

Proyecto final de carrera – UNMDP-Ingeniería en
Materiales-Departamento de Ingeniería en Materiales

Tableros de cáscara de arroz basados en adhesivos biogénicos y tableros de bagazo de cerveza autoadheridos

Autora: Lucía Wechsler

Mail: luciawec@gmail.com

Director: Dr. Pablo Stefani

Co-director: Dr. Emiliano Ciannamea

Proyecto final para optar al grado de Ingeniero en Materiales

Mar del Plata, Junio 2024





RINFI es desarrollado por la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Proyecto final de carrera – UNMDP-Ingeniería en
Materiales-Departamento de Ingeniería en Materiales

Tableros de cáscara de arroz basados en adhesivos biogénicos y tableros de bagazo de cerveza autoadheridos

Autora: Lucía Wechsler

Mail: luciawec@gmail.com

Director: Dr. Pablo Stefani

Co-director: Dr. Emiliano Ciannamea

Proyecto final para optar al grado de Ingeniero en Materiales

Mar del Plata, Junio 2024



Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que me han acompañado en este proceso, en especial a mis padres, a mi hermana, a mi familia, amigos y a mi compañero, por su apoyo incondicional.

A los directores de mi tesis, Dr. Pablo Stefani y Dr. Emiliano Cianname, por su orientación y dedicación.

A la Dra. Lucía Rossi y Dra. Érica Nicolao, por su amistad y colaboración en el trabajo.

A los técnicos de INTEMA, Fabricio Pietrani y Andrés Torres, por su asistencia en los ensayos mecánico.

A la Universidad pública por la oportunidad.

Gracias a todos por su contribución a este logro.

Índice SEC

Listado de figuras y tablas.....	1
Resumen.....	3
Capítulo 1. Introducción y objetivos.....	5
1.1. Estado de arte y motivación del trabajo.....	6
1.2. Proceso de fabricación de aglomerados de tableros aglomerados.....	8
1.3. Características de la cáscara de arroz y del bagazo de cerveza.....	9
1.4. Adhesivos sintéticos y naturales.....	11
1.4.1 Adhesivo basado en ácido cítrico y sacarosa.....	14
1.5. Autoadhesión en el conformado de tableros de aglomerado.....	15
1.6 Objetivos.....	16
Capítulo 2. Experimental Cáscara de arroz y Bagazo.....	18
2.1. Listado de materiales y procedencia.....	19
2.2. Preparación de tableros de cáscara de arroz.....	20
2.2.1. Acondicionamiento de la cáscara de arroz.....	20
2.2.2. Preparación de adhesivos.....	20
2.2.3. Preparación del aglomerado: etapas del conformado.....	20
2.3. Preparación de tableros de bagazo cervecero.....	22
2.3.1. Acondicionamiento del bagazo cervecero.....	22
2.3.2. Preparación de tableros sin adhesivo basados en BSG.....	22
2.3.3. Preparación de aglomerados BSG con adhesivo fenólico.....	22
2.4. Evaluación de los aglomerados.....	24
2.4.1. Flexión en tres puntos.....	24
2.4.2. Resistencia interna.....	26
2.5. Propiedades físicas.....	26
2.5.1. Densidad y contenido de humedad.....	26
2.5.2. Hinchamiento y absorción de agua.....	26
2.6. ANOVA.....	28
2.7. Otras Técnicas de caracterización utilizadas.....	28
2.7.1. Análisis termogravimétrico.....	28
2.7.2. Microscopía de barrido.....	29

2.7.3. Contenido de sólidos del adhesivo fenólico.....	29
Capítulo 3. Resultados y discusión.....	30
3.1. Caracterización de la cáscara de arroz.....	31
3.2. Caracterización del bagazo de cerveza.....	34
3.3. Resultados y discusión de los tableros de CA.....	38
3.3.1 Espesor, densidad y humedad de CA.....	39
3.3.2. Resultados ensayos mecánicos.....	42
3.3.3 Propiedades físicas de los tableros de CA.....	44
3.4. Resultados y discusión de los tableros de BSG.....	44
3.4.1. Resultados de ensayos para la formulación de tableros BSG.....	45
3.4.2. Espesor y densidad y humedad del BSG.....	45
3.4.3. Resultados ensayos mecánicos de los tableros BSG.....	45
3.4.4. Propiedades físicas tableros BSG.....	48
3.5 Conclusiones parciales del Capítulo 3.....	51
Capítulo 4: Proyecto de inversión para una futura aplicación.....	52
4.1. Resumen	53
4.2. Estudio de mercado: Contexto actual.....	54
4.3. Plan de negocios.....	54
4.3.1. Proceso productivo de tableros de bagazo y requerimientos.....	54
4.4. Inversión económica.....	56
4.4.1. Estimación de la inversión.....	56
4.4.2.1. Costos de operación.....	59
4.5. Rentabilidad.....	61
4.6. Conclusiones parciales del Capítulo 4.....	62
Capítulo 5. Conclusiones.....	63
5.1. Conclusiones finales.....	64
5.2. Trabajo futuro.....	64
5.3. Trabajos publicados y presentaciones a congresos realizados.....	64
Referencias.....	66

Listado de figuras y tablas

Fig.1.1 Distribución mundial de la producción de tableros de partículas

Fig.1.2 Proceso de fabricación de tableros de partículas

Fig. 1.3 Representación esquemática del grano de cebada

Fig. 1.4 Clasificación de adhesivos

Fig. 2.1 Producción de aglomerados basados en CA y adhesivo cítrico-sacarosa

Fig.2.2 Producción de tableros aglomerados basados en bagazo cervecero (BSG)

Fig.2.3 Producción de aglomerados de BSG con resina fenólica

Fig.2.4 Ensayo de flexión en tres puntos para probetas de CA y BSG

Fig.2.5 Ensayo de adhesión interna para probetas de CA y BSG

Fig.2.6 Ensayo de hinchamiento y absorción de agua para probetas CA y BSG

Fig.3.1 Micrografías de CA obtenida por FESEM

Fig.3.2 TGA y DTGA de la cáscara de arroz en Aire

Fig.3.3 TGA y DTGA de la cáscara de arroz en Nitrógeno

Fig.3.4 Micrografía de BSG obtenida por FESEM

Fig.3.5 TGA y DTGA para BSG en Aire

Fig.3.6 TGA y DTGA para BSG en Nitrógeno

Fig.3.7 Ensayo de flexión en tres puntos para CA con relación AC/S

Fig.3.8 Ensayo de adhesión interna para tablero de CA con relación AC/S

Fig.3.9 Perfil de rotura ensayo IB

Fig.3.10 Ensayo flexión en tres puntos para BSG fenólico y *Binderless*

Fig.3.11 Ensayo de adhesión interna para BSG fenólico y *Binderless*

Fig.3.12 Superficie transversal del tablero *Binderless*

Fig.3.13 Micrografías FESEM de la superficie del tablero de control

Fig.4.1 Porta vasos

Fig.4.2 Esquema proceso productivo propuesto

Fig. 4.3 *Layout* planta de cerveza donde se le incorpora la fabricación de porta vasos

Fig. 4.4 Flujo acumulado

Tabla 2.1 Cantidades de ácido cítrico, sacarosa y agua destilada utilizada para el adhesivo

Tabla 3.1 Composición promedio CA

Tabla 3.2 Valores TGA de la CA

Tabla 3.3 Composición química del BSG

Tabla 3.4 Valores TGA del BSG Pilsen

Tabla 3.5 Composición química del BSG Pilsen

Tabla 3.6 Espesor y densidad de placas de CA y AC/S

Tabla 3.7 Norma ANSI A208.1

Tabla 3.8 Propiedades mecánicas de los tableros basados en cáscara de arroz y valores definidos por Norma (ANSI 208.1)

Tabla 3.9 Ensayos de inmersión de tableros de CA

Tableros 3.10 Condiciones de los ensayos para la conformación de tableros

Tableros 3.11 Espesores y densidad de los tableros BSG

Tableros 3.12 Resultados y evaluación comparativa de propiedades mecánicas de tableros BSG

Tabla 3.13 Ensayos de inmersión de tableros de BSG y comparativa

Tabla 4.1 Costos de equipos

Tabla 4.2 Calculo de la inversión fija

Tabla 4.3 Costos variables

Tabla 4.4 Costos fijos de la inversión

Tabla 4.5 Flujo de caja

Resumen

Los tableros aglomerados son paneles fabricados a partir de partículas discretas de madera, generalmente aglomeradas con resinas sintéticas que contienen formaldehído, un compuesto orgánico volátil irritante y potencialmente carcinogénico, que se libera tanto durante el proceso de producción como en servicio. Estos paneles son utilizados por diversas industrias y en numerosas aplicaciones y su consumo crece continuamente. En respuesta a la demanda creciente de recursos forestales y a las nuevas reglamentaciones internacionales en materia ambiental, la industria de aglomerados comenzó la búsqueda de materiales alternativos para restringir o disminuir el uso de madera nativa o forestada y, simultáneamente, limitar la liberación de compuestos volátiles tóxicos. En este contexto el presente trabajo propone obtener aglomerados ambientalmente amigables a partir de residuos lignocelulósicos de la agroindustria. Como sustituto de la madera se utilizó cáscara de arroz (CA) y bagazo proveniente de la industria cervecera local (BSG). La CA se combinó con adhesivos biogénicos basados en ácido cítrico (AC) – sacarosa (S) para obtener aglomerados de media densidad, mientras que el BSG se evaluó con un adhesivo fenólico como control y sin adhesivos para así desarrollar tableros de alta densidad por autoadhesión (*binderless*).

