultado superior. En términos de MOR es el que más se acerca a las exigencias de la norma tomada como referencia.

Este resultado coincide con lo expuesto por autores como Medina y Ambrogi (1994), Güler *et al.* (2008) y Barbirato *et al.* (2014), donde señalan que es posible incorporar en la mezcla (de cáscaras de maní y madera), entre un 20 - 30 % de cáscaras para conseguir tableros con valores de flexión estática superiores al resto de las combinaciones que incluye más cáscaras de maní.

Analizando los valores medios del MOE entre los tableros con materiales tratados y no tratados en molino, resultaron con valores superiores aquellos que llevan la materia prima sin tratar en molino y entre ellos, el mayor valor resultó para el tablero con igual porcentaje de ambos residuos (T3).

Como se puede ver, para la mezcla de ambas materias primas, no existió coincidencia en cuál fue el tratamiento más adecuado, dado que para el MOR resultó el tratamiento T7 y para el MOE el tratamiento T3. Esta situación permite o exige que según se necesite un tablero más rígido o más resistente se tendrá que optar por uno o por otro. Esto lejos de ser un defecto resulta una diversificación del producto lo que puede ser beneficioso.

Por otro lado, si se analiza la flexión estática en función de la densidad de los tableros por tratamiento, se observa que el comportamiento de los tratamientos se mantiene con respecto al MOR (Figura 33 del Anexo), mientras que para el MOE el tratamiento T3 resulta con valores superiores seguido por los tratamientos T2 y T6 (Figura 34 del Anexo).

Los valores obtenidos para la flexión estática presentan una variabilidad importante que pueden deberse a diferentes razones. Poblete (1979) alude que la flexión es afectada negativamente por la disminución del coeficiente de esbeltez de las partículas y al incremento de la superficie encolable sin aumentar la cantidad de adhesivo. Los valores bajos de MOR obtenidos eran de esperarse por las características de las partículas

utilizadas en este estudio. Estos valores podrían deberse en parte, a la magnitud de los coeficientes de esbeltez de las partículas de algarrobo empleadas.

Asimismo, la calidad del encolado se ve afectada por el tamaño y la forma de las partículas. Las partículas más pequeñas poseen mayor superficie encolable por unidad de peso y requieren mayor cantidad de adhesivo que las partículas más grandes. Un aumento en la producción de partículas pequeñas aumenta la superficie encolable de las mismas y eso a su vez genera una reducción de la cantidad de cola disponible por metro cuadrado (Ginzel y Peraza, 1966; Lewis, 1971; Poblete, 2001). Por lo que para una misma cantidad de adhesivo, las partículas pequeñas (tratadas en molino) presentarían un encolado insuficiente. Por otro lado, teniendo en cuenta la forma de las partículas, al reducirlas se volvieron más planas, lo que probablemente mejoró la unión entre las mismas, beneficiando la resistencia de los tableros elaborados con materia prima tratada en molino. Mientras que, las partículas más grandes (no tratadas en molino) probablemente resultaron con un encolado más adecuado debido a una mayor disponibilidad de adhesivo, beneficiando el MOE.

Los tableros de partículas elaborados a partir de partículas con formas y tamaños irregulares se espera que resulten con baja resistencia a la flexión (Contreras *et al.*, 1999), y la irregularidad, especialmente de las partículas más pequeñas, puede ocasionar que no se entrecrucen o traben al momento del prensado provocando una menor resistencia.

Los valores de MOR 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 (Chen *et al.*, 1992). Con respecto a esto, es de esperar que los tableros elaborados con partículas residuales, por ser de forma irregular, tengan bajos valores de resistencia por la dificultad del encolado de las mismas, lo que coincide con la bibliografía analizada (Medina y Ambrogi, 1994; Granero *et al.*, 2013; Jiménez *et al.*, 2016).

Otro factor a considerar en cuanto a las partículas residuales utilizadas, es la superficie rugosa, que actúa disminuyendo el área de contacto entre las partículas (Ginzel y Peraza, 1966; Poblete, 1979). Así ambos factores, la superficie rugosa y la forma de las partículas, posiblemente afectaron negativamente la resistencia mecánica de los tableros

elaborados. Las virutas de algarrobo cepilladas, anchas y con tendencia a curvarse, y las cáscaras de maní de geometría cóncava, probablemente dificultaron la distribución de la cola influyendo sobre la resistencia de los tableros.

Cabe recalcar además, que la cáscara de maní es un material de baja resistencia en comparación con las partículas de madera, lo que explicaría en parte el comportamiento mecánico de los tableros compuestos con altos porcentajes de cáscaras.

Como se mencionó anteriormente, Medina y Ambrogi (1994), Güler *et al.* (2008) y Barbirato *et al.* (2014), señalan que es posible incorporar a la mezcla entre un 20 - 30 % de cáscaras de maní para obtener valores superiores de MOR y MOE. Lo cual concuerda con este trabajo ya que entre los valores más altos de MOR resultaron los tratamientos en los que se incorporó hasta un 25 % de cáscaras enteras o tratadas en molino en la mezcla (T2 y T7; Tabla 21 en Anexo).

En cuanto a la humedad de las partículas residuales de cepilladora, Lewis (1971) indica que las virutas verdes de cepilladora dan propiedades más altas en los tableros que aquellos fabricados con virutas secas, lo cual parece razonable ya que estas últimas se resquebrajan más por su bajo contenido de humedad y generan polvo, disminuyendo la calidad del encolado y en consecuencia la resistencia de los tableros. Situación que pudo acontecer en este trabajo.

Medina y Martínez (1992) al fabricar tableros de una capa con madera de algarrobo (*Prosopis nigra* Hieron), tampoco alcanzaron el mínimo valor de MOR recomendado por norma y superaron los valores exigidos para MOE, atribuyendo esto a la diferencia estructural del tablero con los de tres capas, lo cual también podría explicar los resultados obtenidos en este estudio para los tableros elaborados al 100 % con virutas de algarrobo.

4.6 RESUMEN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS EVALUADAS

A modo de resumen, se presentan en la Tabla 16 los valores medios de las propiedades físicas y mecánicas obtenidos para los diferentes tratamientos, comparados con los exigidos por la norma IRAM para tableros con aplicaciones de interior (incluyendo mobiliario) para utilización en ambiente seco.

De acuerdo a estos resultados, se puede afirmar que el tratamiento compuesto por un 75 % de virutas de algarrobo tratadas en molino y un 25 % de cáscaras de maní tratadas en molino (T7), resultó superior en cuanto a sus propiedades físicas y mecánicas. Tiene un porcentaje de humedad aceptable para su uso en ambiente seco, cumple con los requisitos de la norma IRAM para hinchamiento a 2 horas y Módulo de Elasticidad (MOE), es superior al resto de los tratamientos en términos de MOR y posee uno de los valores más bajos para absorción en agua a 2 y 24 horas.

Tabla 16. Valores medios de las propiedades físicas y mecánicas obtenidos para los tratamientos, comparados con los exigidos por la norma IRAM para tableros con aplicaciones de interior (incluyendo mobiliario) para utilización en ambiente seco.

Tratamiento	Densidad (g/cm ³)	Humedad (%)	Hinchamiento a 2 horas (%)	Absorción (%)		Flexión estática (N/mm ²)	
				2 horas	24 horas	MOR	MOE
T2	0,92	6,60	8,94	23,97	28,88	4,07	16224,32
T3	0,87	6,98	16,94	32,58	38,10	3,12	17245,26
T4	0,88	7,86	24,74	37,61	44,21	2,70	13536,94
T5	0,93	8,88	13,53	25,45	33,88	3,13	11184,33
T6	0,93	8,01	4,28	15,88	19,94	4,31	15593,95
T7	0,89	8,43	5,90	19,15	24,35	4,65	14287,25
T8	0,88	7,92	13,98	26,71	33,65	3,33	12910,54
T9	0,91	8,30	14,96	26,64	34,78	3,16	12543,11
T10	0,81	8,40	22,82	35,44	43,01	2,57	10946,33
Norma IRAM	-	-	8	-	-	11	1600

T2. 75% virutas de algarrobo y 25% cáscaras de maní / **T3.** 50% virutas de algarrobo y 50% cáscaras de maní / **T4.** 25% virutas de algarrobo y 75% cáscaras de maní / **T5.** 100% cáscaras de maní / **T6.** 100% virutas de algarrobo tratadas en molino / **T7.** 75% virutas de algarrobo tratadas en molino y 25% cáscaras de maní tratadas en molino / **T8.** 50% virutas de algarrobo tratadas en molino y 50% cáscaras de maní tratadas en molino / **T9.** 25% virutas de algarrobo tratadas en molino y 75% cáscaras de maní tratadas en molino / **T10.** 100% cáscaras de maní tratadas en molino.

Es importante tener presente que estos tableros están compuestos por residuos de biomasa, por lo tanto es un producto especial, diferenciado, con un fuerte atractivo ecológico para reciclar materiales de la industria forestal y agrícola, y como medio para la

fijación de carbono. Asimismo, posee un valor agregado desde el punto de vista arquitectónico y decorativo, pudiendo utilizarse en paredes, revestimiento de muebles y como aislamiento acústico.



5. Conclusiones y Recomendaciones

En base a los análisis efectuados y los resultados obtenidos durante el desarrollo de este trabajo es posible presentar las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- 1) La cáscara de maní posee una composición química similar a la madera en cuanto a sus principales componentes, celulosa y lignina, lo que la hace apta como materia prima para ser utilizada en la fabricación de tableros de partículas. El resto de los componentes estudiados presentan valores que no afectan las propiedades tecnológicas de los tableros.
- 2) La modificación de las virutas residuales del cepillado de algarrobo mediante molino mejora la forma y geometría de las mismas.
- 3) De manera general, la modificación de las partículas residuales de algarrobo y cáscaras de maní resulta en la mejora de las propiedades físicas y mecánicas de los tableros.
- 4) Debido a sus características estéticas, los tableros de cáscaras de maní enteras constituyen una alternativa viable, innovadora y sustentable para ser usados en diseño interior y en arquitectura.
- 5) Los tableros elaborados al 100 % con virutas de algarrobo tratadas en molino (T6) y aquellos que contienen hasta un 25 % de cáscaras de maní tratadas en molino en la mezcla (T7), cumplen con los valores de hinchamiento a 2 horas recomendados por norma IRAM. La hinchazón en espesor de los tableros disminuye al pasar por molino las virutas de algarrobo.
- 6) En términos de flexión, los tableros resultaron rígidos y poco resistentes. Los tableros constituidos por materias primas tratadas en molino obtuvieron mayor resistencia. Los tableros resultantes pueden aplicarse como revestimientos, cielorrasos, tableros aislantes, donde las exigencias mecánicas son inferiores.
- 7) Los tableros que tuvieron un mejor comportamiento en cuanto a sus propiedades físicas y mecánicas resultaron aquellos que contenían hasta un 25 % de cáscaras de maní tratadas en molino en la mezcla (T7).
- 8) De acuerdo a las conclusiones emergentes de este trabajo, la formulación más adecuada en términos técnicos, es aquella que consta de 75 % de virutas de algarrobo tratadas en molino y 25 % de cáscaras de maní tratadas en molino (T7).

