

Observatorio Medioambiental

ISSN: 1139-1987

<http://dx.doi.org/10.5209/OBMD.85272>EDICIONES
COMPLUTENSE

Caracterización de materiales lignocelulósicos obtenido de la industria olivícola

Raquel Brito¹; Ernesto Felipe Rodríguez²

Recibido: 20 de abril del 2022 / Enviado a evaluar: 25 de abril del 2022 / Aceptado: 12 de diciembre del 2022

Resumen. La región del Noroeste Argentino presenta un desarrollo de la actividad olivícola con excelentes resultados productivos destinados a la Industria aceitera. Sin embargo, esta evolución productiva trajo aparejada la necesidad de tratar aquellos residuos sólidos producto de esta industria alimenticia. Es por ello que la Universidad Nacional de La Rioja se encuentra trabajando en líneas prioritarias sobre Control y Protección del Medio Ambiente dentro de un modelo de desarrollo sustentable con el objetivo de disminuir estos desechos industriales que terminan en vertederos o en rellenos sanitarios. En este sentido la presente investigación busca reciclarlos en placas de aglomerado para luego determinar y analizar sus propiedades físicas y mecánicas. Las probetas ensayadas resultaron tener un buen comportamiento ante procesos de corte. La densidad del aglomerado presentó un perfil de alta densidad, siendo beneficioso, ya que los materiales de baja densidad son más susceptibles de sufrir los rigores de la humedad. El ensayo de humedad mostró un índice del adecuado fraguado y el de hinchamiento indicó resistencia a la influencia del agua. Con respecto a la resistencia a la flexión, los resultados indicaron que la deformación por carga máxima y la deformación por flexión a la rotura son mayores en el caso del aglomerado de orujo, siendo la carga máxima de flexión el factor más desfavorable de las probetas a base de orujo.

Palabras clave: Placas; Aglomerado; Industria; Olivícola; Ambiente.

[en] Characterization of lignocellulosic materials obtained from the olive industry

Abstract. The region of the Argentine Northwest presents a development of the olive activity with excellent productive results destined to the Oil Industry. However, this productive evolution brought with it the need to treat those solid residues produced by this food industry. That is why the National

¹ Centro de Investigaciones Científicas e Innovación Tecnológica (CENIIT). Universidad Nacional de La Rioja (Argentina).

E-mail: rbrito@unlar.edu.ar

² Universidad Nacional de La Rioja (Argentina).

E-mail: produccionesyservicios@gmail.com

University of La Rioja is working on priority lines on Control and Protection of the Environment within a model of sustainable development with the aim of reducing this industrial waste that ends up in dumps or sanitary landfills. In this sense, the present investigation seeks to recycle them in chipboard to later determine and analyze their physical and mechanical properties. The tested specimens turned out to have a good behavior before cutting processes. The density of the agglomerate presented a high-density profile, being beneficial, since low-density materials are more likely to suffer the rigors of humidity. The moisture test showed an adequate setting index and the swelling test indicated resistance to the influence of water. Regarding the flexural strength, the results indicated that the deformation due to maximum load and the flexural deformation at breakage are greater in the case of the pomace agglomerate, being the maximum flexural load the most unfavorable factor of the test specimens, pomace base.

Keywords: Lates; Agglomerate; Industry; Olive; Environment.

[fr] Caractérisation des matériaux lignocellulosiques issus de la filière oléicole

Résumé. La région du nord-ouest argentin présente un développement de l'activité oléicole avec d'excellents résultats productifs destinés à l'industrie pétrolière. Cependant, cette évolution productive a entraîné la nécessité de traiter ces résidus solides produits par cette industrie alimentaire. C'est pourquoi l'Université nationale de La Rioja travaille sur des lignes prioritaires de contrôle et de protection de l'environnement dans un modèle de développement durable dans le but de réduire ces déchets industriels qui finissent dans des décharges ou des décharges sanitaires. En ce sens, la présente enquête vise à les recycler en panneaux de particules pour déterminer et analyser ultérieurement leurs propriétés physiques et mécaniques. Les éprouvettes testées se sont avérées avoir un bon comportement avant les opérations de découpe. La densité de l'agglomérat présentait un profil de haute densité, étant bénéfique, puisque les matériaux à faible densité sont plus susceptibles de subir les rigueurs de l'humidité. Le test d'humidité a montré un indice de prise adéquat et le test de gonflement a indiqué une résistance à l'influence de l'eau. En ce qui concerne la résistance à la flexion, les résultats ont indiqué que la déformation due à la charge maximale et la déformation en flexion à la rupture sont plus importantes dans le cas de l'agglomérat de grignons, la charge de flexion maximale étant le facteur le plus défavorable des éprouvettes à base de grignons.

Mots-clés: Plaques; Aggloméré; Industrie; Olive; Environnement.

Cómo citar. Brito, R. y Rodríguez, E.F. (2022): Caracterización de materiales lignocelulósicos obtenido de la industria olivícola. *Observatorio Medioambiental*, 25, 113-131.

Sumario. 1. Introducción. 2. Materiales, Métodos y Resultados. 2.1. Ensayo para Determinar la Densidad. 2.2. Ensayo para Determinar la Humedad. 2.3 Ensayo para Determinar el Hinchamiento del Espesor. 2.4. Ensayo para Determinar la Resistencia a la Flexión. 4. Discusión y Conclusiones. 5. Referencias.

1. Introducción

La provincia de La Rioja experimentó un importante crecimiento en la actividad olivícola expandiendo la superficie implantada de 3.000 a 22.862 hectáreas. Según el Censo Nacional Agropecuario (INDEC, 2018). Según el Programa de Fortalecimiento Institucional Productivo y de Gestión Fiscal Provincial (PROFIP, 2009) el 55% de esa superficie tienen como destino la elaboración de aceituna en conservas y el 45% restante se reserva a la producción de aceite de oliva. Lo antes mencionado permite

inferir que la industria del aceite de oliva genera en promedio 79 millones de kg de residuos totales, de los cuales el 30% son sólidos (semilla o hueso), parte de ello son incinerados en calderas, que en algunos casos no cuentan con trampas para gases tóxicos y el resto son utilizados para rellenar caminos no pavimentados o vertederos.