Esta investigación se presenta a través de cuatro capítulos. El **Capítulo 1** incluye una revisión del estado actual del tema. En este capítulo se describió el proceso de fabricación industrial de los aglomerados y la situación actual del mercado. Se describieron sus problemáticas y limitaciones y se presentaron potenciales alternativas a la madera, detallando en particular las características principales de la CA y el BSG. Se realizó una revisión general sobre adhesivos biobasados y su estado del arte, detallando aquellos basados en AC y S y los tableros *binderless*. Por último, se plantearon los objetivos generales y específicos.

En el **Capítulo 2** se describieron los métodos y técnicas experimentales para la obtención de tableros de aglomerados. En el **Capítulo 3** se describieron y caracterizaron las microestructuras, composiciones y estabilidad térmica de los sustratos lignocelulósicos de partida (CA y BSG). En una primera parte, se estudiaron las propiedades físicas (densidad, humedad en equilibrio y absorción de humedad) y mecánicas (ensayos de flexión a tres puntos y de resistencia interna) de aglomerados basados en CA con adhesivos basados AC y S, modificando la relación entre componentes (AC/S 50:50 y 75:25). Todos los resultados se compararon con los valores establecidos por la norma ANSI A208.1 y sistemas similares publicados en bibliografía. En general, no se observaron diferencias significativas entre los

resultados de los tableros obtenidos para ambas formulaciones. Los aglomerados obtenidos resultaron de densidad media de acuerdo a la norma, aunque esta propiedad fue menor a la esperada, ya que presentaron recuperación elástica luego del prensado. Estos aglomerados no alcanzaron los estándares de propiedades mecánicas e hinchamiento establecidos por la normativa.

En una segunda etapa, en el **Capítulo 3**, se estudiaron aglomerados por autoadhesión del BSG. Se establecieron las variables óptimas procesamiento, incluyendo humedad inicial de mezcla, temperatura, presión y tiempo de prensado. También se obtuvieron tableros utilizando un adhesivo fenólico comercial como control. Los aglomerados *binderless* obtenidos resultaron de alta densidad, con propiedades comparables a otros sistemas similares informados en bibliografía, pero menores a los tableros control. Los tableros *binderless* de BSG se desintegraron completamente después de 24 h de inmersión en agua. Por el contrario, el tablero de control mostró valores bajos de hinchamiento y absorción. Mediante FESEM se observaron deficiencias en el contacto entre las partículas en el aglomerado *binderless*, en concordancia con los pobres resultados de absorción y resistencia mecánica, mientras que el tablero control mostró una estructura más compacta y un contacto efectivo entre las partículas.

En el **Capítulo 4** se propuso un proyecto de inversión económica para estimar la rentabilidad de una planta industrial de tableros de aglomerados de BSG para ser utilizados como porta vasos, buscando generar prácticas más amigables con el medio ambiente siguiendo los preceptos de la economía circular en cuanto a la reutilización de los residuos. El emprendimiento se planteó dentro de una fábrica de cerveza ubicada en la ciudad de Mar del Plata. Se estimó una tasa interna de retorno del 15 % y un tiempo de repago bajo, por lo que se consideró el proyecto rentable.

Por último, en el **Capítulo 5** se detallan las conclusiones generales del trabajo y se describen algunas líneas y posibilidades para futuros trabajos. El presente trabajo permitió obtener tableros aglomerados de partículas libres de compuestos volátiles tóxicos. A pesar de sus limitaciones, ambos sustratos analizados son buenos candidatos como sustitutos de la madera. La cáscara de arroz no alcanzó los estándares mecánicos ni de resistencia al agua con los adhesivos AC-S, pero podría ser viable con otros adhesivos biogénicos como los derivados de la soja. Los tableros de BSG tampoco alcanzaron los estándares pero podrían usarse en paneles decorativos interiores o protegidos donde la rigidez no es crítica.

Capítulo 1:

Introducción y objetivos

1.1 Estado del arte y motivación del trabajo de tesis

Los tableros aglomerados son paneles fabricados a partir de partículas lignocelulósicas discretas aglomeradas con resinas sintéticas, o cualquier sustancia aglutinante, con el fin de unirlos de manera eficiente a través de la aplicación de presión y temperatura (ANSI A208.1). Estos paneles son utilizados en la industria del mueble, y en la industria de la construcción como paneles de cerramiento, paneles acústicos y cielorrasos, entre otras aplicaciones (Chalapud y col., 2020; Ciannamea y col., 2017; Nemli y col., 2005; Haygreen y col., 1996).

En la actualidad, la producción anual mundial de tableros aglomerados alcanzó los 105 millones de metros cúbicos (FAO, 2022) y se encuentra en continuo crecimiento, siendo Europa y Asia las regiones de mayor consumo y producción (Ver Fig. 1.1.).

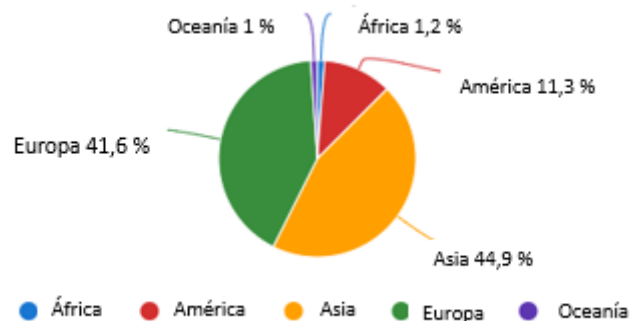


Fig.1.1 Distribución mundial de la producción de tableros de partículas de madera (FAO, 2022)

En respuesta a la demanda creciente de recursos forestales, la industria de los tableros de partículas comenzó la búsqueda de materiales alternativos para restringir o disminuir el uso de madera nativa o forestada y, simultáneamente, limitar la liberación de compuestos volátiles tóxicos. Una opción ecológica y económicamente atractiva como sustituto de la madera es el uso de subproductos o residuos de la agroindustria. Estos materiales se encuentran disponibles a un bajo costo, no dañan el medio ambiente, son reciclables y biodegradables, y pueden ser reutilizados para generar productos de mayor valor agregado. La paja de trigo, cáscara de arroz, bagazo de cerveza, cáscara de coco, etc., han sido evaluados para la producción de tableros aglomerados (Barbu y col., 2021; Rao Fu y col., 2023; Najahi y col., 2023; Bekhata y col., 2023; Olupot y col., 2022; Guler y col., 2008; Batalla y col., 2005; Khedari y col., 2004; Bledzki y col., 1999; Gerardi y col., 1998; Ajiwe y col., 1998). Actualmente se pueden encontrar tableros conformados por varios de estos materiales bajo distintos nombres comerciales como *WheatBoard*, basados en paja de trigo fabricado por Cara Green (Cara Green, s.f, 2024) o *Ecopanel System*, basado en paja de trigo, arroz y bambú (Ecopanel system Ltd. s.f, 2024).

Sin embargo, a pesar de que los tableros de partículas ofrecen versatilidad, asequibilidad y facilidad de fabricación a partir de diferentes fuentes lignocelulósicas, han surgido inconvenientes respecto a los posibles riesgos para la salud asociados con el uso de adhesivos sintéticos (Ghani y col., 2018). Los adhesivos ureicos, que son los más utilizados en la producción de tableros, liberan formaldehído, un conocido carcinógeno e irritante respiratorio (Oktay y col., 2021; Hubbe y col., 2018; Ghani y col., 2018). A pesar de los esfuerzos para mitigar las emisiones mediante regulaciones estrictas y el desarrollo de adhesivos que incluyen en su formulación secuestrantes del formaldehído (Ghani y col., 2018), los efectos para la salud persisten, planteando desafíos significativos tanto para los fabricantes como para los consumidores (Chalapud y col., 2023; Frihart y col., 2010). Esto último ha actuado como una fuerza impulsora hacia el diseño de formulaciones de adhesivos más benignas a partir de recursos bioderivados como carbohidratos (Dunky y col., 2020), proteínas (Urstöger y col., 2023; Chalapud y col., 2023; Nicolao y col., 2020; Larregle y col., 2021; Nordqvist y col., 2013; Frihart y col., 2010) biofenoles (Caillol y col., 2018), taninos (Arias y col., 2022) y ligninas (Feng y col., 2021; Ferreira y col., 2019).