En vista de las conclusiones enumeradas se puede afirmar que es técnicamente viable producir tableros de partículas de uso interior a partir de la mezcla de virutas residuales de algarrobo (*Prosopis alba* Griseb.) y cáscaras de maní (*Arachis hypogaea* L.) modificados.

Para mejorar la calidad de este producto se recomienda:

- Modificar la geometría de las partículas ampliando el largo de las virutas de algarrobo.
- Aumentar la humedad de las partículas antes del tratamiento en molino para evitar que las partículas se resquebrajen y produzcan finos.
- Agregar un agente hidrófugo al adhesivo para optimizar la estabilidad dimensional del tablero.
- Aumentar la cantidad de adhesivo. Para no acrecentar excesivamente este insumo, ensayar el encolado de las materias primas por separado, aumentándose únicamente para las cáscaras de maní los niveles de adhesivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. 2003. “NBR 11941 Madeira - Determinação da densidade básica”. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- Afur, R. 1996. “Texto guía: paneles a base de maderas”. Cátedra Fundamentos de tecnología de la madera e industrialización de los productos del monte, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.
- Akali, I. D.; Ince, A.; Guzel, E. 2006. “Selected Physical Properties of Peanuts”. *International Journal of Food Properties* 9(1):25-37
- Akgül, M; Tozluoglu, A. 2008. “Utilizing peanut husk (*Arachis hypogaea* L.) in the manufacture of medium-density fiberboards”. *Bioresource Technology* 99:5590–5594
- Albuquerque, C. E. C.; Iwakiri, S. 2005. “Efeito da adição de água na evolução da temperatura no miolo de aglomerados durante o ciclo de prensagem”. *Floresta* 35(1):57-67
- Alves, L. S.; Silva, S. A. M.; Azambuja, M. S.; Varanda, L. D.; Christóforo, A. L.; Lahr, F. A. R. 2014. “Particleboard produced with sawmill waste of different wood species” *Advanced Materials Research* 884-885:689-693
- ASTM. 2007. “ASTM D1762 – 84 Standard test method for chemical analysis of wood charcoal”. American Society for Testing Materials, Philadelphia.
- ASTM. 2007. “ASTM D240 – 17 Método de prueba estándar para determinación del calor de combustión de hidrocarburos combustibles líquidos mediante calorímetro de bomba”. American Society for Testing Materials, Philadelphia.
- Azambuja, R. R. 2015. “Aproveitamento de resíduos de construção e demolição para produção de painéis aglomerados”. 2015, 107 f. Tese (Mestre em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Baharoglu, M.; Nemli, G.; Sarı, B.; Birtürk, T.; Bardak, S. 2013. “Effects of anatomical and chemical properties of wood on the quality of particleboard”. *Composites: Part B* 52:282–285

- Barbirato, G.; Fiorelli, J.; Barrero, N. G.; Agnolon Pallone, E. M. J.; Lahr, F. A. R.; Cristoforo, A. L.; Savastano Junior, H. 2014. "Painel aglomerado híbrido de casca de amendoim reforçado com partículas de madeira itaúba". *Ciência Florestal* 24(3): 685-697
- Batalla, L.; Nunez, A. J.; Marcovich, N. E. 2005. "Particleboards from Peanut-Shell Flour". *Journal of Applied Polymer Science* 97:916-923
- Besold, G.; Carranza, M. E.; Giannuzzi, G. 1988. "Análisis químico de la biomasa de especies del Noroeste Argentino y su posible aprovechamiento industrial" *In: VI CONGRESO FORESTAL ARGENTINO, 1988, Santiago del Estero. En actas, Santiago del Estero. 1988, p. 604-605. Tomo III.*
- Bieak, N.; George, B. R. 2003. "Utilization of peanut shell fibers in nonwoven erosion control materials". *International nonwovens Journal* 60-65
- Biswas, D.; Bose, S. K.; Hossain, M. M. 2011. "Physical and mechanical properties of urea formaldehyde-bonded particleboard made from bamboo waste". *Journal of Adhesion & Adhesives* 3:84-87
- Cabral, C. P.; Vital, R. B.; Lucia, R. M. D.; Pimenta, A. S. 2007. "Propriedades de chapas de aglomerado confeccionadas com misturas de partículas de *Eucalyptus spp.* e *Pinus elliottii*". *Revista Árvore* 31(5):897-905
- Celano, J. A. 2010. "Paneles termoacústicos a base de residuos de madera". 2010, 166 f. Tesis (Maestría en Ciencias de la Madera, Celulosa y Papel) - Universidad Nacional de Misiones, Misiones.
- César, A. A. S. 2011. "Estudo da interação adesivo-partícula em painéis OSB (Oriented Strand Board)". 2011, 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Chen, Y.; Popowitz, B. A.; Gertjensen, R. O., Ritter, D. C. 1992. "Paper birch as a core material for aspen oriented strandboard and waferboard". *Forest Products Journal* 42(1):21:24
- Cheng, X.; He, X.; Xie, J.; Quan, P.; Xu, K.; Li, X.; Cai, Z. 2016. "Effect of the particle geometry and adhesive mass percentage on the physical and mechanical properties of particleboard made from peanut hull". *BioResources* 11(3):7271-7281

- Christoforo, A.; Da Silva, S. A. M.; Barbosa, J. C.; Ribeiro filho, S. L. M.; Panzera, T. H.; Lahr, F. A. R. 2015. "Produção de chapas de partículas com resíduos de madeira *Cordia goeldiana*". Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering 35(2):368-377
- Coronel, M.; Cardona, G.; Ewens, M.; Ibarra de Gómez, E. 2013. "Productividad y requerimientos de mano de obra en la producción comercial de plantines de algarrobo blanco (*Prosopis alba*). El caso del vivero forestal de la Estación Experimental Fernández, Santiago del Estero". Quebracho 21(1,2):26-38
- Contreras, W. M.; M. E. Owe; J. D. A. Garay y Y. M. Contreras. 1999. "Elaboración de tableros aglomerados de partículas de caña brava (*Gynerium sagittatum*) y adhesivo de urea-formaldehído". Revista Bosque 43 (2): 129-135
- Contreras, W. et al. 2008. "Determinación de las propiedades de resistencia de los tableros aglomerados de partículas, fabricados con vástago de plátano y adhesivo fenol formaldehído (R10/R13%)". Tecnología y Construcción 24(3):15-25
- Dias, F. M. 2005. "Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada". 2005, 151 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Dias, F. M. 2008. "Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada". In Rocco Lhar, F. A. (Org.), Produtos derivados da madeira: síntese dos trabalhos desenvolvidos no Laboratorio de Madeiras e de Estruturas de Madeira, SET-EESC-USP, no âmbito do Programa Interunidades Ciência e Engenharia de Materiais, Campus USP - São Carlos (p. 73 – 92). São Carlos: EESC-USP.
- Di Marco, E. 2013. "Prosopis alba Griseb. (Algarrobo Blanco) (Familia Fabaceae, Mimosoideas). Ficha Técnica". Área Técnica Promoción Dirección de Producción Forestal Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, Argentina. [fecha de consulta: 2 Febrero 2018], p.45-46. Disponible en: <http://forestindustria.magyp.gob.ar/archivos/procedimiento-requerido-en-plantaciones/prosopis-alba-griseb-familia-fabaceae-mimosoide.pdf>

- DIN. 2000. "DIN 51900-1 Determining the gross calorific value of solid and liquid fuels using the bomb calorimeter, and calculation of net calorific value - Part 1: General information". Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- Enayati, A. A.; Farhid, E.; Eslah, F. 2013. "Evaluation of particleboard using multivariate regression equations base don structural factors". *Journal of Agricultural Science and Technology* 15:1405-1413
- Fasina, O.O. 2008. "Physical properties of peanut hull pellets". *Journal Bioresource Technology* 99(5):1259-1266
- Félix, A. L.; Narciso, C. R. P.; Lima, F. S.; Mendes, R. F.; Mendes, L. M.; Scolforo, J. R. S. 2016. "Use of waste wood for particleboard production". *Key Engineering Materials* Submitted 668:375-380
- Fernández, E. M.; Giayetto, O. 2017. "El cultivo de maní en Córdoba". Segunda edición ampliada. Universidad Nacional de Río Cuarto, Las Higueras, Córdoba (Argentina), 468 p.
- Fiorelli, J.; Ramos, R. D.; Sayama, J. T.; Barrero, N. G.; Palone, E. J. A. 2014. "Particleboards with waste wood from reforestation". *Acta Scientiarum Technology Maringá* 36(2):251-256
- Fiorelli, J.; Christoforo, A. L.; Lahr, F. A. R.; Nascimento, M. F.; Curtolo, D. D.; Sartori, D. L.; Belini, U. L. 2015. "Painéis de partículas monocamadas fabricados com resíduo de madeira e fibra de coco verde". *Scientia Forestalis* 43(105):175-182
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2017. "Global Forest Products, Facts and Figures 2016". FAO, 2017 I7034EN/1/12.17. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 20 p.
- Gatani, M.; Argüello, R. 2007. "Nuevos materiales de construcción sustentables con cáscara de maní. Ensayos de comportamiento mecánico con variación de la granulometría del agregado". *In: IV ENCONTRO NACIONAL E II ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS*, 2007, en actas. Campo Grande, MS, p. 926-935.

- Gatani, M.; Argüello, R.; Sesín, S. 2010. "Materiales compuestos de cáscara de maní y cemento. Influencia de diferentes tratamientos químicos sobre las propiedades mecánicas". *Materiales de construcción* 60(298):137-147
- Gatani, M.; Granero, V.; Medina, J. C.; Fiorelli, Juliano. 2013a. "Paneles aglomerados eco eficientes con cáscara de maní". *In: 13^{er} Congreso Internacional en Ciencia y Tecnología de Metalurgia y Materiales – Simposio Internacional sobre Materiales Lignocelulósicos, 2013, en actas.* 9 pp.
- Gatani, M. P.; Fiorelli, J.; Medina, J. C.; Argüello, R.; Ruiz, A.; Nascimento, M. F.; Savastano Jr., H. 2013b. "Viabilidade técnica de produção e propriedades de painéis de partículas de casca de amendoim". *Revista Materia* 18(2):1286-1293
- Gatani, M.; Granero, V.; Medina, J. C.; Fiorelli, J.; Lerda, J.; Sipowicz, E.; Kreiker, J. 2014. "New process for peanut husks panels: Incorporation of castor oil polyurethane adhesive and different particle sizes". *Key Engineering Materials* 600:452-459
- Ginzler, W.; Peraza, C. 1966. "Tecnología de tableros de partículas". Madrid: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. 185 p.
- Gorrini, B.; Poblete, H.; Hernandez, G.; Dunn, F. 2004. "Tableros de partículas y MDF de *Eucalyptus nitens*: Ensayos a escala industrial". *Revista Bosque* 25(3):89-97
- Granero, V.; Gatani, M.; Medina, J. C.; Ruiz, A.; Fiorelli, J.; Kreiker, J.; Lerda, M. J. 2013. "Determinación de la influencia del tamaño y forma de partículas de cáscaras de maní en paneles aglomerados". *Quebracho* 21(1,2):67-80
- Güler, C.; Copur, Y.; Tascioglu, C. 2008. "The manufacture of particleboards using mixture of peanut hull (*Arachis hypogaea* L.) and European Black pine (*Pinus nigra* Arnold) wood chips". *Bioresource Technology* 99:2893–2897
- Güler, C.; Büyüksari, Ü. 2011. "Effect of production parameters on the physical and mechanical properties of particleboards made from Peanut (*Arachis hypogaea* L.) hull". *BioResources* 6(4): 5027-5036
- Gurevich Messina, L. I. I.; Bonelli, P.R.; Cukierman, A.L. 2013. "Evaluación de alternativas para el mejoramiento de los productos de pirolisis". *In: II CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA QUÍMICA. 2das. JORNADAS ARGENTINAS DE SEGURIDAD DE PROCESOS, 2013, Rosario, Argentina.*