Con la finalidad de aprovechar racionalmente este importante volumen de residuos se han programado una serie de investigaciones destinadas a establecer nuevas aplicaciones de este material, entre ellas el desarrollo de nuevos tipos de paneles aglomerados, la degradación biotecnológica, o el uso como combustible para la generación de energía eléctrica, entre otros conceptos. El orujo, material de descarte de la industria agrícola, puede ser utilizado como materia prima para la obtención de aglomerados. Varios residuos lignocelulósicos han sido aplicados en este campo, dependiendo de la disponibilidad regional, tales como *caña brava* (Contreras W. *et al.*, 2006), *cáscara de maní* (Rocha Almeida *et al.*, 2002), cáscara de almendras (Gürü, *et al.*, 2006; Fono-Tamo, *et al.* 2014) y marlo de maíz (Sampathrajan *et al.* 1992).

Los residuos sólidos obtenidos de la industria aceitera, de aspecto granulado, proviene de la molienda, ya que parte del proceso es reducir la fruta para liberar el aceite, dejando así el carozo de la misma en partículas de un tamaño promedio de 4mm de diámetro aproximadamente. Los restos, tal cual salen del proceso, deben ser tratados antes de ser materia prima de aglomerados. Estos paneles son producto de la unión de entidades discretas por medio de fuerzas físicas entre partículas y sustancias ligantes, y donde dichos ligantes son sustancias que se adhieren química o físicamente a las superficies del sólido formando uniones entre partículas de material (Mort, 2005), es decir, el tratamiento previo de las partículas son determinantes en los resultados finales.

Existen diferentes tipos de tecnologías de aglomeración de partículas en función de los fundamentos empleados en las unidades de operación, entre ellos se encuentra la compactación, granulación, extrusión, briquetado, pelletización, encapsulación y sinterización (Bohnet, 2004). En este caso particular se usa lo que se denomina una compactación, es decir, toda vez que “la fuerza impulsora sea la presión, el proceso se define como compactación o extrusión según la intensidad de la presión aplicada” (Perry, 2008). En este sentido, “el equipo de trabajo debe realizar un riguroso diseño de experimentos, que permita obtener la influencia de las distintas variables y la interacción entre ellas” (Lazić, 2004).

En los últimos 40 años se han realizado significativos esfuerzos para intentar caracterizar, predecir y controlar el desarrollo de la microestructura del aglomerado durante el proceso de compactación. No obstante, no resulta una tarea fácil, como es de esperar, debido a que materiales con propiedades diferentes se comportan de manera muy distinta (Heckel, 1961; Kawakita, 1971 citado por Gabbott, 2007; Matsumoto, 1986; Michrafy *et al.*, 2004 y Becerra Martínez, 1976).

Los tableros aglomerados se pueden dividir en tres grandes grupos: tableros de partículas, tableros de fibra y tableros contrachapados (maderas terciadas). Los tableros *contrachapados* son láminas de madera orientadas alternativamente, es decir, pegadas cruzadas unas con otras. Los de *fibra* son producidos a partir de un prolijo desmenuzamiento del material constitutivo con el objeto de que los componentes

finales sean haces de fibras separadas y vueltas a soldar entre sí, y los de *partículas*, son conocidos como aglomerados, los cuales están formados por partículas ligadas siempre a través de resinas colantes. Estas partículas son conglomeradas y pueden tener tamaños y formas diversas. Unos de los tableros de partículas más utilizados en la actualidad es el tablero de densidad media, elaborado con fibras de madera, que se combinan con una resina sintética y luego son fraguadas bajo presión y temperatura (Fiplasto, 2019).

La importancia de las etapas del proceso de compactación depende por lo tanto de las variables del mismo y de las características del material usado para el aglomerado. Dentro de las variables claves del proceso se puede incluir la geometría del molde empleado, la velocidad de aplicación de la fuerza de compresión, la presencia de agente lubricantes o el modo en el que se produce el llenado del material original; (Cunningham *et al.*, 2004; Michrafy *et al.* 2002; Khoei *et al.* 2008).

Idealmente, el ligante es también una variable importante, se ha demostrado que el mismo debe distribuirse en forma de película fina sobre las partículas sólidas, la formación de los núcleos se debe a la colisión y la formación de puentes entre partículas individuales que se consolidan mediante puentes líquidos (Rumpf, 1970 citado por Balaz, 2008). Generalmente, dicho ligante se disuelve en agua como etapa previa a su mezcla con el material sólido durante el proceso de aglomeración. En ocasiones esta mezcla de ligante y agua se adiciona en caliente para favorecer las propiedades adhesivas, siempre y cuando el ligante tenga propiedades específicas para este tratamiento. La elección de la sustancia ligante a emplear es mayoritariamente empírica y depende de la experiencia previa del equipo que formula el proceso, posteriormente en la compactación la presión externa actúa modificando la densidad relativa (García Triñanes, 2010).

La particularidad de este tipo de tecnología es que no es necesaria una etapa de secado adicional lo que reduce los costes energéticos pues se trabaja con partículas prácticamente libres de humedad. La limitación que supone el aire atrapado en el seno del material sólido tiene una relación directa con su permeabilidad y sus efectos pueden minimizarse si el proceso de densificación se lleva a cabo tan lentamente como sea necesario, de manera que el aire ocluido como consecuencia de la disminución de la porosidad pueda liberarse sin excesiva dificultad. Una manera de minimizar este efecto es mantener durante un tiempo la máxima presión como paso previo a la eyección del compacto. Dicho tiempo se conoce como tiempo de permanencia. La compactación mediante presión se lleva a cabo en dos etapas claramente diferenciadas; una primera que comprende un reordenamiento forzado de las partículas debido a la presión aplicada y una segunda en la cual los fragmentos frágiles se rompen y las partículas maleables se deforman plásticamente. El análisis de los mecanismos de compactación de un material suele llevarse a cabo previamente mediante la simulación del proceso de compresión sometiendo una muestra a ensayos físicos (Heckel, 1961).

Los tableros aglomerados de partículas, incluidos como entramados interiores, pisos, cielos, entre otros, presentan ventajas frente a la utilización de madera sólida; sin embargo, deben garantizar una adecuada resistencia y durabilidad en servicio.

Entre las propiedades más importantes de los tableros de madera ésta su densidad, ya que con base en esta se puede determinar en gran medida la aptitud de los tableros para destinarlos a diversas aplicaciones, toda vez que la densidad está íntimamente relacionada con la resistencia mecánica de los tableros (Kollmann, 1968 citado por Sotomayor Castellanos, 2003).

Otras de las propiedades que es importante conocer de un aglomerado, es la uniformidad en su espesor, en su escuadría, la resistencia y rigidez a esfuerzos de flexión estática, la adherencia de las partículas con las que está elaborado, el grado de absorción de humedad e hinchamiento que pueda alcanzar, así como el perfil de densidad que presenta respecto a su espesor. Estas propiedades son determinantes para el aprovechamiento del tablero y su posterior aplicación específica en usos donde algunas de esas propiedades son decisivas para obtener el máximo beneficio desde el punto de vista de rendimiento, durabilidad y economía (Flamand, 1962 citados por Becerra, 1976).