Los tableros aglomerados también pueden fabricarse sin adhesivos al someter a las partículas lignocelulósicas a condiciones específicas de humedad, calor y presión (Tajuddin y col., 2016; Zhang y col., 2015). Los compuestos químicos presentes en los materiales lignocelulósicos (hemicelulosas, lignina, proteínas, etc.) experimentan transformaciones químicas durante la termocompresión en presencia de agua, un proceso previamente detallado en varios estudios (Nasir y col., 2019; Zhang y col., 2015; Okuda y col., 2006; Bouajila y col., 2005). El prensado en caliente induce diversas reacciones, incluyendo deshidratación, hidrólisis y oxidación, afectando principalmente a las hemicelulosas debido a su menor estabilidad térmica. Estas reacciones inducen a la formación de nuevos enlaces que actúan como adhesivos entre las partículas (Mahieu y col., 2021; Nasir y col., 2019; Zhang y col., 2015; Bouajila y col., 2005). Numerosos estudios han informado sobre la viabilidad de producir tableros sin adhesivos a partir de fuentes vegetales no convencionales como el bagazo de caña de azúcar (Nadhari y col., 2020), la palma (Boon y col., 2019), el kenaf (Okuda y col., 2006), la fibra de lino (Arévalo y col., 2016), el raquis de plátano (Quintana y col., 2009), la paja de arroz (Kurokochi y col., 2020), la totora (Hidalgo-Cordero y col., 2020) y el girasol (Lenormand y col., 2017), entre otros. Dado que las proporciones de lignina, hemicelulosa, celulosa, proteínas y otras sustancias varían según la fuente vegetal, es esencial estudiar las condiciones de procesamiento en cada caso para obtener un tablero adecuado (Chen y col., 2023; Nadhari y col., 2020; Hidalgo-Cordero y col., 2020; Nasir y col., 2019; Hubbe y col., 2018; Almusawi y col., 2016; Zhang y col., 2015; Okuda y col., 2006; Bouajila y col., 2005).

En este contexto, el presente trabajo se enfocó en dos alternativas para la producción de tableros aglomerados ambientalmente sostenibles: i) obtener aglomerados de media densidad a partir de cáscara de arroz y adhesivos biogénicos basados en ácido cítrico y sacarosa, y ii) producir tableros de alta densidad por autoadhesión de partículas de bagazo de cerveza.

1.2. Proceso de fabricación industrial de tableros aglomerados

La secuencia de pasos durante la fabricación de tableros de aglomerados de partículas se muestra en la Fig.1.2. Si bien estos procesos son utilizados preferentemente para madera pueden ser utilizados con algunos cambios para otro tipo de sustratos lignocelulósicos como los que se evaluarán en esta tesis.

En primer lugar, se lleva a cabo un proceso de chipeado del rollizo de madera para luego proceder a su trituración con un molino de martillo para obtener el tamaño requerido, descartando por tamizado las partículas que no cumplen con los requisitos dimensionales (Hanco y col., 2021; Paredes y col., 2018; Prasittisopin y col., 2009). En general, se busca que las partículas sean finas, largas y uniformes, dado que partículas muy finas, con alta superficie específica, demandarían un alto contenido de adhesivos para obtener un tablero estable (Hashim y col., 2010; Youngquist y col., 1999). Una vez alcanzados los requisitos dimensionales de las partículas, éstas son trasladadas mediante una cinta transportadora hacia un secador rotatorio donde se ajusta su contenido de humedad final en un rango del 2 al 7 %. La humedad de las partículas desempeña un papel relevante en las propiedades finales de los tableros. Si el contenido de humedad es demasiado alto, durante el prensado en caliente el vapor de agua generado puede provocar fisuras en el tablero, o bien puede conducir a una baja resistencia de adhesión interna (Gil y col, 1988). Es importante destacar que el uso de sustitutos de la madera como la cáscara de arroz o bagazo de cerveza no requiere de operaciones de molienda o tamizado debido a que poseen un tamaño de grano que los vuelve adecuados para la producción de tableros aglomerados (Barbu y col., 2021; Chalapud y col., 2020; Ciannamea y col., 2010; Stefani y col., 2007).

Después de completar el proceso de secado, las partículas se impregnan con el adhesivo, en general urea-formaldehído, y se mezcla con otros aditivos como parafina o ceras que migran a la superficie y mejoran la resistencia al agua de los tableros. A continuación, las partículas impregnadas de resina son colocadas en un lecho de forma homogénea para ser trasladado por medio de una cinta a una prensa en frío para obtener una preforma para luego prensarla en caliente. En este punto, se somete a un ciclo de presión y temperatura que facilita el contacto entre las partículas y el curado del adhesivo dando como resultado el tablero. Durante esta fase,

también se controla el espesor y por ende la densidad del producto. Los métodos para realizar un prensado en caliente se clasifican en continuo o por lotes. En el primer enfoque, el aglomerado preformado es deslizado sin interrupciones a través de una abertura en la prensa, mientras que en el segundo caso, la prensa tiene múltiples aberturas donde varios tableros son colocados. En general la capacidad es de alrededor de 12 tableros por prensa (Prasittisopin y col., 2009).

Finalmente, los tableros se dejan enfriar a temperatura ambiente para luego realizar un trabajo de mecanizado y acabado superficial. Los desechos son molidos y reutilizados para la fabricación de nuevos paneles (Prasittisopin y col., 2009).

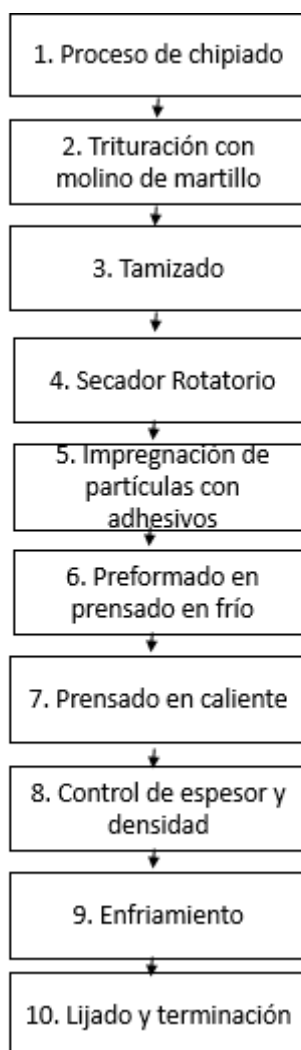


Fig.1.2 Proceso de fabricación de tableros de partículas

1.3. Características de la cáscara de arroz y el bagazo de cerveza

La cáscara de arroz es el principal residuo de la industria arrocera y es usualmente utilizada para producir energía, o simplemente como cama para la crianza de pollos, o es

quemada a cielo abierto, lo que contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero (Della., 2001; Li y col., 2010; Leiva y col., 2007). Es por ello que su uso para la elaboración de tableros representa una ventaja medioambiental y una promisorio alternativa de materiales para la industria de la construcción (Mgbemene y col., 2013), ya que puede ser utilizada como reemplazo de la madera en la elaboración de tableros debido a que entre otros aspectos poseen una composición química similar. Nuestro grupo de trabajo posee numerosos antecedentes en la producción de los mismos, por ejemplo, Leiva y col. (2007) compararon el comportamiento de aglomerados basados en cáscara de arroz y adhesivos tales como fenol-formaldehído, urea-formaldehído y proteína de soja tratada con álcali. Los tableros con adhesivos proteicos presentaron un comportamiento competitivo para su uso en ambiente interior o protegido respecto a los tableros que usan adhesivos sintéticos. Ciannamea y col. (2010) estudiaron el efecto de distintos tratamientos sobre la cáscara de arroz con el objetivo de mejorar su adhesión con la proteína de soja modificada con álcali. Las mejores propiedades mecánicas resultaron al combinar el tratamiento alcalino con peróxido de hidrógeno, obteniendo tableros de media densidad, mecánicamente aptos para uso en ambiente interior. Negro y col. (2015) estudiaron el efecto de la densidad de aglomerados basados en cáscara de arroz y adhesivos de soja modificados con álcali sobre las propiedades finales. Obtuvieron tableros de diferentes densidades y demostraron que las propiedades mecánicas, como era de esperar, mejoran con la densidad del aglomerado.