- Haselein, C. R.; Calegari, L.; Barros, M. V.; Hack, C.; Hillig, E.; Pauleski, D. T.; Pozzera, F. 2002. "Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões". *Ciência Florestal* 12(2):127-134
- Hillig, E. 2000. "Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeira de Pinus, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino formaldeído". 2000,96 f. Tese (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- IRAM 9532. 1963. "Método de determinación de humedad". Instituto de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.
- IRAM 9720. 1999. "Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación del hinchamiento del espesor después de inmersión en agua". Instituto de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.
- IRAM 9722. 1999. "Tableros de partículas. Clasificación". Instituto de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.
- IRAM 9705. 2001. "Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad". Instituto de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.
- IRAM 9706. 2001. "Tableros derivados de la madera. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de resistencia a la flexión". Instituto de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.
- IRAM 9723-3. 2001. "Tableros de partículas. Parte 3: Requisitos de los tableros de tipo 2 para uso en ambiente seco". Instituto de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.
- IRAM 9704. 2005. "Tableros derivados de la madera. Determinación del contenido de humedad". Instituto de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.
- IRAM 9723. 2021. "Tableros de partículas. Requisitos". Instituto de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.
- Iwakiri, S. 2005. "Painéis de madeira reconstituída". Curitiba: Ajir Gráfica e Editora Ltda, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. 247 p.

- Iwakiri, S.; Silva, Matoski, S. L. S.; Leonhardt, G.; Caron, J. 2006. "Produção de chapas de madeira aglomerada". Revista da Madeira (99):122-125. [en línea]. [Fecha de consulta 04 Mayo 2018] Disponible en: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=967&subject=Pain%C3%A9is&title=Produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20chapas%20de%20madeira%20aglomerada>
- Iwakiri, S.; Stingen, A. B. M.; Silveira, E. L.; Zamarian, E. H. C.; Patra, J. G.; Bronoski, M. 2008. "Influência da massa específica sobre as propriedades mecânicas de painéis aglomerados". Floresta 38(3):487-493
- Iwakiri, S.; Vianez, B. F.; Weber, C.; Trianoski, R.; Almeida, V. C. 2012. "Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia". Acta Amazonica 42(1):59-64
- Jaishankar, M. M.; Mathew, B. B.; Shah, M. S.; Krishna Murthy, T. P.; Sangeetha Gowda K. R. 2014. "Biosorption of few heavy metal ions using agricultural wastes". Journal of Environment Pollution and Human Health 2(1):1-6
- Jiménez, P. V. Medina, J. C.; Pan, E. M.; Ruiz, A. P.; Umlandt, M. 2016. "Uso de residuos de carpintería de las especies *Prosopis alba* y *Pinus sp.* en la elaboración de paneles aglomerados". Quebracho 24(1,2):26-35
- Jiménez, P. V.; Medina, J. C.; Umlandt, M. 2017. "Uso de residuos de garlopa y cepilladora en aglomerados. Materia prima alternativa en la fabricación de tableros". Saarbrücken: Editorial académica española. 61 p.
- Kajita, H. 1987. "Oriented particleboard with Sugi thinnings (*Cryptomeria japonica*) I. Effects of degree of particle alignment and board density on physical and mechanical properties". Mokuzai Gakkaishi 33(11):865-871
- Keller, M. E. 2009. "Cadenas alimentarias: Maní". Alimentos argentinos [en línea]. (46) [fecha de consulta 15 Febrero 2018], p.40-44. Disponible en: <https://issuu.com/alimentosargentinos.gob.ar/docs/revista_aa_46>
- Kelly, M. W. 1977. "A critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard". (General Technical Report, FPL-10). U.S. Forest Products Laboratory, Madison. 66 p.

- Kermit, W.; Hong, Y.; Chung, W. S.; Marshall, W. E. 2006. "Select metal adsorption by activated carbon made from peanut shells". *Bioresource Technology* 97:2266–2270
- Kollmann, F.; Kuenzi, E. W., Stamm, A. J. 1975. "Principles of wood science and technology. Volume 2. Wood based materials". Berlin: Springer Verlag. 703 p.
- Kollmann, F. F. P.; Côté, W. A. 1984. "Principles of wood science and technology. Vol. 1: solid wood". Berlin: Springer Verlag. 592 p.
- Lavia, G.I. 1998. "Kryotypes of *Arachis palustris* and *A. praecox* (section *Arachis*), two species with basic chromosomes number X=9". *Journal Cytologia* 63:177-181
- Ledesma, T.; De Bedia, G.; López, C. 2008. "Productividad de *Prosopis alba* Griseb en Santiago del Estero". *Quebracho* (15):5-9
- Lewis, W. C. 1971. "Board materials from wood residues". United States Department of Agriculture, Forest Service Research Note FPL-045, Forest Products Laboratory, Madison.
- Machado Cravo, J. C. 2013. "Compósito particulado de baixa densidade com casca de amendoim, fibra de coco verde e resina poliuretana a base de óleo de mamona para aplicação como forro de galpões avícolas". 2013, 167 f. Tese (Mestre em Zootecnia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Maloney, T. M. 1977. "Modern particleboard & Dry-Process Fiberboard manufacturing". San Francisco: Miller Freedman Publications. 670 p.
- Maloney, T. M. 1993. "Modern particleboard & dry-process fiberboard". San Francisco: Miller Freedman Publications. 681 p.
- Maloney, T. M. 1996. "The family of wood composite materials". *Forest Products Journal* 46(2):19-26
- Marra, F.S. 1992. "Technology of wood bonding – Principles in practice". New York: Van Nostrand Reinhold. 453 p.
- Martin, C.; Alriksson, B.; Sjöde, A.; Nilvebrant, N. O.; Jönsson, L. J. 2007. "Dilute sulfuric acid pretreatment of agricultural and agro-industrial residues for ethanol production". *Applied Biochemistry and Biotechnology* 136-140:339-352

- Medina, J. C.; Martínez, R. 1992. "Elaboración de paneles aglomerados con madera de *Prosopis nigra* Hieron. "Algarrobo negro", atacada por *Criodion angustatum* Bouquet". Instituto de Tecnología de la Madera – Serie de publicaciones 9202, Universidad Nacional de Santiago del Estero. 7 p.
- Medina, J. C.; Ambrogi, A. 1994. "Cáscara de maní en la elaboración de aglomerados". *Quebracho* (2):47-53
- Medina, J. C. 1999. "Tableros aglomerados de virutas orientadas (OSB) elaborados a partir de *Aspidosperma quebracho blanco* Schlecht. y *Pinus taeda* L.". 1999. Tesis (Doctorado en Ciencias Forestales) - Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Medina, J.C. 2012. "Guía de estudio cátedra Industrias Mecánicas de la Madera II". Carrera de Ingeniería en Industrias Forestales, Facultad de Ciencias Forestales Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.
- Moslemi, A. A. 1974. "Particleboard, vol. 1: Materials". Southern Illinois University Press, Carbondale. 256 p.
- Munsell Color Company, Inc. 1968. "Munsell color charts for plant tissues". Segunda edición. Baltimore, Maryland, 21218 USA.
- Nascimento, M. F.; Lahr, F. A. R. 2007. "Emprego de Algaroba (*Prosopis juliflora*) na produção de chapas de partículas homogêneas". *Revista Minerva* 4:51-56
- Nisamaneenate, J. J.; Atong, D.; Sornkade, P. 2015. "Fuel gas production from peanut shell waste using a modular downdraft gasifier with the thermal integrated unit". *Renewable Energy* 79:45-50
- Oliveira, F. D.; Soares, A. C.; Freitas, O. M.; Figueiredo, S. A. 2010. "Copper, nickel and zinc removal by peanut hulls: batch and column studies in mono, tri-component systems and with real effluent". *Journal Global NEST* 12(2):206-214
- Paes, J. B.; Nunes, S. T.; Lahr, F. A. R.; Nascimento, M. F.; Lacerda, R. M. A. 2011. "Qualidade de chapas de partículas de *Pinus elliottii* coladas com resina". *Ciência Florestal* 21(3):551-558

- Peixoto, G. L.; Brito, E. O. 2000. "Avaliação da granulometria de partículas de *Pinus taeda* combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados". Revista Floresta e Ambiente 7(1):60-67
- Pellegrino, M. 2019. "Cadena de maní – Resumen". Ministerio de Agroindustria de la Nación, Argentina [en línea]. [Fecha de consulta 8 Octubre 2019], p. 9. Disponible en:<http://www.alimentosargentinos.gov.ar/HomeAlimentos/Cadenas%20de%20Valor%20de%20Alimentos%20y%20Bebidas/informes/Resumen_Cadena_2019%20Mani_MARZO_2019.pdf>
- Peredo, M. L.; Torrez, E. G. 1991. "Fabricación de tableros de partículas con desechos industriales". Revista Bosque 12(1):49-57
- Peredo, M. L.; Lizama, C. N. 1993. "Uso de hidrófobos en la fabricación de tableros de partículas con residuos de cosecha forestal". Bosque 14(1):3-12
- Poblete, W. H. 1979. "Inclusión de aserrín en tableros de partículas". Revista Bosque 3(1):39-46
- Poblete, W. H.; Sánchez, A. J. P. 1991. "Tableros con corteza de *Pinus radiata*". Revista Bosque 12(1):17-26
- Poblete, W. H.; Soto, J.; Izunza, L. 1996. "Tableros con renovales de *Nothofagus*: efecto de la temperatura y el tiempo en el prensado". Bosque 17(1):43-49
- Poblete, H.; Loncomilla, E.; Inzunza, L. 2000. "Densidad del tablero de partículas y estabilidad dimensional". Revista Bosque 21(2):69-83
- Poblete, H. 2001. "Tableros de Partículas". El Kultrún, Chile. 177 p.
- Ravera, C.; Bettera, C.; Fernandez, M. A.; Estive, E; Piñeda, H. 2008. "Aprovechamiento de los residuos agrícolas. Procesamiento de la caja del maní, su conversión biológica y productos". En: I SIMPOSIO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE RESIDUOS, Córdoba, Argentina.
- Rosende, R.; Ulloa, I.; Cuevas, E.; Donoso, J. 1985. "Chemical composition of wood and bark of *Prosopis tamarugo* Phil and *Prosopis alba* gris. From the Tamarugal Pampa the current state of knowledge on tamarugo – FAO- p. 355-360.