El objetivo general de este proyecto fue caracterizar materiales a base de orujo, determinando propiedades físicas y mecánicas. En este sentido, es importante mencionar que los tableros de partículas presentan un aspecto y condiciones diferentes a los de fibra. Sin embargo, este último al haber sido probado comercialmente, fue usado de patrón para comparar comportamientos.

2. Materiales, Métodos y Resultados

La materia prima para la elaboración de las probetas está conformada por partículas de orujo molido obtenidas del residuo sólido de la industria olivícola proveniente de la fábrica de aceite de oliva de la Universidad Nacional de La Rioja - Argentina. Las mismas fueron realizadas de acuerdo a la metodología propuesta por el Instituto Argentino de Normalización y Certificación [IRAM]. Si bien son muchas las variables que pueden ser estudiadas para determinar o caracterizar un material aglomerado, fue necesario establecer propiedades esenciales como la densidad, contenido de humedad, hinchamiento, resistencia a la flexión, deformación por carga máxima, deformación por flexión y carga máxima de flexión, lo cual permitió elaborar un perfil de comportamiento de las mencionadas probetas en función de los tableros de fibra que fueron usados como patrones de comparación.

Considerando la norma 9703-1 recomendada por IRAM, se muestreó para cada ensayo, según se especifica en la tabla 1, donde m Es el número de probetas necesarias para realizar el ensayo correspondiente a Humedad, Densidad, Resistencia a la Flexión e Hinchamiento por Inmersión.

Tabla 1. Métodos de Ensayos y muestreo usado

Propiedades estudiadas	Método de ensayo	m (IRAM 9703-1)
Contenido de humedad	IRAM 9704	4
Densidad	IRAM 9705	6
Resistencia a la Flexión	IRAM 9706	6
Hinchamiento del espesor por inmersión	IRAM 9720	8

Fuente: Instituto Argentino de Normalización y Certificación

La preparación de las probetas inicia tomando orujo seco, el cual se presenta como un aglutinado de hueso y restos de pulpa del fruto de la aceituna. Seguidamente es pasado por un molino rotatorio, lo que permite desprender el hueso lignocelulósico del componente de la aceituna biodegradable, para ser separados posteriormente de forma mecánica. La presentación del orujo en esta etapa se denomina pelletizado, el cual luce seco y de un tamaño medio de 4 mm de diámetro aproximadamente, posteriormente es cargado en un molino de anillos con el objeto de obtener distintas granulometrías, siendo finalmente seleccionadas por medio de una zaranda vibratoria (Figura 1).

Figura 1. Zaranda Vibratoria

Nota: Equipo de laboratorio usado para la obtención de las distintas granulometrías

Fuente: Elaboración propia.

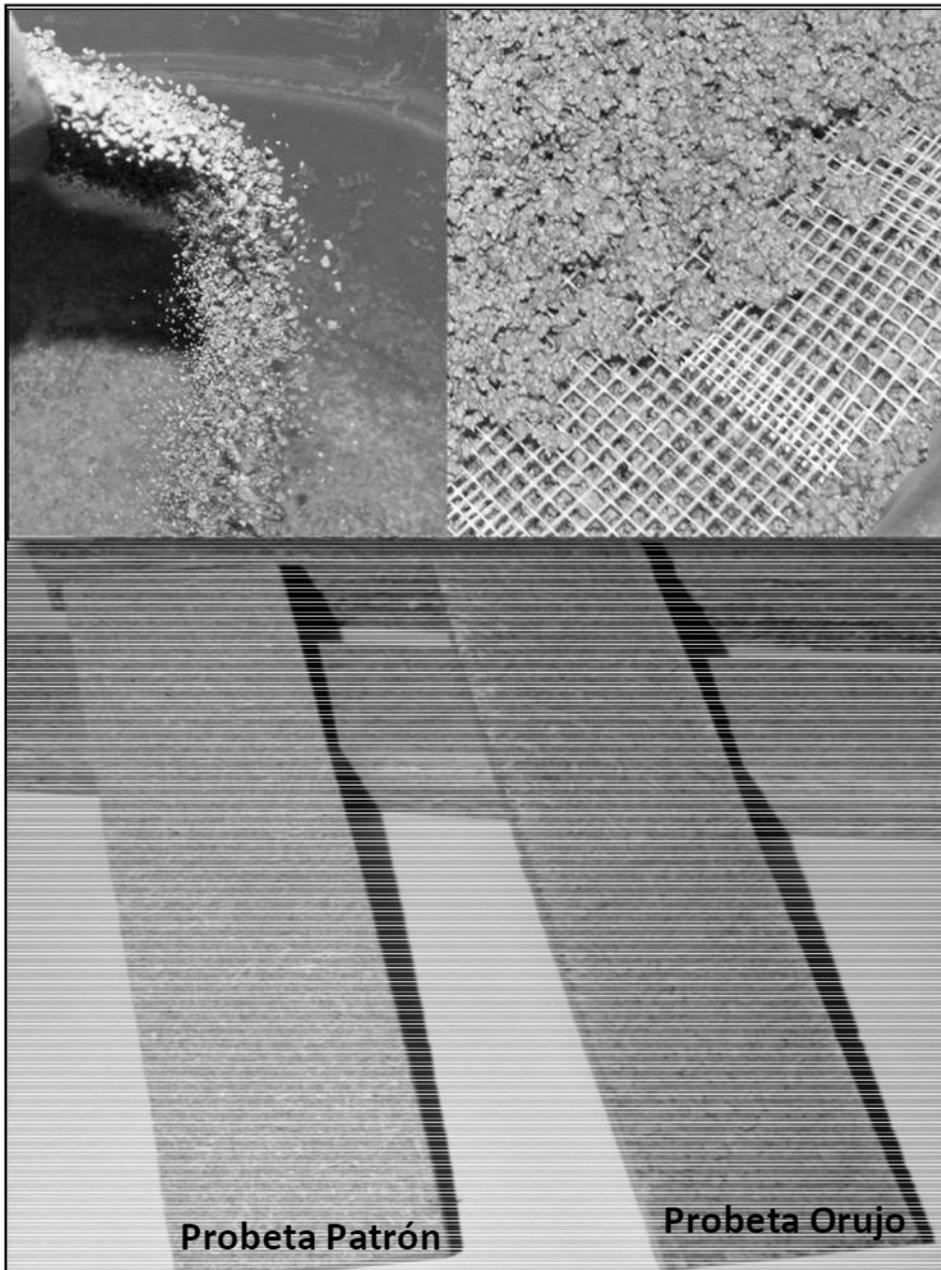


Figura 2. Zaranda Vibratoria

Nota: Etapas de la elaboración de las probetas.