Otros de los subproductos lignocelulósicos de la industria es el grano de cebada gastado de la cocción (BSG), también denominado bagazo. El BSG representa el 85% del residuo sólido de la producción de cerveza y está conformado por 14-30 % de proteínas, 10-25 % de celulosa, 19-40 % por hemicelulosa, 11-27 % de lignina, así como cantidades menos abundantes de compuestos fenólicos, ácidos grasos, vitaminas y minerales (Agrawal y col., 2023; Hejna y col., 2022). Esta variación en su composición es función de la variedad de cebada, del momento de cosecha, de las técnicas de malteado y maceración, y del tipo de ingredientes incorporados durante el proceso de maceración (Mussatto y col., 2004).

Al analizar el grano de cebada, este se compone de una capa externa denominada cáscara, que actúa como cubierta y está compuesta por celulosa, hemicelulosa, lignina y otros polisacáridos que contribuyen a su naturaleza de carácter fibroso y resistente (Camacho y col., 2021). Debajo de la cáscara se encuentra la capa de aleurona, que es rica en proteínas y lípidos, y por debajo de estas dos capas se encuentra el endospermo (Fig.1.3). Durante el proceso de elaboración de cerveza, el grano es sometido a procesos de degradación enzimática que dan lugar a la liberación de hidratos de carbono fermentables, como la maltosa y la matotriosa, e hidratos de carbono no fermentables, como dextrinas, proteínas solubles, aminoácidos y

polipéptidos. De ello resulta el BSG, cuya función es formar un lecho a través del cual se filtra el macerado.

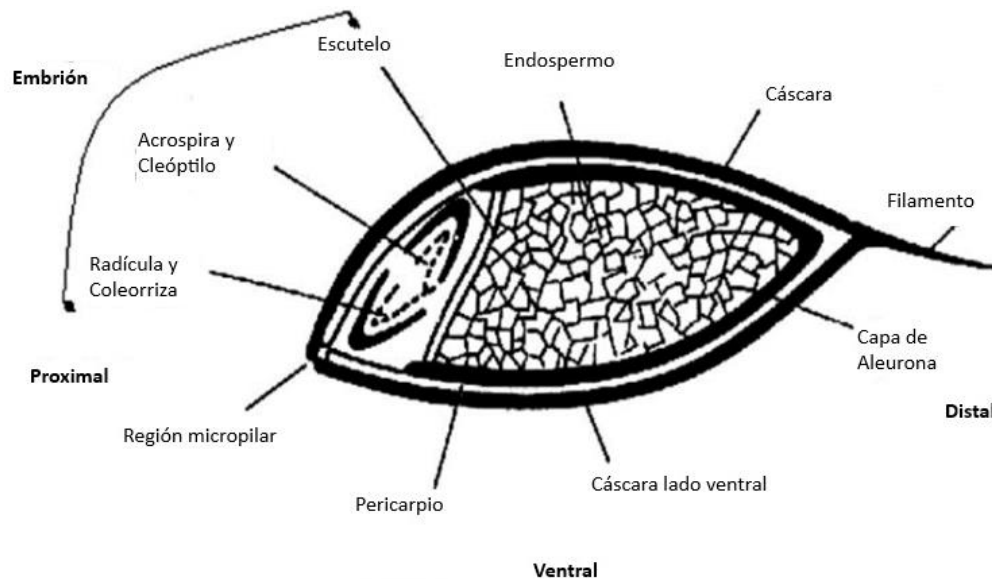


Fig.1.3 Representación esquemática del grano de cebada. Fuente: Musatto y col., 2004

Aunque el BSG se encuentra disponible en grandes cantidades su aprovechamiento es bajo, generalmente es utilizado para la alimentación animal dado su alto valor nutritivo y en menor medida para la alimentación humana (Thiago y col., 2014; Musatto y col., 2006, Pérez y col., 2022; Martínez y col., 2020; Lynch y col., 2016; Musatto y col., 2014; Fărcas y col., 2014; Ktenioudaki y col., 2012; Miranda y col., 1994; Hassona y col., 1993). También, se ha propuesto utilizarlo para la producción de energía por fermentación para generar biogás (Reinold y col., 1997; Ezeonu y col., 1996) y como sustrato para cultivo de microorganismos (Morán y col., 2021; Wan Mahari y col., 2021; Szponar y col., 2003; Wang y col., 2001).

El BSG se ha tornado en un material de sumo interés para la fabricación de tableros de partículas, aunque existen pocas investigaciones sobre esta materia prima para la producción de aglomerados, en principio cumple las exigencias requeridas: disponibilidad en el mercado, bajo costo y cargas mínimas en lo que respecta al cuidado del ambiente (Raimilla y col., 2023; Coronado y col., 2020; Torrente y col., 2019; Mishra y col., 2017; Klímek y col., 2016; Kofoworola y col., 2009; Santos y col., 2002).

1.4. Adhesivos sintéticos y naturales

La presencia de adhesivos es tradicionalmente esencial para que los tableros de aglomerados mantengan las propiedades físicas y químicas requeridas. El adhesivo debe

presentar cualidades como fluidez, mojabilidad y buena penetración en el sustrato con el objetivo de lograr mantener unidas a las partículas (Ciannamea y col., 2010). Estos factores se vinculan estrechamente con la viscosidad, es decir, aquellos que presentan una baja viscosidad tienen la capacidad de afectar de forma negativa al sustrato ya que lo penetra excesivamente lo que genera una baja performance mecánica en el aglomerado. Por el contrario, los adhesivos con alta viscosidad penetran poco al sustrato lignocelulósico, lo que provoca una pobre adhesión física debido al deficiente anclaje mecánico del adhesivo sobre la superficie del sustrato (Nicolao y col., 2020, Nicolao y col., 2022).

Los adhesivos se pueden clasificar como: naturales y sintéticos siendo estos últimos los utilizados a escala industrial para los aglomerados. En la actualidad, aproximadamente el 90 % de los tableros de partículas son ligados con adhesivos sintéticos, en particular con urea formaldehído, dado su bajo costo, disponibilidad y efectividad (Mamza y col., 2014). A su vez, los adhesivos sintéticos pueden categorizarse según su estructura química y respuesta al calor como termorrígidos y termoplásticos. También, se pueden clasificar según su aplicación, para uso externo o interno en función de su resistencia a la humedad (Fig.1.4) subdividiéndose en dos categorías: resistentes y no resistentes a la humedad. Se espera que estos aglomerados sean además resistentes a la degradación microbiológica, a la degradación por exposición solar y a la degradación térmica (Prasittisopin y col., 2009).

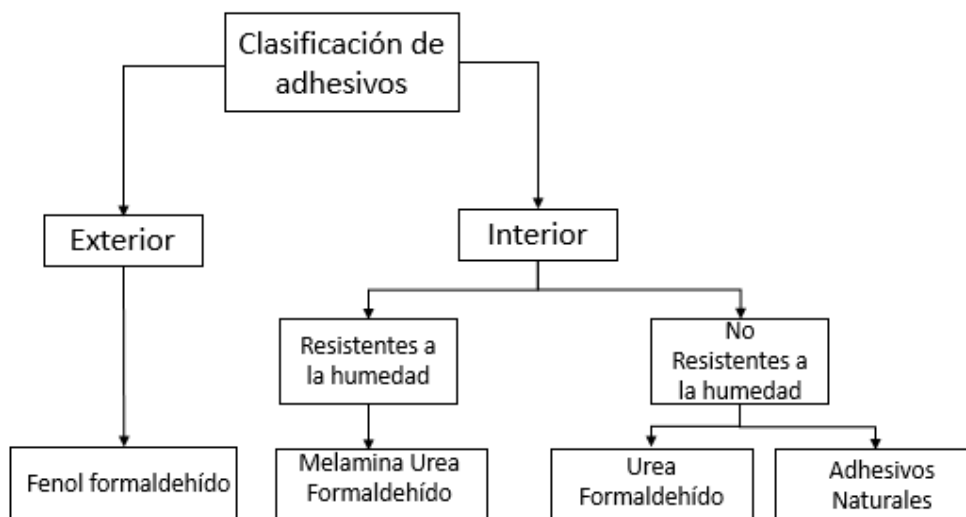


Fig.1.4 Clasificación de adhesivos

A pesar de que la aplicación de adhesivos sintéticos, como la resinas urea y fenol formaldehído, logran optimizar la performance de los tableros como fue explicado previamente, generan inconvenientes en cuanto a la salud de usuarios y productores de los tableros (Lin y col.,

2012; Zhang y col., 2015). La agencia Internacional de Investigación contra el Cáncer (IARC) y la Organización Mundial de Salud (OMS) han clasificado a los adhesivos a base de formaldehído como agentes cancerígenos para los seres humanos, limitando su exposición a 0,03 ppm (0,37 mg/cm³) en cortos períodos de tiempo (Normativa Europea EN 13986).