- Rowell, R. M.; Pettersen, R.; Tshabalala, M. A. 2012. "Cell Wall Chemistry from: Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites". CRC Press, [fecha de consulta 28 de marzo de 2022], p. 41. Disponible en: <<https://www.routledgehandbooks.com/doi/10.1201/b12487-5>>
- Santa Cruz Orellana, T. S. 2012. "Evaluación de la utilización de epicarpio de maní (*Arachis Hypogaea*, C. Linneo) con un ligante polimérico, en la aplicación de especímenes de prueba –paneles menores". Escuela de Ingeniería química, Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. 171 p.
- Santillán, T.; Canchucaja, J. 2007. "Influencia de la densidad de la madera en la calidad de tableros de partículas homogéneos". Revista Forestal del Perú 3(1-2):61-79
- TAPPI. 1978. "TAPPI Test Method T 12 os-75 Preparation of extractive freewood". Technical Association for the Pulp and Paper Industries, Atlanta.
- TAPPI. 2007. "TAPPI test methods T 204 cm-07 Solvents extractives for wood and pulp". Technical Association for the Pulp and Paper Industries, Atlanta.
- TAPPI. 2008. "TAPPI test methods T 207 cm-08 Water solubility of wood and pulp". Technical Association for the Pulp and Paper Industries, Atlanta.
- TAPPI. 2011. "TAPPI test methods T 222 om-11 Acid-insoluble lignin in wood and pulp". Technical Association for the Pulp and Paper Industries, Atlanta.
- TAPPI. 2012. "TAPPI test methods T 212 om-12 One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp". Technical Association for the Pulp and Paper Industries, Atlanta.
- TAPPI. 2012. "TAPPI test methods T 211 om-12 Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C". Technical Association for the Pulp and Paper Industries, Atlanta.
- Tinto, J. 1978. "Aporte del Sector Forestal a la Construcción de Viviendas". Instituto Forestal Nacional. Folleto Técnico Forestal N° 44, Buenos Aires. 142 p.
- Zau, L. M. D.; Vanconcelos, R. P.; Giacon, V. M.; Lahr, F. A. R. 2014. "Avaliação das propriedades química, física e mecânica de painéis aglomerados produzidos com

resíduo de madeira da Amazônia - Cumaru (*Dipteryx Odorata*) e resina poliuretana à base de óleo de mamona”. Revista Polímeros 24(6):726-732

ANEXO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tabla 17. Porcentaje de material retenido por cada malla y total de partículas aceptadas para cada una de las materias primas utilizadas en la elaboración de los tableros.

Malla (mm)	CME (%)	CMM (%)	AC (%)	ACM (%)	ACHM (%)
10	23	0	13	0	3,09
3 x 9	30	0,83	26,08	6,07	81,72
2	0	46,57	35,22	60	13,55
0,3	44,75	49	18,05	32,26	1,45
< 0,3	2,3	3,6	7,65	1,67	0,19
Total aceptados	74,75	96,4	79,35	98,33	96,72

CME: cáscaras de maní entera; CMM: cáscaras de maní tratadas en molino; AC: algarrobo cepillado; ACM: algarrobo cepillado tratado en molino; ACHM: algarrobo tratado en chipera y molino.

DENSIDAD Y HUMEDAD

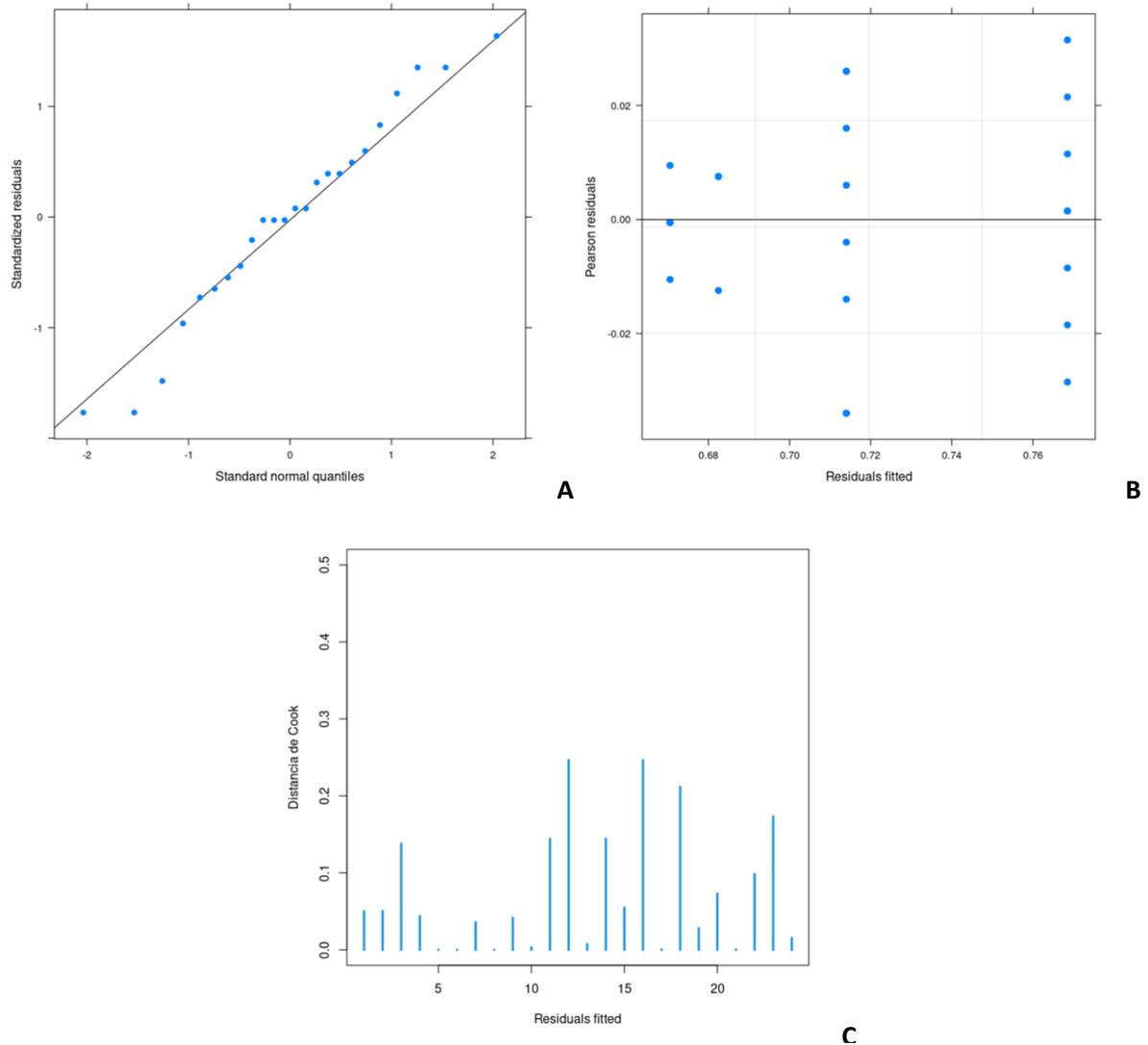


Figura 21.

A: Supuesto de normalidad para el modelo lineal mixto de densidad en función de los tratamientos. Gráfico QQ-plot (cuantil-cuantil) del ensayo de densidad de los tratamientos T1 y testigo.

B: Supuesto de homogeneidad de varianza para el modelo lineal mixto de densidad del conjunto de datos. Gráfico de dispersión del ensayo de densidad de los tratamientos T1 y testigo.

C: Gráfico para la detección de outlier utilizando la distancia de Cook correspondiente al ensayo de hinchamiento a 2 horas de los tratamientos T1 y testigo. Valores $> 0,4 - 0,3$ se consideran valores atípicos.

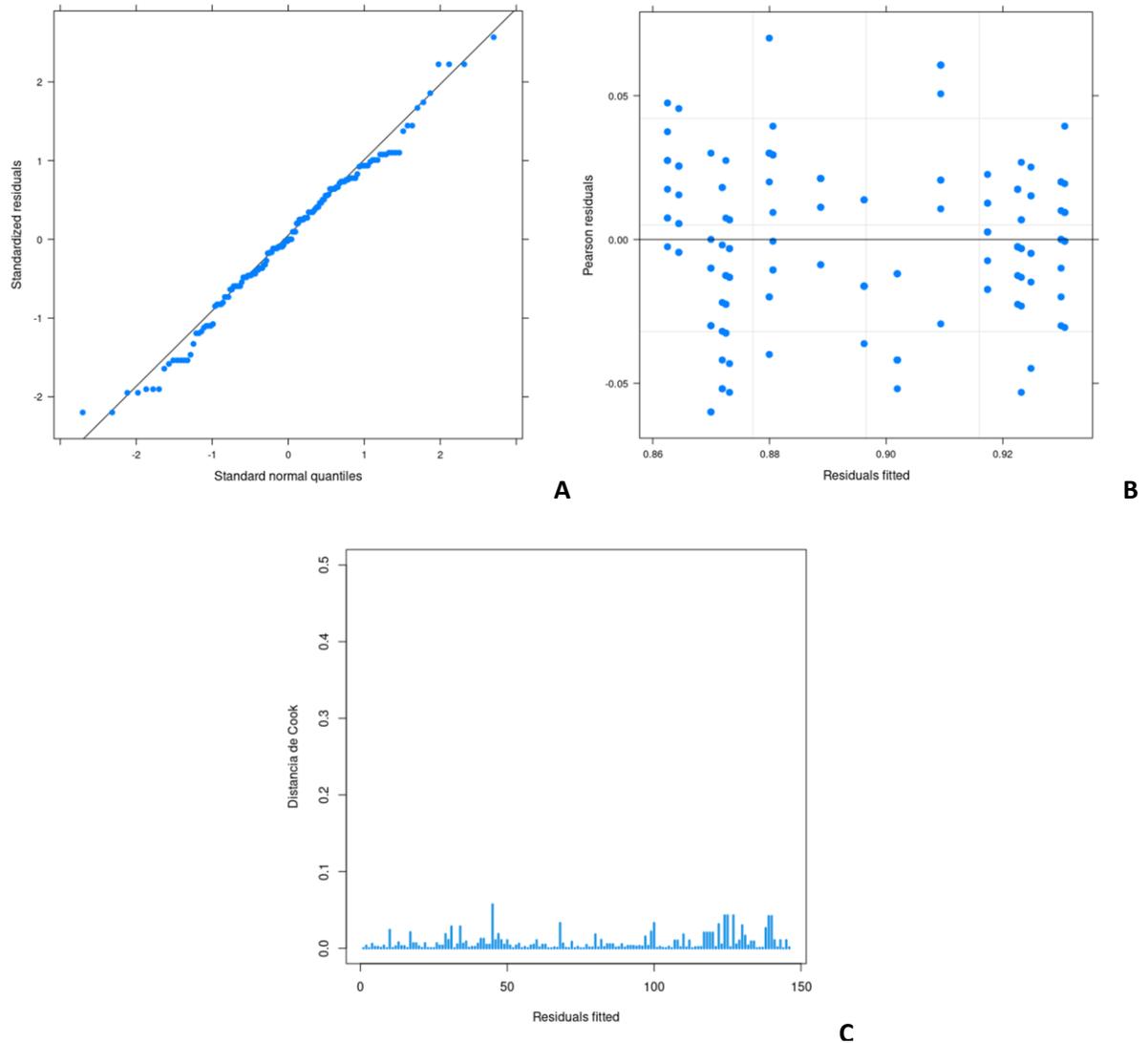


Figura 22.