Fuente: Elaboración propia.

El tamizado es la operación básica usada para separar la mezcla de partículas sólidas de diferentes tamaños, la expectativa de usar partículas de diferentes tamaños fue la de poder aumentar la superficie de contacto ya que según su fuerza depende del área de contacto. Se dispuso una mezcla, comenzando con el agregado de adhesivo vinílico para madera en dispersión acuosa y no inflamable que, a su vez, actúa a temperatura ambiente. La adición de agua fue necesaria para disminuir su viscosidad permitiendo impregnar en forma homogénea las superficies de contacto de las partículas. Se usaron moldes de aluminio revestido con una lámina de polietileno de baja densidad como elemento antiadherente. La pasta obtenida con un 43,16% de orujo estándar y 9,21% en iguales proporciones para el mado 12,18, 50 y 70; del mismo modo se agregó el 20% cola vinílico diluido en un 50% de agua. Finalmente, aquel preparado se dispuso en capas intercalando con una banda plástica mada hasta obtener las dimensiones requeridas por la norma (Figura 2).

Después del llenado, las bandejas son llevadas a la prensa hidráulica de accionamiento manual, aplicando fuerzas de al menos 10 tn aproximadamente y a temperatura ambiente, dejando fraguar la mezcla durante cinco (5) días de forma natural. Una vez producido el secado de la placa, esta es cortada para obtener las probetas.

2.1. Ensayo para Determinar la Densidad

La referencia de la densidad de una madera, es fundamental para conocer su calidad debido a que ello determina lo macizo o porosa de una pieza. En la práctica, la mayoría de los materiales que se emplean como aislantes no son sustancias homogéneas o puras. En particular, para el aglomerado fabricado, debe considerarse una conductividad térmica aparente, originada por su falta de homogeneidad debido a su estructura porosa. Esto se debe a la presencia de aire ocluido en la misma, lo que disminuye el valor de esta propiedad y mejora su aptitud para su utilización como material aislante. Por ello, es muy importante determinar la densidad del material. Dicha magnitud se refiere a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen y es aplicada en materiales porosos, los cuales forman cuerpos heterogéneos con rendijas de aire u otra sustancia normalmente más ligera, de forma que la densidad total del cuerpo es menor que la densidad del material poroso si se compactase, por lo que la misma no es una propiedad intrínseca del material sino que depende de su compactación.

La densidad se define entonces como la relación entre la masa expresada en gramos (g), y el volumen en cm^3 , de las partículas de ese material incluidos todos los poros (saturables y no saturables). Para esta medición se usó un calibre para la determinar el espesor, longitud y ancho de la probeta, capaz de apreciar $\pm 0,01$ mm y una balanza para determinar el peso, con una precisión de $\pm 0,01$ g. Se calculó el promedio aritmético de la dimensión de cada una de las probetas teniendo en cuenta que la densidad se determina según la siguiente fórmula (1):

$$\delta = (m / b_1 b_2 t) 10^5 \tag{1}$$

Donde:

δ = Densidad de la probeta, expresada en g/cm³.

m = Peso de la probeta, en gramos.

b₁ = Longitud promedio de la probeta, en cm.

b₂ = Ancho promedio de la probeta, en cm.

e = Espesor promedio de la probeta, en cm.

Se calcula la densidad de la muestra como el promedio aritmético de las densidades de todas las probetas que la componen.

El resultado obtenido se recoge en las tablas 2 y 3.

Tabla 2. Resultados Obtenidos de la Determinación de la Densidad

	b1	b2	e	m	Densidad (g/cm³)
PROBETAS Patrón	51,80	48,20	17,70	28,53	0,462
PROBETAS Orujo	49,38	49,08	19,98	44,34	0,883

Nota. Resultados de Densidad

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Clasificación de los tipos de tablero según FAO

Tableros de madera aglomerada	Densidad (g/cm3)
De baja densidad o aislantes	0.25-0.40
De densidad media	0.40-0.80
De gran densidad o duros	0.80-1.20

Nota. Clasificación según FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) citados por Becerra 1976

Fuente: Elaboración propia.

2.2. Ensayo para Determinar la Humedad

Este ensayo tiene por finalidad determinar la cantidad de agua presente en el tablero, expresada en porcentaje (%). En este caso se uso una balanza para determinar el peso, con una precisión de ± 0,01 g, una estufa dotada de termostato, a fin de garantizar una temperatura de 103 ± 2 °C y una desecadora con capacidad de almacenamiento para las probetas. Se pesó cada probeta con una precisión de 0,01 g para luego colocarlas en una estufa y cada 6 horas medir hasta alcanzar peso constante y dejando enfriar las

probetas en un desecador antes de ser pesadas. Cuando se considera que las probetas han alcanzado una masa constante, o sea que en pesadas sucesivas no difieran en más de 0,05 g, entonces se encuentra en condiciones de realizar los cálculos. Se calcula el contenido de humedad de la muestra como el promedio aritmético de los contenidos de humedad de todas las probetas que lo componen. La humedad de cada probeta se determina según la siguiente fórmula (2):

$$CH = 100(P_1 - P_0)/P_0 \quad (2)$$

Donde:

CH = Contenido de humedad de la probeta, expresado en %.

P₀ = Peso seco al horno de la probeta, expresado en gramos.

P₁ = Peso de la probeta antes de secarla, expresado en gramos.