Los adhesivos naturales se pueden extraer o desarrollar a partir de recursos biogénicos, tanto vegetales, como polisacáridos (ej. almidón), taninos, proteínas (ej. proteína de soja, gluten de trigo), como de origen animal (ej. caseína, gelatina) (Frihart, 2005).

El almidón es una macromolécula que se utiliza como adhesivo natural ya que debido a los numerosos grupos hidroxilos presentes en su estructura pueden formar puentes de hidrógeno e interacciones de tipo Van der Waals con los componentes de la madera (Zhang y col., 2015). En general, los adhesivos a base de almidón se emplean para la fabricación de materiales celulósicos como el papel y el cartón (Imam y col., 2001). La caseína por su parte se caracteriza por ser una proteína de la leche que históricamente ha sido utilizada como adhesivo ya que proporciona uniones fuertes, aunque no son resistentes al agua (Frihart, 2005).

El uso de taninos y lignina, sustancias naturales derivadas de recursos biológicos, también se han propuesto como adhesivos (Pizzi y col., 2006; Trosa y col., 1997). El tanino presenta una estructura polifenólica por lo que se lo ha considerado como un posible candidato para sustituir al fenol, compuesto existente en adhesivos sintéticos, tal como la resina fenol-formaldehído (PF). Umemura y col. (2013, 2014) mezclaron el tanino y sacarosa mediante un tratamiento de secado previo al prensado en caliente para generar adhesivos para la madera y compararon las distintas propiedades mecánicas según las proporciones de adhesivo. Como resultado obtuvieron una combinación óptima de tanino con sacarosa resultando en un aumento en las propiedades mecánicas.

Los adhesivos a base de proteínas de soja presentan ventajas como bajas temperaturas de prensado, facilidad de manejo y costos reducidos. Por esta razón se utilizan principalmente en la fabricación de paneles para interiores (Larregle y col., 2021; Chalapu y col., 2020; Ciannamea y col., 2010; Leiva y col., 2007; Cheng y col., 2004). Las proteínas de soja provienen de los granos de soja, y se caracterizan por ser una macromolécula compuesta por cadenas de polipéptidos enlazados a través de puentes de hidrógeno y disulfuro que conforman una estructura tridimensional. En su gran mayoría, las proteínas de soja son globulinas que contienen más de 20 aminoácidos, entre ellos se encuentra la leucina, lisina, fenilina, ácido aspártico, tirosina, etc. (Sun y col., 2005). Diversos formatos de productos de soja están disponibles en el mercado, incluyendo la harina de soja (SF), concentrado de proteína de soja (SPC) y aislado de proteína de soja (SPI). El SPC tiene un alto contenido de proteínas que oscila entre el 60-70%, mientras que el restante está compuesto principalmente por carbohidratos. La

SF contiene entre el 40-60 % de proteínas y el SPI con un 80-90 % de proteínas (Ciannamea y col., 2013; Jensen y col., 2012; Hettiarachchy y col., 2005). No obstante, Ciannamea y col., (2010) han demostrado que el SPC presenta un óptimo balance costo/rendimiento para su aplicación en aglomerados.

La capacidad adhesiva de las proteínas presenta su base en la habilidad de sus cadenas para desenrollarse y dispersarse. Esto provoca un aumento en la superficie de contacto, lo que implica que una mayor cantidad de grupos polares y grupos no polares interactúen con el sustrato, típicamente lignocelulósico. Además, el desovillamiento de las cadenas proteicas favorece las reacciones de entrecruzamiento mediante puentes disulfuro durante el proceso de curado (Ciannamea y col., 2014). Ciannamea y col., (2012) estudiaron el efecto sobre las propiedades de tableros al modificar el adhesivo de soja con hidróxido de sodio, ácido cítrico y ácido bórico. Los tableros obtenidos con adhesivos tratados con ácido bórico y aquellos tratados con hidróxido de sodio exhibieron los mejores valores de resistencia interna, mientras que la mayor resistencia a la humedad fue dada por el adhesivo de soja tratado con ácido bórico. Larregle y col., 2021 propusieron el desarrollo de un adhesivo concentrado de proteína de soja con propiedades anti fúngicas y Espósito y col., 2013 modificaron químicamente la proteína de soja con tanino como adhesivo para madera.

1.4.1 Adhesivo basado en ácido cítrico y sacarosa

Se ha informado la utilización de ácido cítrico y sacarosa como materiales de partida para la síntesis de adhesivos siendo que ambos son de origen natural y ampliamente disponibles en el mercado, lo que los hace atractivos desde el punto de vista de la sostenibilidad (Pizzi y col., 2019).

El ácido cítrico es un ácido orgánico que se encuentra en cítricos, como limones y limas y se utiliza en la elaboración de productos farmacéuticos, de bebidas y de alimentos. Su producción comercial se realiza mediante la fermentación de glucosa o de materiales que contienen glucosa y sacarosa (Muñoz Villa y col., 2014; Vukusic y col., 2006; Tsao y col., 1999; Abou-Zeid y col., 1984). Se ha investigado al ácido cítrico como agente entrecruzante para la madera (Bogoslav y col., 2009; Vukusic y col., 2006) donde se determinó que el principal mecanismo de unión para la obtención de aglomerados era a través de enlaces éster entre los grupos carboxilo propios del ácido cítrico y los grupos hidroxilos de los componentes de la madera (Umemura y col., 2012).

Por otro lado, la sacarosa (β -d fructofuranosil α -d glucopiranosido) es un disacárido procedente principalmente de la remolacha o de la caña de azúcar, que se utiliza en la industria alimenticia. Además, es uno de los productos químicos renovables más abundantemente en el

mundo, y está disponible a un nivel muy alto de pureza y bajo costo (Sengar y col., 2014; Queneau y col., 2008; Jaroz y col., 1996).

Durante el proceso de curado de una mezcla compuesta por ácido cítrico, sacarosa y un sustrato lignocelulósico, se desarrollan en simultáneo una serie de reacciones, que incluyen deshidratación, isomerización y polimerización. Cuando los azúcares se calientan a altas temperaturas en el medio ácido tienen lugar reacciones de caramelización. Como resultado, los azúcares forman compuestos aromáticos y de color oscuro, como el 5-HMF. A su vez se produce una reacción de condensación por deshidratación entre el 5-HMF y el ácido cítrico (Shijing Sun y col., 2019). Por su parte, el sustrato lignocelulósico, que contiene celulosa como componente principal, reacciona con los productos de la caramelización y el ácido cítrico y como consecuencia se generan enlaces químicos que modifican la estructura del panel aglomerado y sus propiedades (Shijing Sun y col., 2019; Umemura y col., 2013).

En trabajos previos, Ferrández y col., (2019) investigaron tableros de partículas de caña utilizando un adhesivo compuesto por ácido cítrico en concentraciones del 5 % y 10 %. Las condiciones de procesamiento incluyeron un tiempo de prensado de 7 minutos y una temperatura de 150 °C. Se advirtió que al aumentar la concentración de ácido cítrico mejoraba las propiedades mecánicas, como el MOR, MOE e IB, así como las propiedades físicas en general. Umemura y col., (2013, 2014) han establecido las condiciones ideales para la conformación de tableros de madera reciclada, utilizando un adhesivo compuesto por ácido cítrico y sacarosa siendo la temperatura de prensado de 200 °C y un tiempo de 10 minutos. Los valores de resistencia mecánica MOR (20,6 MPa) MOE (4,6 GPa), adhesión interna (1,6 MPa) y absorción de agua TS a 24 horas (11,9 %) con una proporción de adhesivo 25:75 de ácido cítrico y sacarosa cumplieron con los estándares de la norma industrial japonesa para tableros de partículas.