A: Supuesto de normalidad para el modelo lineal mixto de densidad en función de los tratamientos. Gráfico QQ-plot (cuantil-cuantil) del ensayo de densidad de los tratamientos de T2 a T10.

B: Supuesto de homogeneidad de varianza para el modelo lineal mixto de densidad del conjunto de datos. Gráfico de dispersión del ensayo de densidad de los tratamientos de T2 a T10.

C: Gráfico para la detección de outlier utilizando la distancia de Cook correspondiente al ensayo de hinchamiento a 2 horas de los tratamientos de T2 a T10. Valores $> 0,4 - 0,3$ se consideran valores atípicos.

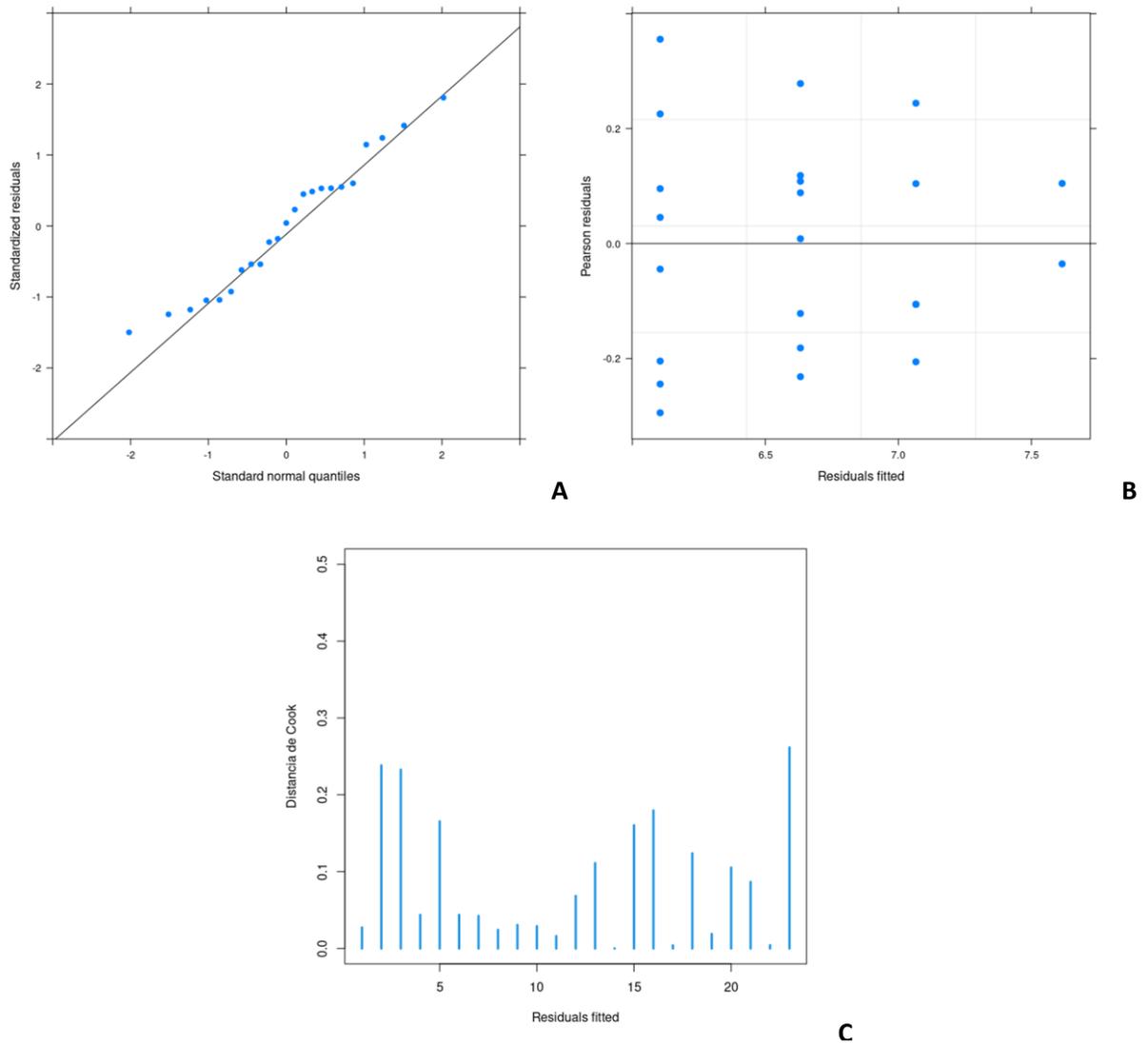


Figura 23.

A: Supuesto de normalidad para el modelo lineal mixto de humedad en función de los tratamientos. Gráfico QQ-plot (cuantil-cuantil) del ensayo de humedad de los tratamientos T1 y testigo.

B: Supuesto de homogeneidad de varianza para el modelo lineal mixto de humedad del conjunto de datos. Gráfico de dispersión del ensayo de humedad de los tratamientos T1 y testigo.

C: Gráfico para la detección de outlier utilizando la distancia de Cook correspondiente al ensayo de humedad de los tratamientos T1 y testigo. Valores $> 0,4 - 0,3$ se consideran valores atípicos.

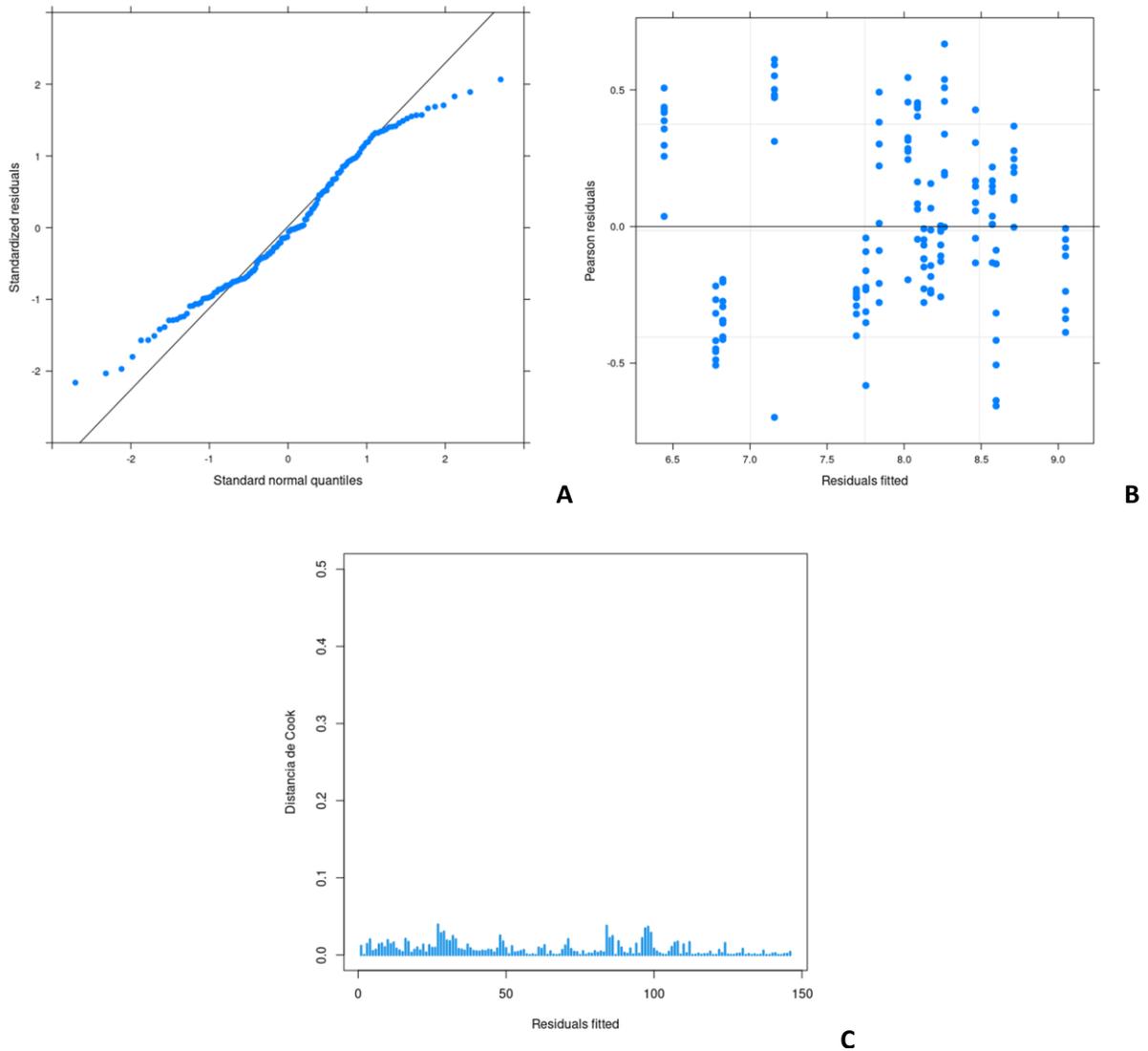


Figura 24.

A: Supuesto de normalidad para el modelo lineal mixto de humedad en función de los tratamientos. Gráfico QQ-plot (cuantil-cuantil) del ensayo de humedad de los tratamientos de T2 a T10.

B: Supuesto de homogeneidad de varianza para el modelo lineal mixto de humedad del conjunto de datos. Gráfico de dispersión del ensayo de humedad de los tratamientos de T2 a T10.

C: Gráfico para la detección de outlier utilizando la distancia de Cook correspondiente al ensayo de humedad de los tratamientos de T2 a T10. Valores $> 0,4 - 0,3$ se consideran valores atípicos.

Tabla 18. Valores medios, desvío estándar y Test de Tukey para los ensayos de densidad y humedad de los tratamientos uno y testigo.

Tratamiento	Densidad (g/cm ³)	Humedad (%)
T1	0,68 ± 0,01 ^B	7,22 ± 0,33 ^A
Testigo	0,74 ± 0,04 ^A	6,37 ± 0,34 ^B

^{A, B} Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Test de Tukey)

Tabla 19. Valores medios, desvío estándar y Test de Tukey para los ensayos de densidad y humedad de los tratamientos del dos al diez.