El resultado obtenido se recoge en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados Obtenidos de la Determinación de la Humedad

	P ₁	P ₀	Humedad en (CH=%)
Probetas Patrón	35,5	32,9	8,02
Probetas Orujo	35,60	32,90	8,21

Nota. Resultados de Humedad

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Ensayo para Determinar el Hinchamiento del Espesor

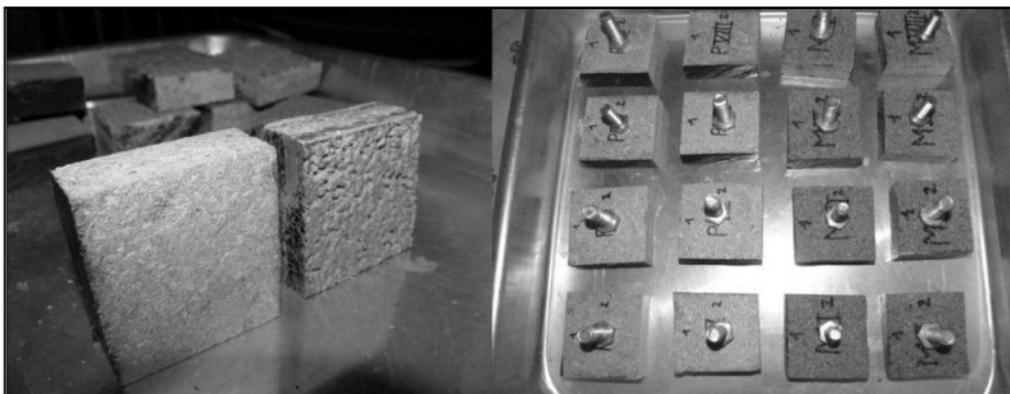
El hinchamiento de los aglomerados depende de las condiciones ambientales, de la influencia de sus componentes y de las condiciones durante la compactación (temperatura, tiempo y presión de prensado). La madera al ser comprimida y confinada a una determinada forma y volumen mediante adhesivos, genera tensiones internas que ofrecen una resistencia a tal deformación. Una vez concluida dicha compresión, éstas pugnarán permanentemente por recuperar su estado original. La capacidad de permanecer en las dimensiones preestablecidas dependerá de la calidad del adhesivo y de la calidad del encolado. El factor que por excelencia puede perturbar este equilibrio es la humedad.

Este ensayo tiene como fin determinar el hinchamiento o hinchazón de las probetas cuando son sumergidas en agua, en este caso, bajo condiciones de inmersión total. Para realizar es medición se usó un calibre para la determinar el espesor, longitud y ancho de la probeta, capaz de apreciar ± 0,01 mm, un baño de agua limpia con un PH (7±1) a (20±1) °C y paños absorbentes.

Se midieron todas las dimensiones de la probeta tomando como dato esencial el espesor. Se sumergen completamente en agua destilada y separadas unas de otras

dejando las mismas durante 24 horas, y en intervalos constantes de la misma duración (Figura 3). En cada intervalo se deja escurrir el exceso de agua y se mide, renovando el agua después de cada medición. Cuando se considera que las probetas han alcanzado una constante en su medición, o sea que en lecturas sucesivas no difieran en más de 0,05 mm, entonces se encuentra en condiciones de realizar los cálculos.

Figura 3. Ensayo de Hinchamiento



Nota. Se muestran la probetas sometidas a hinchamiento en agua destilada
 Fuente: Elaboración propia.

Expresión de los resultados: El hinchamiento de la muestra es la media aritmética de los contenidos de hinchamiento de todas las probetas que lo componen. Se calcula el hinchamiento del espesor de cada probeta G_0 respecto al espesor inicial mediante la siguiente fórmula (3):

$$G_0 = (e_2 - e_1/e_1)100 \tag{3}$$

Donde:

G_0 = Hinchamiento del espesor. Este valor se expresa como porcentaje.

e_1 = Espesor de la probeta antes de la inmersión en mm.

E_2 = Espesor de la probeta después de la inmersión en mm.

Tabla 5
Resultados obtenidos de la determinación del Hinchamiento

Probetas Patrón	Probetas Orujo
16,70%	4,54%

Nota. Resultados de Hinchamiento

2.4. Ensayo para Determinar la Resistencia a la Flexión

Se determina la resistencia a la flexión y algunos de sus componentes aplicando una carga en el centro de la probeta que se encuentra apoyada en dos puntos. El equipo está provisto de un sistema de medición adecuado y capaz de medir la carga aplicada en las probetas con una precisión del 1% del valor medio. El ensayo se realizó en el laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Nacional de La Rioja que cuenta con una maquina de ensayo universal para tracción, compresión y flexión INSTRON-Modelo: 3369 (USA) y con una capacidad de 5 tn, además presenta un sistema digital de accionamiento del cabezal con control de velocidad totalmente variable y reconocimiento y calibrado automático de los transductores.

El rango de velocidades de prueba oscilaron entre 0,0005 a 500 mm/min y con profundidad de abertura de 420 mm. La exactitud de la medición de carga cumple o supera las normas ASTM E 4, BS 1610, DIN 51221, ISO 7500/1, EN 10002-2, JIS B7721, JIS B773 y AFNOR A03-501. La exactitud de medición de la deformación cumple o supera las normas ASTM E 83, BS 3846, ISO 9513 y EN 10002-4. También posee electrónica integrada digital de control de bucle cerrado y de adquisición de datos, adaptadores de base con accesorio hembra tipo O (conexión de 12 mm con chaveta de horquilla de 6 mm de diámetro) y accesorio hembra tipo D (conexión de 1,25 " con chaveta de horquilla de 0,5").

Las muestras se ajustaron a la Norma IRAM según se establece en tabla 1, con los bordes y cantos rectos. El equipo fue capaz de aplicar la carga necesaria a la velocidad especificada, dispositivos de apoyo para las probetas y dispositivo para la aplicación de carga que permita apreciar la deformación producida en la probeta a medida que se aplica la carga. Se midió el espesor y el ancho efectivo de cada probeta. Se coloca la probeta exactamente centrada en el dispositivo de ensayo, permitiendo aplicar la carga de una manera suave y constante a una velocidad igual a 4 mm/min y se registra el valor de la deformación a cada kilo de carga que se aplica hasta que se produce la fractura de la probeta.

El equipo de medición cuenta con un software para ensayo de materiales Series IX, para sistemas de la serie 3300 con adquisición de datos y análisis automáticos pudiendo personalizar los métodos y cálculos de pruebas. Una vez ejecutada una prueba, el Serie IX calcula los resultados de la prueba y genera un informe. La norma IRAM 9706 establece el cálculo de la Resistencia a la Flexión y Modulo de ruptura mediante las siguientes fórmulas (4 y 5):

$$f_m = (3F_{max} - l_1/2bt^2) \quad (4)$$

Donde:

f_m = Resistencia a la flexión

F_{max} = Carga máxima

l_1 = La distancia entre los ejes de los apoyos

b = El ancho de la probeta

t= El espesor de la probeta

$$M_r = (3P_{rup}l_1/2bt^2) \quad (5)$$

Donde:

M_r = Modulo de Ruptura

P_{rup} = Carga a la ruptura de la probeta

l_1 = La distancia entre los ejes de los apoyos

b = El ancho de la probeta

t = El espesor de la probeta

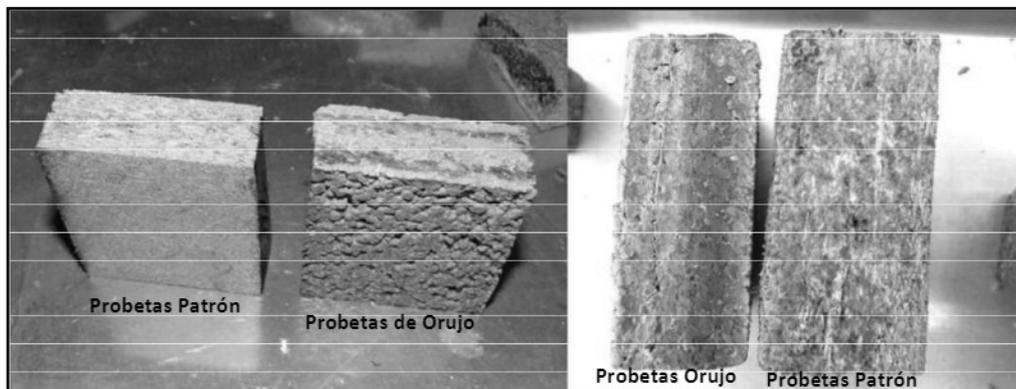


Figura 4. Probetas Patrón y de Orujo- desarrollo de hongos producto de la humedad

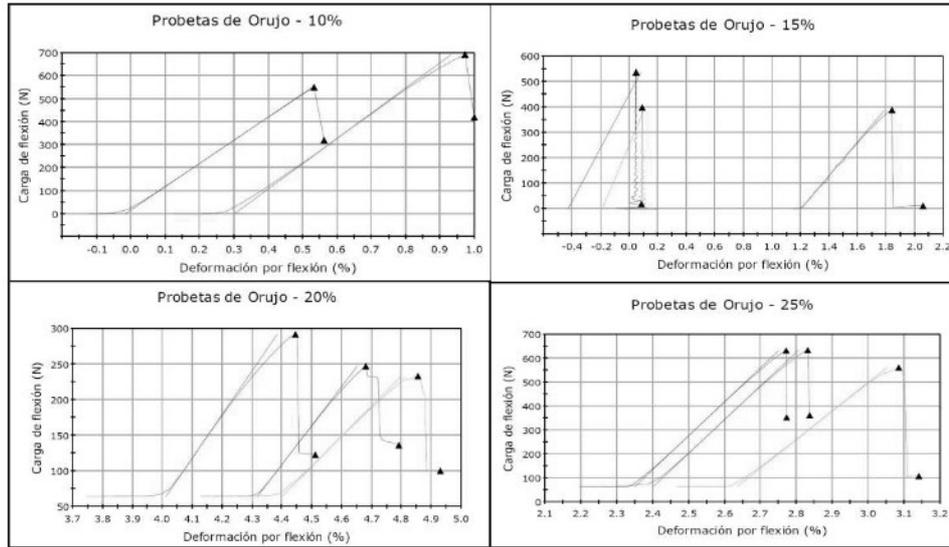
Nota. Después del proceso de hinchamiento se realizó un seguimiento para identificar la evolución de los efectos de la humedad en las probetas.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 5 muestra los ensayos que se hicieron únicamente con orujo, al 10, 15, 20 y 25% de aglutinante con el objetivo de lograr una dosificación adecuada. Sin embargo, los resultados de la deformación por carga máxima, la deformación por flexión a la rotura y la carga máxima de flexión se muestran desfavorables en las probetas a base de orujo.

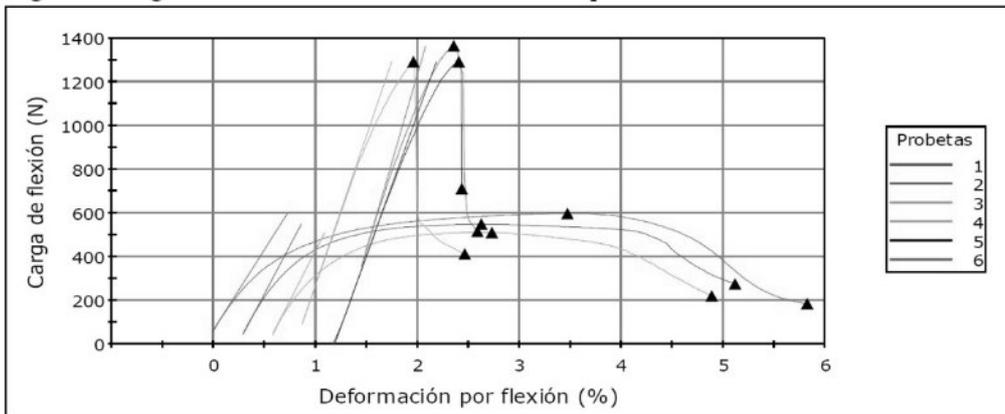
Es por ello que se opta por dosificar en un 20% de aglutinante, que es el que presenta mejores resultados sobre la deformación por flexión (%) e incorporando como alma de la probeta una banda plástica mallada (usadas para unir placas de yeso) figura 2; estas últimas muestras arrojaron los resultados expuestos en la figura 6.

Figura 5. Flexión a distintos porcentajes de Aglutinante



Nota. Ensayos al 10%, 15%, 20% y 25% de aglutinante para determinar la dosificación adecuada
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Carga Máxima de Flexión vs. Deformación por Flexión

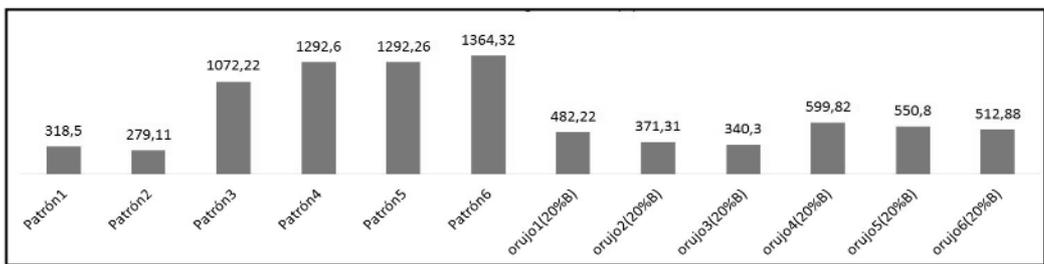


Nota. Resultados de Carga Máxima de Flexión vs. Deformación por Flexión Aglomerado de Orujo (Probeta 1,2 y 3) y Comercial ó Patrón (Probeta 4,5 y6)
Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión y Conclusiones