1.5 Autoadhesión en el conformado de tableros de aglomerado sin adhesivos

Las investigaciones sobre la autoadhesión de tableros comenzaron a desarrollarse en los años 80'. Mobarak y col., (1982) prepararon un compuesto lignocelulósico a partir de bagazo de caña de azúcar sin aglutinante agregado (*binderless*). Se desarrollaron tableros *binderless* utilizando distintos residuos, como racimo de banana (Quintana y col., 2009), bagazo de caña (Yano y col., 2020), cáscara de coco (Araújo y col., 2018) y paja de arroz (Theng y col., 2019), y de fibra con corteza de abeto negro refinada (Gao y col., 2011), aunque su uso a escala industrial es aún limitado. De todos modos, la fabricación de tableros *binderless* sigue siendo de interés estratégico desde el punto de vista ambiental y económico (Vitrono y col., 2022)

El proceso de obtención de tableros *binderless* consiste en aprovechar las ventajas de la composición química del sustrato para su conformación por termocompresión (Zhang y col.,

2015). El control de los parámetros de prensado como la temperatura, el tiempo y la presión son determinantes para alcanzar un tablero consolidado. La efectividad de los mecanismos de autoadhesión en tableros está ligados a la composición química de las materias primas de partida, al contenido de humedad, al tamaño de las partículas, y a los parámetros de prensado en caliente.

Las principales reacciones que ocurren a partir del calentamiento del material lignocelulósico en condiciones húmedas durante la termocompresión son hidrólisis, deshidratación y oxidación. En particular, la hemicelulosa es el primer componente en descomponerse térmicamente debido a su menor estabilidad térmica (Hill y col., 2006; Xu y col., 2006). Estas reacciones inducen la formación de nuevos enlaces que van a actuar como puntos de anclaje entre partículas (Tshabalala y col., 2012). Okuda y col., (2006) han sugerido también que los grupos funcionales de la lignina (grupos fenoles y alcoholes) se pueden combinar para formar enlaces éter y enlaces carbono-carbono que en efecto otorgan mayor rigidez y resistencia a la estructura de la lignina (Okuda y col., 2004). Por su parte, los azúcares experimentan reacciones de caramelización que involucran su descomposición y su reorganización (Zhang y col., 2019). Durante la termocompresión también pueden ocurrir reacciones de Maillard entre las proteínas y los azúcares presentes (Rossi y col., 2024).

Sin embargo, como contrapartida, la lignina es poco reactiva ya que poseen un bajo número de sitios reactivos y abundante presencia de grupos metilo. En este sentido, los pretratamientos químicos y enzimáticos de las materias primas lignocelulósicas han abierto nuevas posibilidades para aumentar la reactividad durante la termocompresión y mejorar las características finales de los tableros *binderless* (Riquelme Valdés y col., 2008; Hüttermann y col., 2001). Además, se han desarrollado y sugerido procesos de fabricación relacionados con la explosión de vapor antes del prensado en caliente y la explosión por inyección de vapor para generar más sitios reactivos que contribuyan a la autoadhesión, por lo que mejora el comportamiento mecánico de los tableros (Quintana y col., 2009).

1.6 Objetivos del proyecto

1.6.1 General:

Obtener tableros aglomerados ambientalmente amigables a partir de residuos lignocelulósicos de la agroindustria.

1.6.2 Específicos:

- Desarrollar y caracterizar adhesivos biogénicos basados en ácido cítrico y sacarosa.
- Obtener tableros aglomerados basados en cáscara de arroz y adhesivos biogénicos.

- Obtener tableros aglomerados de bagazo de cerveza *binderless* y con adhesivo fenólico como control.
- Evaluar el comportamiento físico-mecánico de los materiales diseñados.
- Estimar los costos de producción de una de las formulaciones de tableros aglomerados

Capítulo 2:

Materiales y técnicas experimentales

Este capítulo aborda la descripción detallada de los materiales y las técnicas experimentales utilizadas en el estudio. Se presentan dos tipos de tableros: aquellos fabricados con cáscara de arroz y los producidos a partir de bagazo cervecero. Para cada tipo de tablero se proporciona información sobre los materiales utilizados, incluyendo su origen y proveedores, así como también sobre los adhesivos empleados.

La sección 2.2 se centra en la preparación de los tableros de cáscara de arroz, detallando el proceso de acondicionamiento de la materia prima y la preparación del adhesivo a partir de ácido cítrico y sacarosa. Se describe el procedimiento de conformado y prensado de los tableros, junto con las condiciones específicas de temperatura y presión utilizadas. La sección 2.3 aborda la preparación de los tableros de bagazo cervecero sin aglutinante y con adhesivo fenólico. Se detalla el proceso de acondicionamiento del bagazo, así como los métodos de preparación de los tableros bajo diferentes condiciones de prensado.

Finalmente, se describe la evaluación de los aglomerados obtenidos, incluyendo pruebas mecánicas, propiedades físicas y análisis termogravimétrico. Se detalla también el análisis estadístico (ANOVA).

2.1 Listado de materiales y procedencia

Para la elaboración de tableros se utilizaron diferentes materiales de partida y adhesivos. A continuación, se detalla cada uno de ellos.

1. Tableros de cáscara de arroz

- Cáscara de arroz suministrada por industrias arroceras (Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina).
- Ácido cítrico anhidro: se utilizó ácido cítrico anhidro marca Anedra suministrado por Research AG (Tigre, Buenos Aires, Argentina).
- D (+)-Sacarosa: producto de laboratorio marca Anedra suministrado por Research AG (Tigre, Buenos Aires, Argentina).

2. Tableros de bagazo cervecero

- Bagazo de cerveza: residuo industrial suministrado por Bohr cervecería (Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina). En particular se utilizó el bagazo de la malta Pilsen denominada Jammin Ipa.
- Adhesivo fenólico: resol fenol-formaldehído fue suministrado por Bonardi Industria Química LTDA (Colombo, Paraná, Brasil). Contenido de sólidos 54 % y viscosidad a temperatura ambiente de 400 a 700 cp dada por el proveedor.

2.2 Preparación de tableros de cáscara de arroz

2.2.1 Acondicionamiento de la cáscara de arroz

La cáscara de arroz fue sometida a múltiples procesos de lavado con agua para remover tierra y suciedad. Posteriormente se secó en estufa a 80 ± 2 °C hasta alcanzar una humedad de 6 a 8 % en peso y se almacenó en un recipiente de plástico hermético hasta su uso.

2.2.2 Preparación de adhesivos

A partir de lo informado por Umemura y col. (2013,2014) se preparó una solución de ácido cítrico y sacarosa en agua destilada cuyas cantidades se resumen en la Tabla 2.1. El contenido de sólido en agua en ambas soluciones fue 1:10 en peso.

Tabla 2.1 Cantidades de ácido cítrico (AC), sacarosa (S) y agua destilada utilizadas para la preparación del adhesivo.

Proporción AC/S	Ácido Cítrico (g)	Sacarosa (g)	Agua (g)
50/50	5	5	100
75/25	7,5	2,5	100

La metodología para preparar el adhesivo consistió en colocar en una placa calefactora con agitador magnético a 500 rpm, las proporciones de ácido cítrico y sacarosa en agua. Se incrementó gradualmente la temperatura hasta alcanzar los 50 °C durante 30 minutos.

2.2.3 Preparación del aglomerado: Etapas de conformado

Mezcla: A la cáscara de arroz, se le incorporó paulatinamente el adhesivo, utilizando una mezcladora industrial (Silcook, China) durante 10 min a temperatura ambiente. El contenido de adhesivo utilizado fue de un 10 % en base seca (masa seca de ácido cítrico y sacarosa).

Preformado: se utilizó un molde de acero en el que se colocó una lámina de teflón en la base y otra en la tapa superior para evitar la adhesión del material al molde. Se ubicaron en cada vértice del molde 4 toques de aluminio de 5 mm para controlar el espesor final del tablero durante la etapa posterior de prensado en caliente. Se colocó un marco de madera sobre la base y se vertió la mezcla (en una cantidad tal que luego del prensado final se obtuviese un tablero con una densidad objetivo de alrededor de 750 kg/m^3 obteniendo una preforma uniforme de aproximadamente 2 cm de espesor. Luego, se colocó la tapa del molde de acero y se procedió a la siguiente etapa.

Prensado: se precalentó la prensa (Est. Mario Smaniotto SRL, Argentina) a 190 °C y se colocó el molde durante 15 min a una presión de 1,5 MPa hasta que la tapa superior del molde tocó los topes inferiores. Una vez finalizado el proceso de curado se enfrió el equipo por medio de circulación de agua hasta alcanzar los 30 °C para evitar la formación de posibles alabeos causados por un enfriamiento brusco.

Desmolde: por último, se lleva a cabo el proceso de desmolde en el cual se retiró la placa ya conformada.

En la Fig.2.1 se puede observar el proceso de fabricación a partir de un registro fotográfico.