Tratamiento	Densidad (g/cm ³)	Humedad (%)
T2	0,92 ± 0,02 ^{CD}	6,60 ± 0,24 ^A
T3	0,87 ± 0,03 ^A	6,98 ± 0,59 ^B
T4	0,88 ± 0,03 ^{AB}	7,86 ± 0,49 ^C
T5	0,93 ± 0,02 ^D	8,88 ± 0,13 ^F
T6	0,93 ± 0,02 ^D	8,01 ± 0,23 ^{CD}
T7	0,89 ± 0,02 ^{ABC}	8,43 ± 0,30 ^E
T8	0,88 ± 0,03 ^{AB}	7,92 ± 0,47 ^C
T9	0,91 ± 0,04 ^{BD}	8,30 ± 0,33 ^{DE}
T10	0,81 ± 0,03 ^A	8,40 ± 0,27 ^E

^{A, B, C, D, E} Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Test de Tukey)

HINCHAMIENTO Y ABSORCIÓN

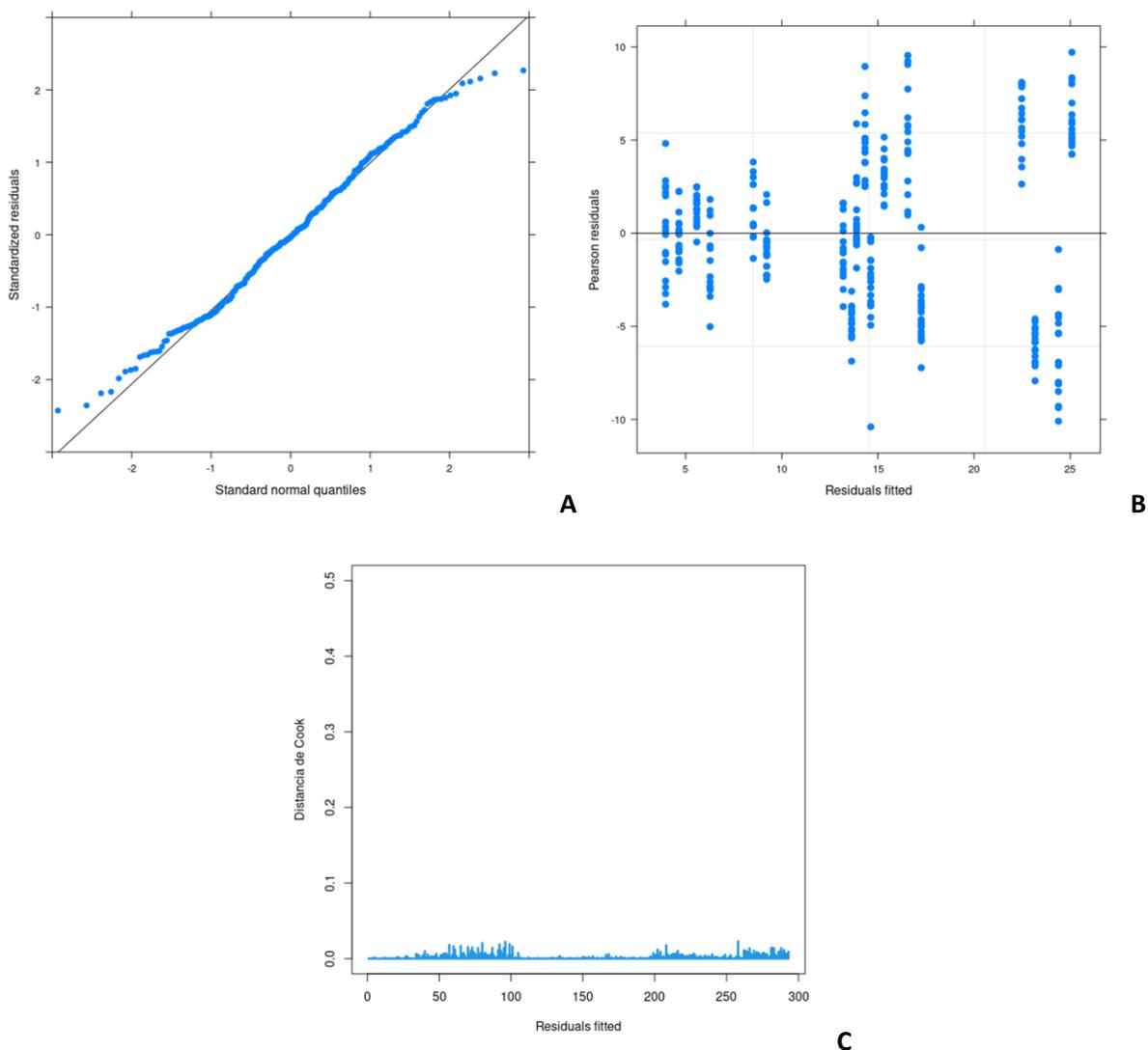


Figura 25.

A: Supuesto de normalidad para el modelo lineal mixto de hinchamiento a 2 horas en función de los tratamientos. Gráfico QQ-plot (cuantil-cuantil) del ensayo de hinchamiento a 2 horas de los tratamientos de T2 a T10.

B: Supuesto de homogeneidad de varianza para el modelo lineal mixto de hinchamiento a 2 horas del conjunto de datos. Gráfico de dispersión del ensayo de hinchamiento a 2 horas de los tratamientos de T2 a T10.

C: Gráfico para la detección de outlier utilizando la distancia de Cook correspondiente al ensayo de hinchamiento a 2 horas de los tratamientos de T2 a T10. Valores $> 0,4 - 0,3$ se consideran valores atípicos.

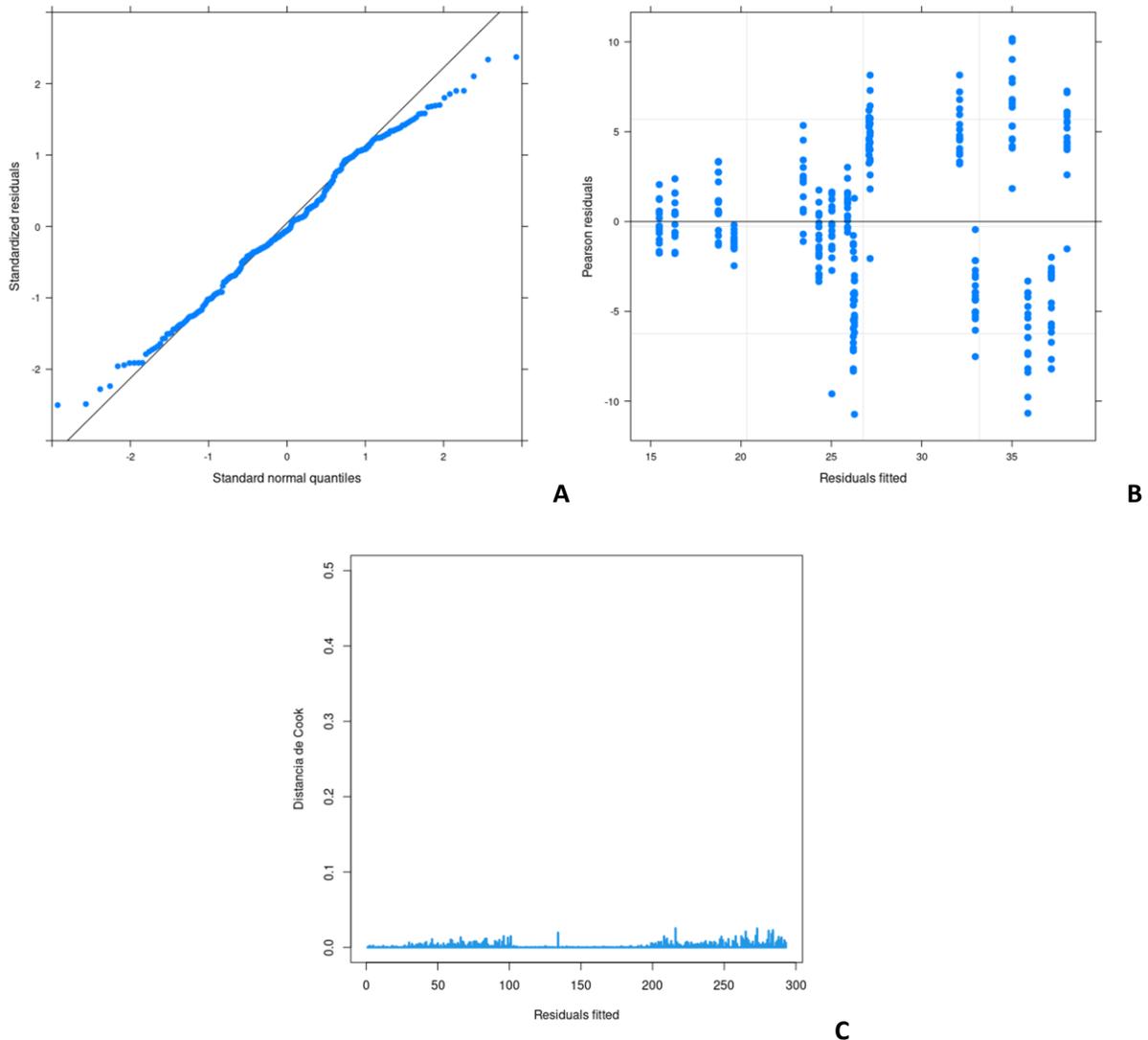


Figura 26.

A: Supuesto de normalidad para el modelo lineal mixto de absorción a 2 horas en función de los tratamientos. Gráfico QQ-plot (cuantil-cuantil) del ensayo de absorción a 2 horas de los tratamientos de T2 a T10.

B: Supuesto de homogeneidad de varianza para el modelo lineal mixto de absorción a 2 horas del conjunto de datos. Gráfico de dispersión del ensayo de absorción a 2 horas de los tratamientos de T2 a T10.

C: Gráfico para la detección de outlier utilizando la distancia de Cook correspondiente al ensayo de absorción a 2 horas de los tratamientos de T2 a T10. Valores $> 0,4 - 0,3$ se consideran valores atípicos.

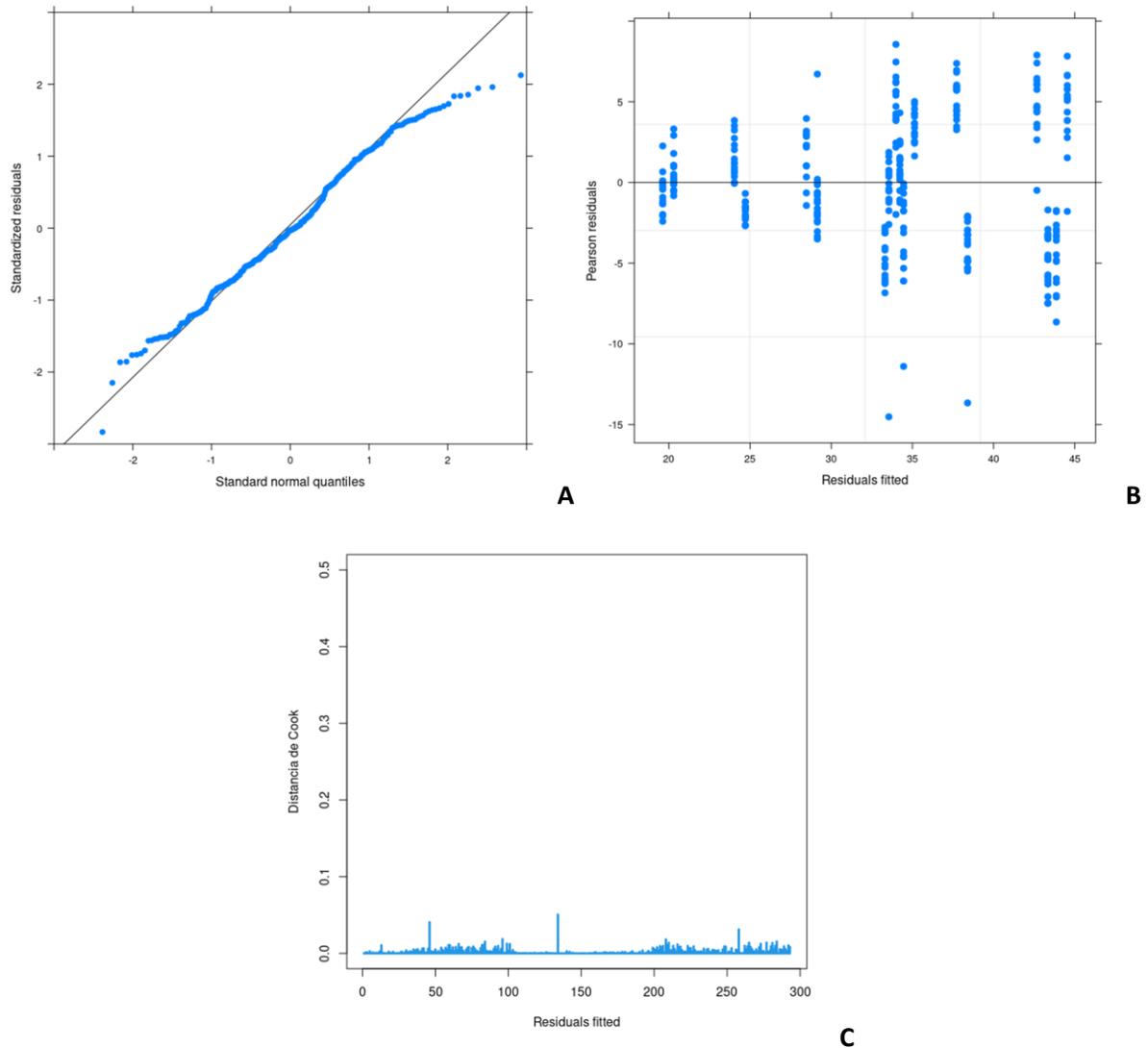


Figura 27.