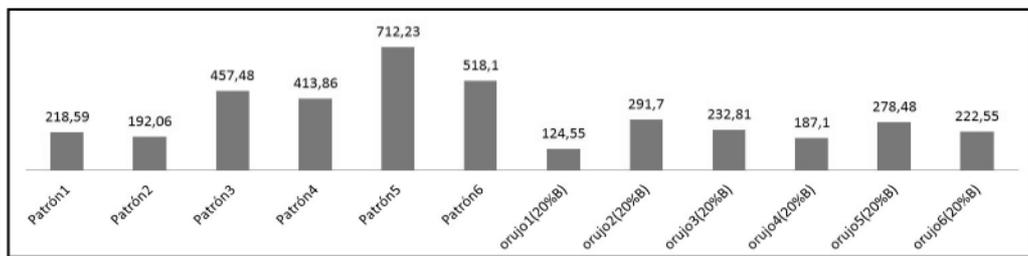
El proceso de fabricación aplicado permitió obtener un tablero aglomerado a partir del orujo producto de la industria aceitera mediante un equipo de tecnología básica, no obstante, ha presentado un buen comportamiento ante procesos de corte y pulido por herramientas mecánicas/eléctricas, adicionalmente muestra buena apariencia estética y luce como un cuerpo con integridad estructural.

Figura 7. Máxima Carga de Flexión



Nota. Datos obtenidos mediante la maquina de ensayo universal para tracción, compresión y flexión INSTRON-Modelo: 3369 (USA)
 Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Carga de Flexión a la Rotura



Nota. Datos obtenidos mediante la maquina de ensayo universal para tracción, compresión y flexión INSTRON-Modelo: 3369 (USA)
 Fuente: Elaboración propia.

Los diferentes ensayos arrojaron una serie de datos que permitieron marcar un perfil sobre las características del aglomerado de orujo. En cuanto a su densidad se encuentra que, el mismo, puede ser considerado como un aglomerado de alta densidad. Ésta determinación se encuentra asociada a que, a mayor densidad, mayor calidad, debido a que aquellos aglomerados que presentan menor densidad son más susceptibles de sufrir los rigores de la humedad, hinchándose y variando de volumen, mientras que al ser menos porosos, resisten mejor la presencia del agua. No obstante,

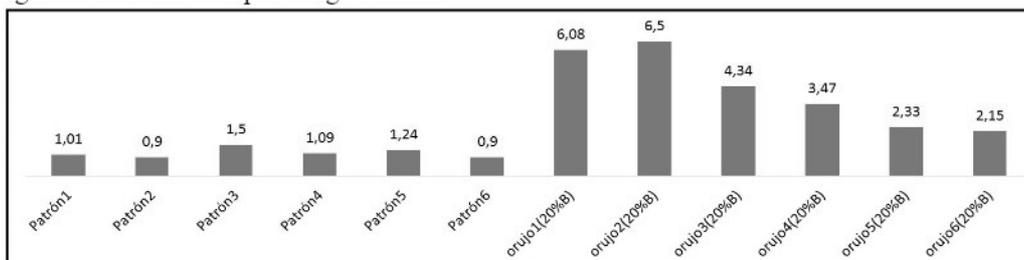
no significa que los tableros de menor densidad no sean de gran utilidad, están comprobadas sus amplias aplicaciones como aislantes térmicos y sonoros, entre otras.

En cuanto al ensayo de humedad el aglomerado de Orujo presenta una pérdida de porcentaje de humedad igual 8,21 % y según Deppe y Erns, (1966) citados por Contreras, (2005), el contenido de humedad de los tableros que respondan a valores del $8\% \pm 2\%$ indica un buen índice del adecuado fraguado de la cola, así como de una óptima evaporación de la humedad del tablero en su proceso de fabricación (Tabla 4).

Las probetas de orujo que fueron sometidas a hinchamiento presentaron un porcentaje de 4,37 % respecto a un 16,70 % de las probetas comerciales, indicando esto, la gran resistencia que presenta el aglomerado de orujo a la influencia del agua (Tabla 5). Cabe mencionar que las probetas, una vez concluido el experimento, fueron aisladas para observar su comportamiento posterior y en un plazo de cuarenta y cinco días los patrones comerciales habían desarrollado mohos en casi toda su superficie, mientras que las probetas de orujo se presentaron ajenas a este ataque (Figura 4).

En cuanto a los ensayos de comportamiento mecánico realizados en el laboratorio, se observó que la máxima carga de flexión (Figura 7) y la carga de Flexión a la Rotura (Figura 8) son mucho menor en las probetas de orujo en comparación a los patrones, estos últimos presentan un mejor comportamiento al ser sometidos al ensayo. Como se mencionó anteriormente la carga máxima a la flexión es el factor más desfavorable de los tableros de orujo, sin embargo, su deformación por carga máxima (Figura 9) y su deformación por flexión a la rotura (Figura 10) son mayores, lo que implica que este nuevo material admite una mayor deformación que los tableros comerciales. La curva representada en la figura 6, demuestra que Carga Máxima de Flexión que presentan las probetas patrones antes de la rotura es menor con respecto a las de orujo, indicándonos fragilidad en las probetas comerciales.

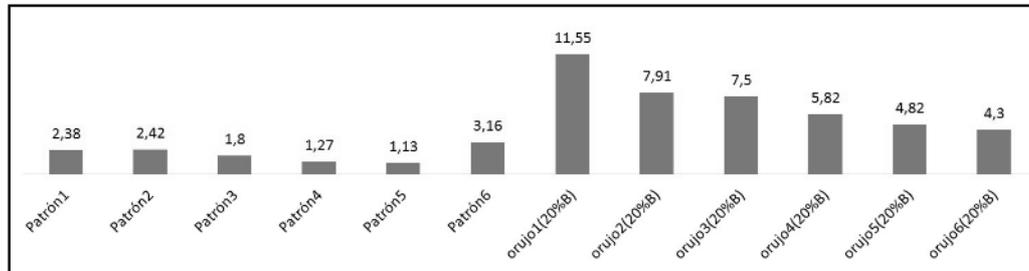
Figura 9. Deformación por Carga Máxima



Nota. Datos obtenidos mediante la maquina de ensayo universal para tracción, compresión y flexión INSTRON-Modelo: 3369 (USA)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Deformación por Flexión a la Rotura



Nota. Datos obtenidos mediante la maquina de ensayo universal para tracción, compresión y flexión INSTRON-Modelo: 3369 (USA)

Fuente: Elaboración propia.