Fig.2.1 Producción del aglomerado basado en cascara de arroz y adhesivo cítrico-sacarosa

2.3 Preparación de tableros de bagazo cervecero

2.3.1 Acondicionamiento del bagazo cervecero

Teniendo en cuenta el mayor volumen de producción del bagazo en la planta de producción de cerveza proveedora, se seleccionó el bagazo proveniente de la malta Pilsen destinada a la producción de cerveza tipo IPA como insumo. El residuo sólido húmedo del proceso de cocción se recuperó de la fábrica, se secó inmediatamente en estufa de convección forzada (Yamato modelo DKN 400, China) a 80 °C hasta alcanzar 6-8 % de humedad, y se almacenó en recipientes cerrados hasta su uso.

Para la elaboración y estudio de tableros de bagazo se utilizaron dos estrategias distintas. Por un lado, se prepararon tableros basados en BSG sin la incorporación de adhesivos y con adhesivo fenólico como tablero de control.

2.3.2 Preparación tableros sin adhesivos basados en BSG (*Binderless*)

Se obtuvieron aglomerados de BSG sin adhesivos por prensado en caliente del BSG húmedo. A partir de ensayos preliminares se seleccionó la masa de bagazo húmedo, que al aplicar una presión de 2.1 ± 0.1 MPa, alcanzó la densidad y el espesor deseados del tablero (1000 kg/m^3 y 5 mm, respectivamente). Se probaron diferentes temperaturas, tiempos de prensado y contenidos de humedad, con el fin de obtener un tablero consolidado. Se calculó el contenido de humedad en base seca de las mezclas previo al prensado, según lo indicado en la Ec. 1.

$$\text{Humedad en base seca}(\%) = \frac{\text{agua agregada}(g) + \text{humedad del BSG seco}(g)}{\text{BSG seco}} * 100 \text{ (Ec.1)}$$

2.3.3 Preparación de aglomerados BSG con adhesivo fenólico

La elaboración de tableros de bagazo con adhesivo fenólico se realizó en base a trabajo previos (Leiva y col., 2007, Ciannamea y col., 2017). Se utilizó un contenido de adhesivo sólido total de 10 % en base seca aplicando una presión de 2.1 ± 0.1 MPa, a una temperatura de 150°C durante 20 min. En la Figura 2.2 y Figura 2.3 se puede observar a través del registro fotográfico la producción de tableros de bagazo tanto utilizando agua como adhesivo fenólico respectivamente.

En la Figura 2.2 y Figura 2.3 se puede observar a través del registro fotográfico la producción de tableros de bagazo tanto utilizando agua como adhesivo fenólico respectivamente.

Producción de aglomerados *Binderless*

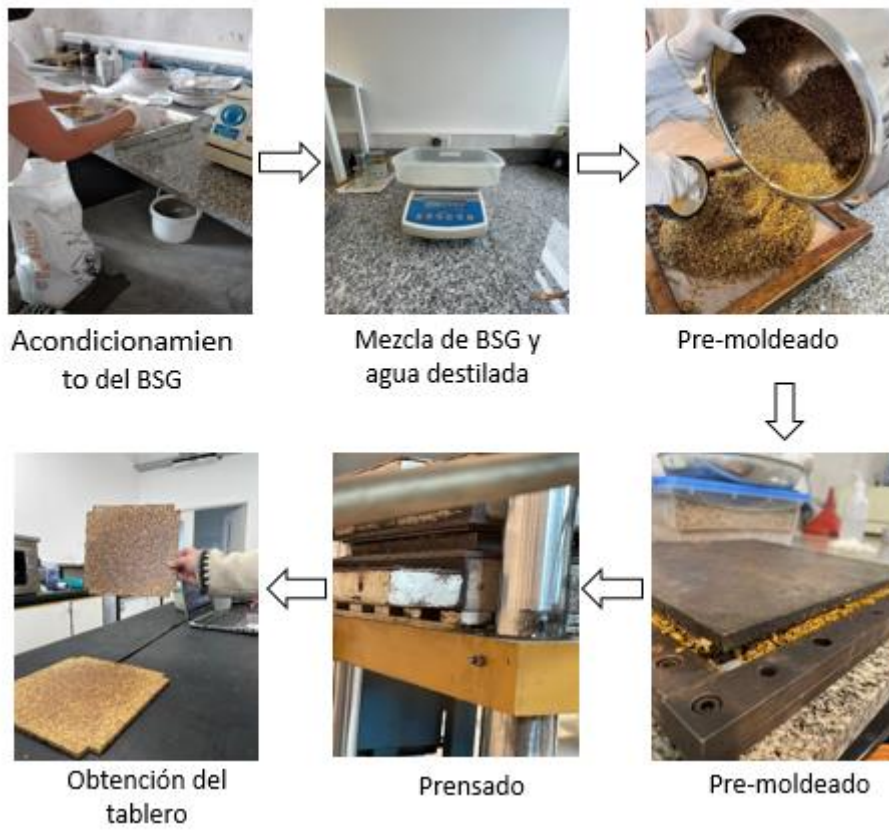


Fig.2.2 Producción de tableros aglomerados basados en bagazo cervecero (BSG)

Producción de aglomerados de BSG y resina fenólica



Fig.2.3 Producción de aglomerados de BSG con resina fenólica

2.4 Evaluación de los aglomerados

Todos los aglomerados obtenidos fueron estabilizados en cámara de humedad a 65 HR y 20 °C al menos durante una semana antes de su evaluación. En primer lugar, se determinaron los valores de espesor de todas las muestras de ensayo estabilizadas en cámara ambiental utilizando un calibre digital (Asimeto, Alemania) con precisión $\pm 0,001$ mm determinado el valor como el promedio de 3 medidas. Todas las propiedades físicas, mecánicas y de inmersión de agua se realizaron según los procedimientos descritos en la norma ASTM D1037. Los ensayos mecánicos se llevaron a cabo en una máquina de ensayos universal INTRON 4467. A continuación, se describen los procedimientos específicos.

2.4.1 Flexión en tres puntos

Para su determinación se utilizaron probetas de 190 mm x 50 mm x 5,3 mm. Se utilizó una distancia entre apoyo de 140 mm a una velocidad de desplazamiento del cabezal de 2,9 mm/min (ver Fig. 2.4). Un total de 10 muestras fueron determinadas sobre cada tipo de tablero.

- Módulo elástico a flexión (MOE) de acuerdo a la expresión (Ec.2)

$$MOE = \frac{p_1 * L^3}{4 * b * d^3 * y_1} \quad (Ec.2)$$

MOE: Módulo de elasticidad en flexión (MPa)

P₁: Carga dentro del rango elástico (N)

L: Separación entre apoyos (mm)

b: Ancho del espécimen (mm)

d: Espesor del espécimen (mm)

y₁: Deflexión producida en el centro de la probeta dentro del rango elástico (mm)

- Módulo de rotura a flexión (MOR) de acuerdo a la expresión

$$MOR = \frac{3 * P * L}{2 * b * d^2} \quad (Ec.3)$$

MOR: Módulo de elasticidad en flexión (MPa)

P: Carga máxima (N)

L: Separación entre apoyos (mm)

b: Ancho del espécimen (mm)

d: Espesor del espécimen (mm)



Fig.2.4 Ensayo de flexión en tres puntos para probetas CA y BSG

2.4.2 Resistencia interna (resistencia a la tracción paralela a la dirección de prensado)

Para su determinación se utilizaron probetas cuadradas con una dimensión de 50 mm x 50 mm a una velocidad de desplazamiento del cabezal de 1,33 mm/min. Los valores de adhesión interna se calcularon a partir de la Ec. 4 sobre un total de 10 muestras. En la Fig.2.5 se observa el ensayo de adhesión.

$$IB = \frac{P}{A} \text{ (Ec. 4)}$$

IB: Resistencia interna (MPa)

P: Carga máxima (N)

A: Área cara de la probeta (mm²)



Fig.2.5 Ensayo de adhesión interna para probetas de CA y BSG

2.5 Propiedades físicas

2.5.1 Densidad y contenido de humedad de los aglomerados

A partir de la Norma ASTM D1037-99 se determinó la densidad y humedad de los aglomerados. Para el cálculo de densidad se utilizó la Ec.5 y para los valores de humedad la Ec.6. Las dimensiones de las probetas se midieron con un calibre y para medir la masa se utilizó una balanza Ohaus Pioneer.