A: Supuesto de normalidad para el modelo lineal mixto de absorción a 24 horas en función de los tratamientos. Gráfico QQ-plot (cuantil-cuantil) del ensayo de absorción a 24 horas de los tratamientos de T2 a T10.

B: Supuesto de homogeneidad de varianza para el modelo lineal mixto de absorción a 24 horas del conjunto de datos. Gráfico de dispersión del ensayo de absorción a 24 horas de los tratamientos de T2 a T10.

C: Gráfico para la detección de outlier utilizando la distancia de Cook correspondiente al ensayo de absorción a 24 horas de los tratamientos de T2 a T10. Valores $> 0,4 - 0,3$ se consideran valores atípicos.

Tabla 20. Valores medios, desvío estándar y Test de Tukey para los ensayos de hinchamiento en agua a 2 horas y absorción en agua a 2 y 24 horas de inmersión de los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Hinchamiento 2 horas (%)	Absorción (%)	
		2 horas	24 horas
T2	8,94 ± 1,54 ^B	23,97 ± 2,04 ^B	28,88 ± 2,22 ^C
T3	16,94 ± 4,91 ^D	32,58 ± 4,45 ^C	38,10 ± 4,89 ^E
T4	24,74 ± 6,97 ^E	37,61 ± 5,74 ^D	44,21 ± 5,33 ^F
T5	13,53 ± 2,11 ^C	25,45 ± 2,37 ^B	33,88 ± 3,11 ^D
T6	4,28 ± 1,99 ^A	15,88 ± 1,29 ^A	19,94 ± 1,48 ^A
T7	5,90 ± 1,82 ^{AB}	19,15 ± 1,33 ^A	24,35 ± 1,66 ^B
T8	13,98 ± 5,41 ^{CD}	26,71 ± 5,50 ^B	33,65 ± 5,48 ^D
T9	14,96 ± 3,91 ^{CD}	26,64 ± 5,50 ^B	34,78 ± 4,36 ^D
T10	22,82 ± 5,88 ^E	35,44 ± 6,38 ^{CD}	43,01 ± 4,97 ^F

A, B, C, D, E, F Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Test de Tukey)

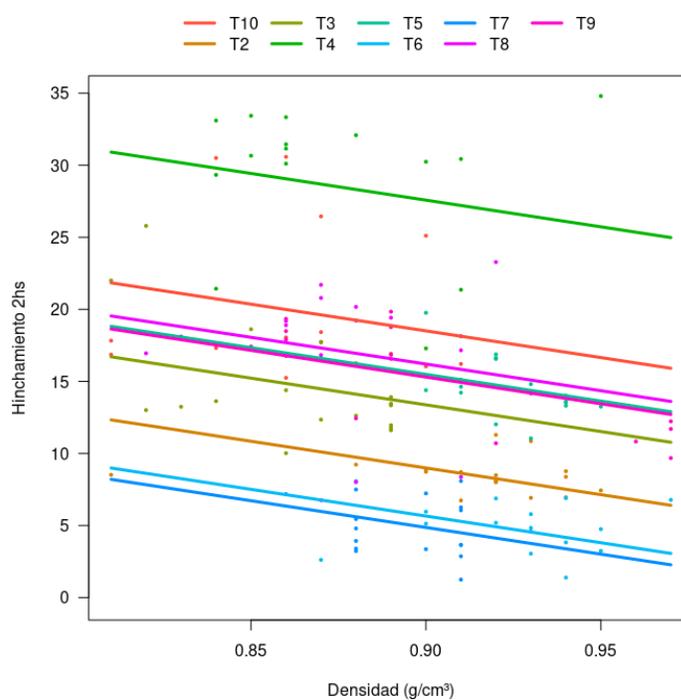


Figura 28. Hinchamiento en agua a 2 horas en función de la densidad de los tableros por tratamiento.

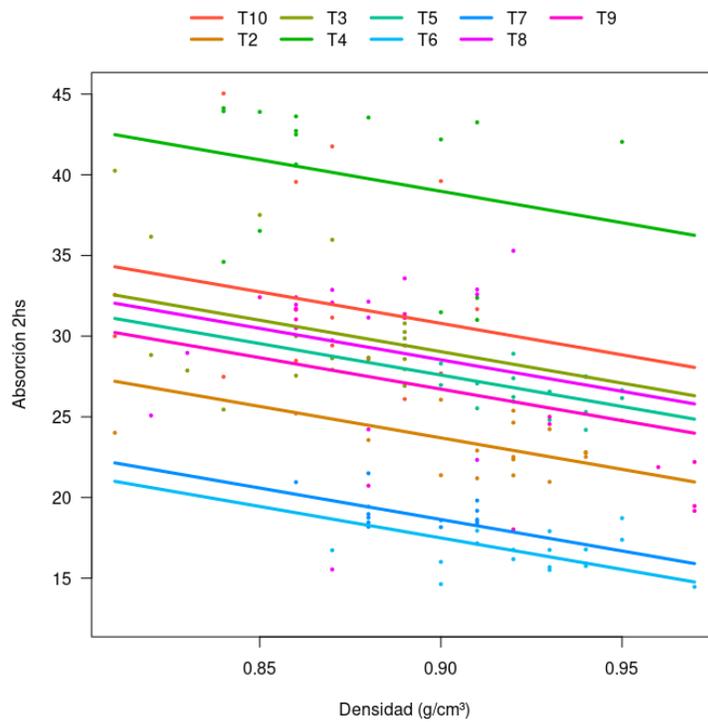


Figura 29. Absorción en agua a 2 horas en función de la densidad de los tableros por tratamiento.

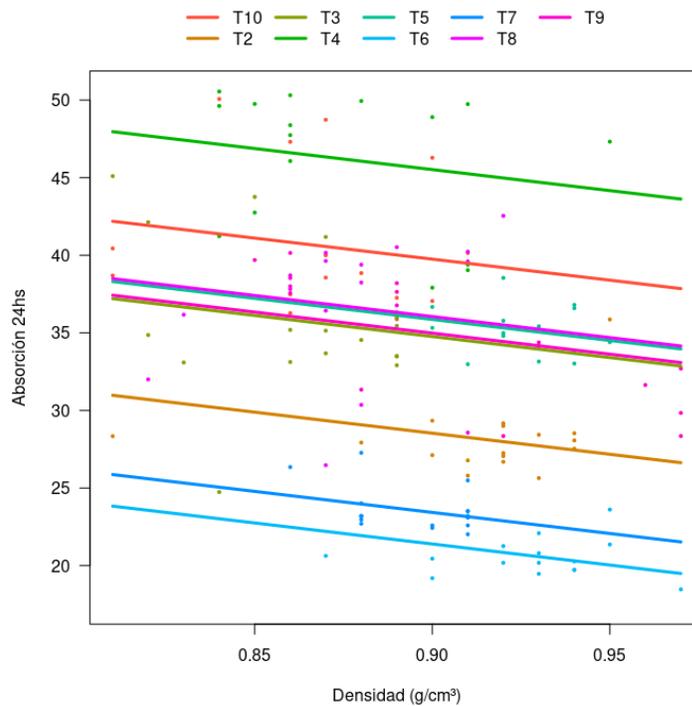


Figura 30. Absorción en agua a 24 horas en función de la densidad de los tableros por tratamiento.

FLEXIÓN ESTÁTICA

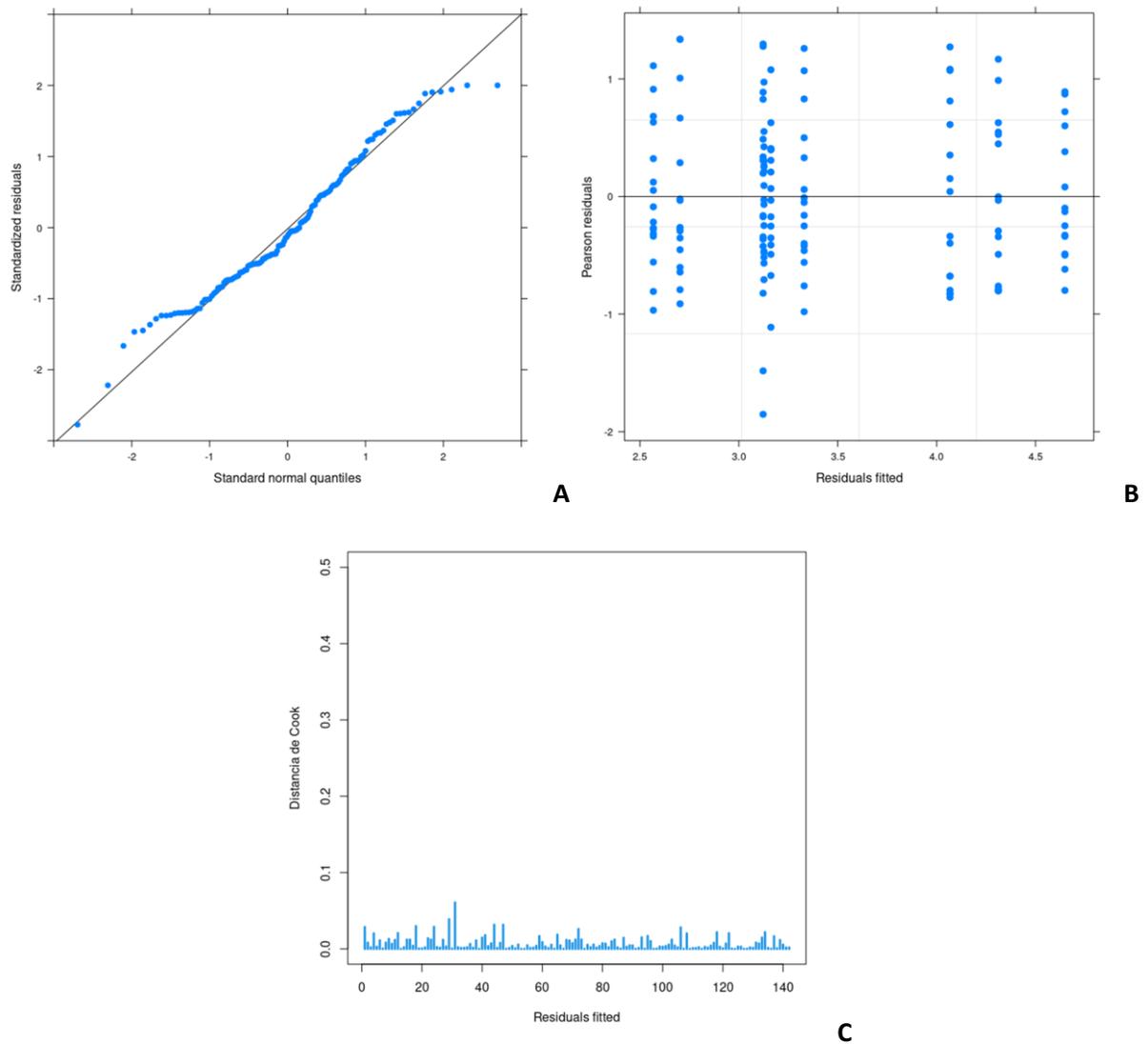


Figura 31.