Se puede inferir que los tableros de orujo presentan un comportamiento ideal como revestimiento de paredes para ocultar zonas dañadas por la humedad, salitre y hongos. Se puede obtener un buen acabado una vez enduido y pintado, manteniendo de esta manera la estética de la pared, cumpliendo una función similar a los paneles de yeso, pero deduciendo mejores propiedades por su flexibilidad para el manipuleo en obras.

Si bien este tablero aglomerado de partículas a base de orujo puede llegar a ser empleado como paneles para interiores se considera necesario realizar ensayos, tales como arranque de clavos y tornillos, comportamiento en ambientes salinos, propagación térmica, resistencia al impacto, comportamiento ante el fuego, aislante acústica y reacción ante agentes biológicos y químicos, como así también, el uso de aglutinantes alternativos como los adhesivos de termofusión ó adhesivos a partir de concentrado de proteína de soja (Jianping y Chanchan, 2012) con aplicación en aglomerados de orujo y así obtener aglomerados ambientalmente sostenibles.

5. Bibliografía

- Balaz, P. (2008). *Mechanochemistry in Nanoscience and Minerals Engineering*. ISBN: 978-3-540-74854-0 (2008). Springer- Velag Berlin Heidelberg. <https://books.google.com.ar/books?id=FldqbSffUMgC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.
- Becerra Martínez J. 1976 Algunas Características Físicas y Mecánicas de Tableros de Partículas Producidos en México y sus probables usos en la Construcción- Ciencia Forestal. (1) 2. pp 33-40. <http://revistas.inifap.gob.mx/index.php/Forestales/article/view/859/857>.
- Bohnet M. (2003). *Mechanische Verfahrenstechnik*. WILEY - VCH Verlag GmbH. 10.1002/9783527663569.
- Cunningham, J.C.; Sinka, I.C. y Zavaliangos, A., (2004) *Analysis of Tablet Compaction. I. Characterization of Mechanical Behaviour of Powder and Powder/Tooling Friction*.

- Journal of Pharmaceutical Sciences, 93 (8), 2022-2039. https://www.academia.edu/47526786/Analysis_of_tablet_compaction_I_Characterization_of_mechanical_behavior_of_powder_and_powder_tooling_friction.
- Contreras, W.; Owen, M.E.; Garay D. y Contreras Y.M. (2006). Diseño de Tableros Aglomerados de Partículas de Caña Brava (*Gynerium sagittatum*) y Adhesivo Fenol-Formaldehído. *Revista Forestal Lat.* 43(2), pp 39- 55 <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/24136/articulo3.pdf?sequence=2>
- Jian ping W. y Chanchan W. (2012). Adhesives derived from agricultural proteins. <https://patents.google.com/patent/CA2839344A1/en>.
- Fiplasto (2019). Introducción a La Fabricación Mundial de Tableros Basados en la Madera. http://www.fiplasto.com.ar/ingles/Mercado_Tableros.doc.
- Fono-Tamo, R.S.; Idowu, O.O. y Koya F.O. (2014). Development of Pulverized Palm Kernel Shells Based Particleboard *International Journal of Material and Mechanical Engineering IJMME* (3) 3, August 2014 DOI: 10.14355/ijmme.2014.0303.01. <http://www.ijmme.org/paperInfo.aspx?ID=15255>.
- García Triñanes P. (2010). Avances en Aglomeración y Compactación de Partículas [Tesis]. https://dspace.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/2822/9788498874266_content.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gabbott I. (2007) University of Sheffield, Department of Chemical & Process Engineerin. <http://etheses.whiterose.ac.uk/3605/1/440953.pdf>.
- Guru, M.; Tekeli y S. and Bilici, I. (2006). Manufacturing of urea formaldehyde based composite particleboard from almond shell. *Materials and Design* 27: 1148-1151. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306905000774>.
- Heckel, R.W. (1961) Analysis of powder compaction phenomena. *Trans. Metall Soc. AIME* 221, 1001–1008.
- Instituto Nacional de Estadística y Censo (2018). Censo Nacional Agropecuario <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-8-87>.
- Khoei, A. R.; Keshavarz, Sh. y Khaloo A.L. (2008). Modeling of large deformation frictional contact in powder compaction processes. *Applied Mathematical Modelling*. 32, 775–801. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X07000534>.
- Lazić Z.R. (2004) *Design of Experiments in Chemical Engineering. A practical Guide*. Wiley - VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. DOI 10.1002/3527604162.
- Matsumoto R.L.K. (1986) Generation of powder compaction response diagrams. *Journal of the American Ceramic Society*. 69, 246-247.
- Michrafy, A.; Dodds, J.A. y Kadiri M.S. (2004) Wall friction in the compaction of pharmaceutical powders: measurement and effect on the density distribution. *Powder Technology*. 148, 53– 55.
- Michrafy, A.; Ringenbacher, D. y Tchoreloff, P. (2002) Modelling the compaction behaviour of powders: application to pharmaceutical powders. *Powder Technology*. 127, 257-266.
- Mort P. (2005). Scale-up of binder agglomeration processes. *Powder Technology*. 150, 86-103. <https://www.sciencedirect.com/journal/powder-technology/vol/150/issue/2>.
- Perry, R.H. y Green D.W. (2008). *Perry's Chemical Engineers Handbook*. 8th Ed. Mc Graw Hill.

- Programa de Fortalecimiento Institucional Productivo y de Gestión Fiscal Provincial. (2009). Estudio de Mercado del Sector Olivícola http://www.isportal.com.ar/imagenes/ESTUDIO_DE_MERCADO_-_SECTOR_OLIVICOLA.pdf.
- Rocha, Almeida R.; Del Menezzi, C.H.S. y Teixeira D.E. (2002). Utilization of the coconut shell of babaçu (*Orbignya* sp.) to produce cement-bonded particleboard. *Bioresource Technology*, 85: 159-163. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852402000822=663763442&_sort=r&_st=13&view=c&md5=c592a644750848964d6dfa0cec3a27e4&searchtype=a.
- Sampathrajan, A.; Vijayaraghavan, N.C. y Swaminathan, K.R. (1992). Mechanical and thermal properties of particleboards made from farm residues. *Bioresource Technology* 40: 249-251. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/096085249290151M>.
- Sotomayor Castellanos J.R (2003). Caracterización Mecánica de Madera Reconstituida Maderas. *Maderas. Ciencia y tecnología*. 5(1): 20-43. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2003000100002> .