A: Supuesto de normalidad para el modelo lineal mixto de MOR en función de los tratamientos. Gráfico QQ-plot (cuantil-cuantil) para MOR de los tratamientos de T2 a T10.

B: Supuesto de homogeneidad de varianza para el modelo lineal mixto de MOR del conjunto de datos. Gráfico de dispersión para MOR de los tratamientos de T2 a T10.

C: Gráfico para la detección de outlier utilizando la distancia de Cook para MOR de los tratamientos de T2 a T10. Valores $> 0,4 - 0,3$ se consideran valores atípicos.

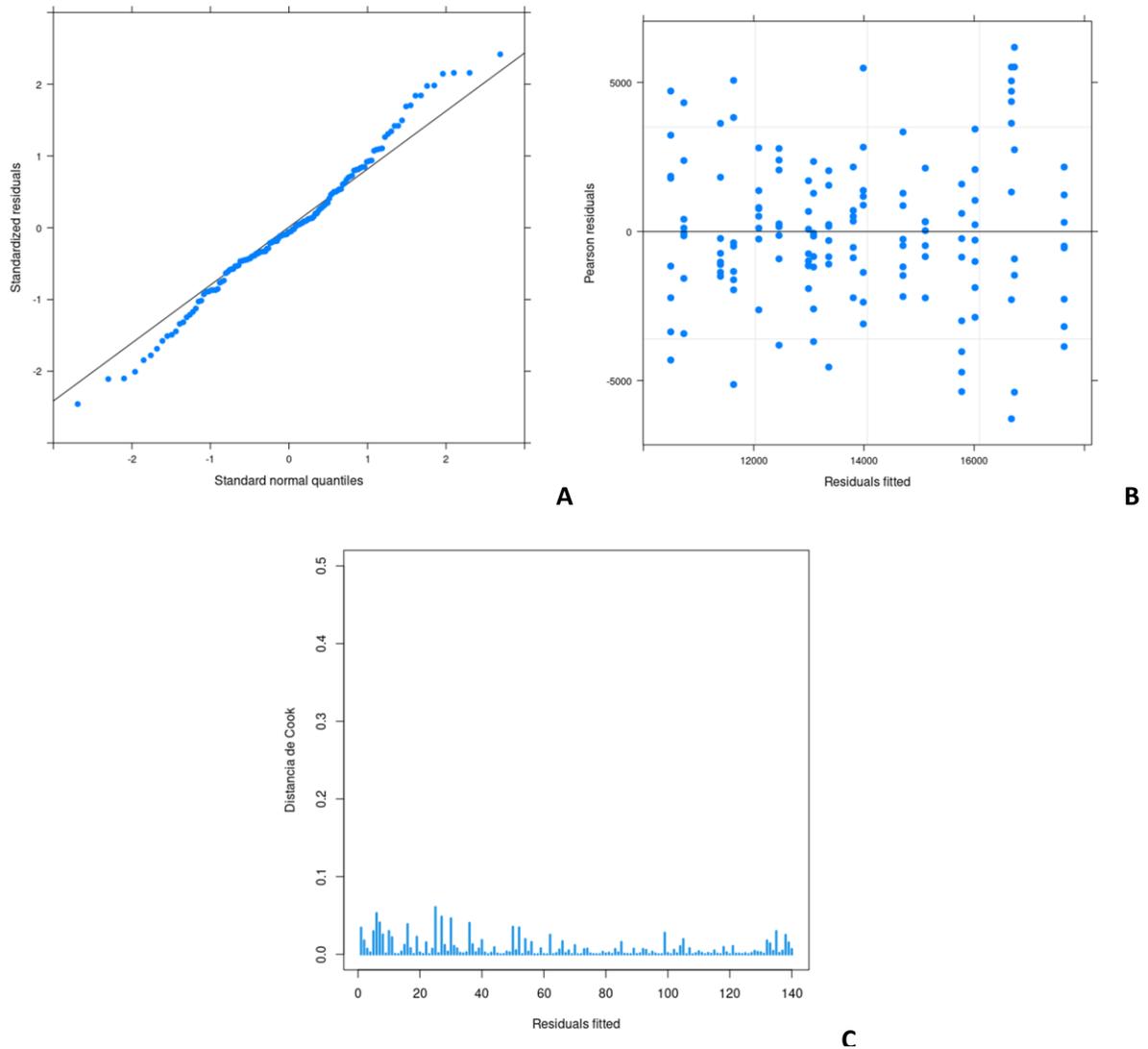


Figura 32.

A: Supuesto de normalidad para el modelo lineal mixto de MOE en función de los tratamientos. Gráfico QQ-plot (cuantil-cuantil) para MOE de los tratamientos de T2 a T10.

B: Supuesto de homogeneidad de varianza para el modelo lineal mixto de MOE del conjunto de datos. Gráfico de dispersión para MOE de los tratamientos de T2 a T10.

C: Gráfico para la detección de outlier utilizando la distancia de Cook para MOE de los tratamientos de T2 a T10. Valores $> 0,4 - 0,3$ se consideran valores atípicos.

Tabla 21. Valores promedio de MOR y MOE \pm desvío estándar y Test de Tukey para cada tratamiento.

Tratamiento	MOR (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)
T2	4,07 \pm 0,78 ^C	16224,32 \pm 4232,29 ^{DE}
T3	3,12 \pm 0,90 ^{AB}	17245,26 \pm 3233,25 ^E
T4	2,70 \pm 0,73 ^{AB}	13536,94 \pm 2594,13 ^{ACD}
T5	3,13 \pm 0,47 ^{AB}	11184,33 \pm 2751,11 ^A
T6	4,31 \pm 0,68 ^C	15593,95 \pm 1795,02 ^{CE}
T7	4,65 \pm 0,56 ^C	14287,25 \pm 1617,18 ^{BCE}
T8	3,33 \pm 0,65 ^B	12910,54 \pm 2012,02 ^{AC}
T9	3,16 \pm 0,55 ^{AB}	12543,11 \pm 1325,11 ^{AB}
T10	2,57 \pm 0,60 ^A	10946,33 \pm 2597,16 ^A

^{A, B, C, D, E} Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Test de Tukey)

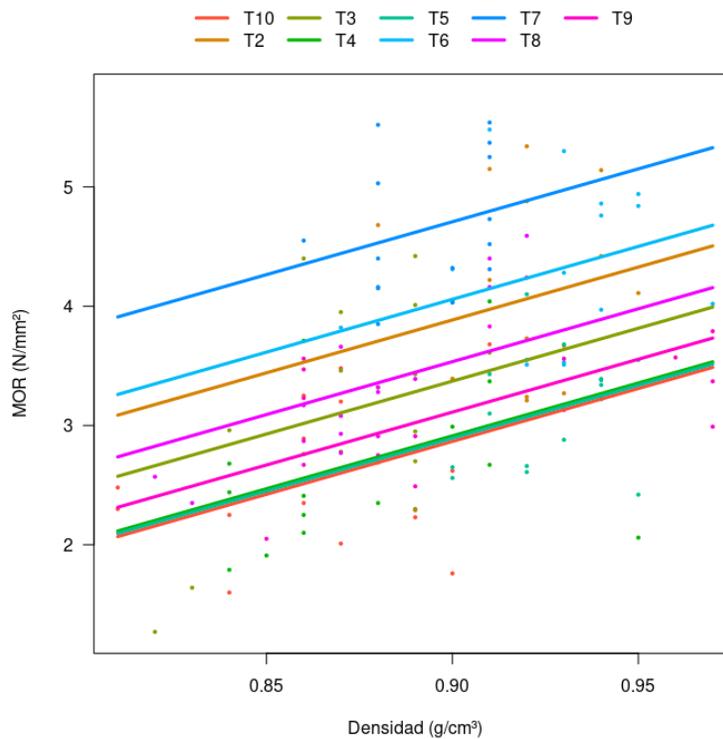


Figura 33. Módulo de Resistencia a la Rotura en función de la densidad de los tableros por tratamiento.

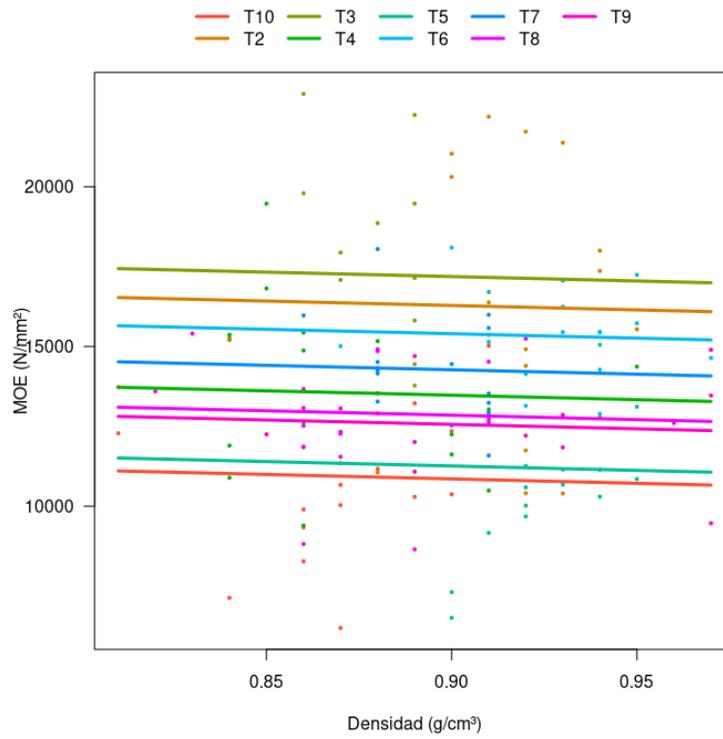


Figura 34. Módulo de Elasticidad en función de la densidad de los tableros por tratamiento.