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \text{ (Ec.5)}$$

Para estimar la humedad de cada aglomerado, se pesaron muestras de cada una, previamente estabilizadas en cámara, en balanza de precisión. Luego, fueron llevadas a las estufas de sacado a 120 °C durante 24 hs y se volvieron a pesar.

$$W(\%) = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) * 100 \text{ (Ec.6)}$$

mi: masa inicial antes del secado

mf: masa final luego de 24 hs en estufa

2.5.2 Hinchamiento y absorción en agua

A partir de la Ec.7 y la Ec. 8 se determinó el grado de hinchamiento en el espesor y absorción en agua respectivamente. Para ello, se sumergieron en agua probetas de 50 mm x 50 mm durante 2 h y 24 h. A continuación, se midieron espesores y masas de cada uno, en los tiempos determinados. En la figura 2.6 se observa el ensayo de hinchamiento y absorción.

$$WA(\%) = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1} \right) * 100 \text{ (Ec. 7)}$$

$$TS(\%) = \left(\frac{h_2 - h_1}{h_1} \right) * 100 \text{ (Ec.8)}$$

m1: masa inicial

m2: masa final luego de estar sumergido durante 2h y 24 hs

h1: espesor inicial

h2: espesor final luego de haber estado sumergido en agua durante 2hs y 24 hs.



Fig.2.6 Ensayo de hinchamiento y absorción de agua para probetas CA y BSG

2.6 Análisis estadístico

Los resultados de cada ensayo de WA, TS, MOR, MOE e IB fueron analizados estadísticamente mediante el análisis unidireccional de la varianza (ANOVA). Las comparaciones fueron realizadas empleando el método de Tukey para identificar que grupos eran significativamente diferentes respecto a otros grupos con una confianza del 95% ($P < 0,05$) (Tukey, 1949).

2.7 Otras técnicas de caracterización utilizadas

2.7.1 Análisis termogravimétrico (TGA)

La estabilidad térmica se analizó mediante termogravimetría. Para ello se utilizó una termobalanza Shimadzu en modo dinámico a partir de 25 °C hasta 700 °C a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min. Se utilizaron dos atmósferas, nitrógeno y aire, con el fin de evaluar la estabilidad térmica y termo-oxidativa de la cáscara de arroz y de la BSG (20 ml/min).

A partir de los estudios en modo dinámico, se obtuvieron los siguientes parámetros:

- Temperatura de inicio de la degradación (IDT), determinada como la temperatura a la cual la pérdida de masa es del 1 % luego de la evaporación del agua.

- Temperatura de máxima velocidad de degradación (T_{max}), definida como la temperatura para la cual la tasa de pérdida de masa del sistema es máxima.
- Porcentaje de residuo, definido como el porcentaje de masa remanente al alcanzar los 700 °C.

2.7.2 Microscopía electrónica de barrido

Se analizaron las morfologías de las superficies de la cáscara de arroz y bagazo de cerveza utilizando un microscopio electrónico de barrido ZEISS Crossbeam 350 (FESEM) operado a un voltaje de 3 KV, donde las muestras se recubrieron con cromo con un espesor del orden de nanómetros.

2.7.3 Contenido de sólidos adhesivo fenólico

Se determinó el contenido de sólidos en el adhesivo fenólico según la norma ASTM D 1582-98. El ensayo se realizó por duplicado.

Capítulo 3:

Resultados y discusión

En la siguiente sección se describen y caracterizan las materias primas de partida. Luego se analiza el comportamiento físico, mecánico y resistencia a la humedad de tableros aglomerados de cáscara de arroz y bagazo de cerveza. También se comparan las propiedades de los aglomerados con otros residuos lignocelulósicos informados por distintos autores. Por último, se evalúa el cumplimiento de estándares internacionales definidos para este tipo de materiales.

3.1 Caracterización de la cáscara de arroz

La cáscara de arroz (CA) como todo material lignocelulósico contiene celulosa, lignina y hemicelulosa como principales componentes, como así también compuestos inorgánicos y ceras. Se destaca en particular un alto contenido de sílice amorfa (Stefani y Jiménez, 2003; Leiva y col., 2007; Ciannamea y col., 2017; Ludueña y col., 2011). En la tabla 3.1 se resumen la composición promedio informada.

Tabla 3.1: Composición promedio CA

Composición química	Proporción (%)
Celulosa	25-35
Hemicelulosa	18-21
Lignina	26-31
Sílice amorfa	15-17
Sustancias solubles y ceras	2-5

Para analizar la morfología superficial de la cáscara de arroz se obtuvieron imágenes por FESEM de su epidermis externa e interna y de la estructura interna entre ambas superficies. En la Fig. 3.1 a y b se muestra la epidermis externa de la cáscara de arroz que se caracteriza por presentar una superficie rugosa conformada por protuberancias o domos (Stefani y col., 2005), mientras que la epidermis interna (Fig. 3.1. c) presenta una superficie más suave y lisa (Park y col., 2003, Stefani y Jimenez, 2003). En cuanto a la estructura interna de la cáscara (Fig. 3.1. d) se observa una estructura porosa con paredes delgadas que une a ambas epidermis y que le otorga una baja conductividad térmica (Negro y col., 2015; Gutierrez y col., 2013). La sílice se localiza preferentemente en la epidermis externa en particular sobre la cúspide de los domos, mientras que en otras regiones su concentración es menor (Park y col., 2003). La presencia de sílice le otorga mayor rigidez y resistencia a la humedad a la cáscara (Marin y col., 2015; Ludueña y col., 2011; Ruseckaite y col., 2007; Park y col., 2003).

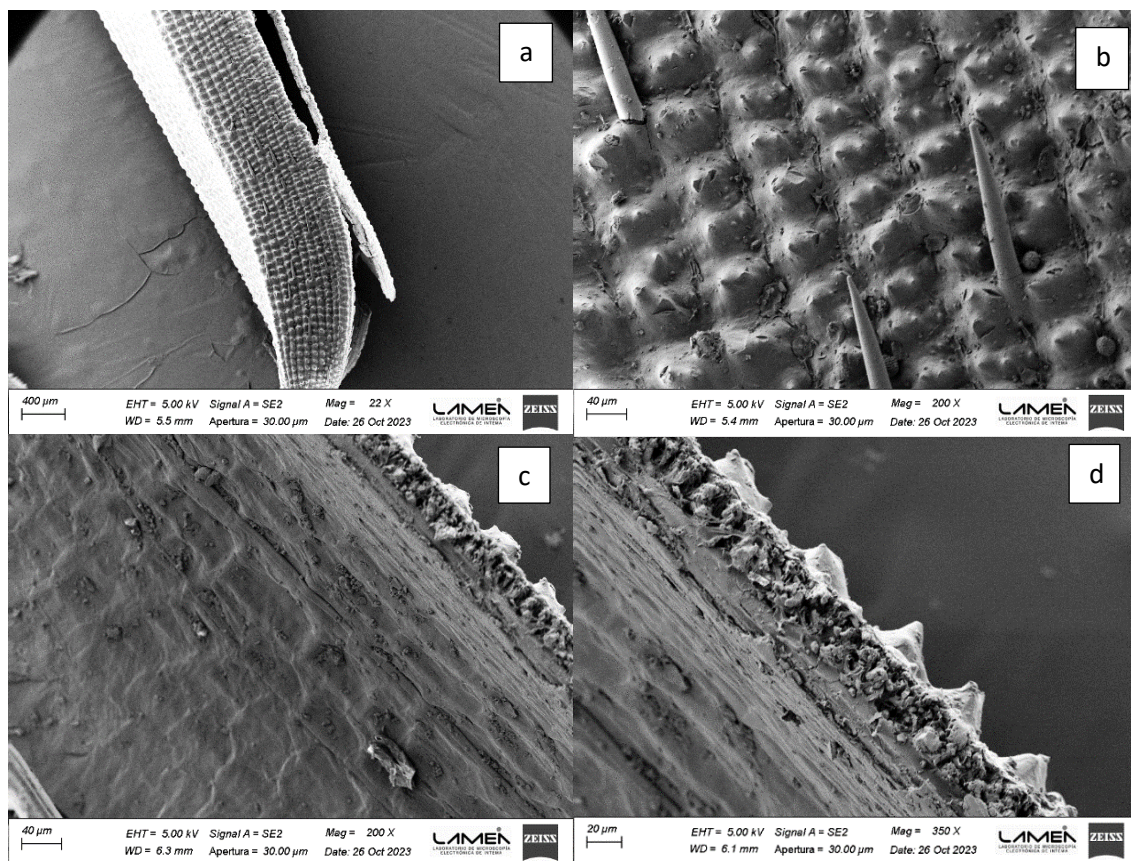


Fig.3.1 Micrografías de la CA obtenida por FESEM. a) 22X, b) detalle a 200X del cuadrado azul de la Figura a. c) Epidermis interna de la CA. d) Estructura interna de CA

Para establecer la ventana de procesamiento (temperatura) para el prensado en caliente del aglomerado se evaluó la CA mediante termogravimetría (TGA). La degradación de la CA se produce en varias etapas en un rango de temperaturas entre 200 y 700 °C (Rosa y col., 2012). La degradación de los tres componentes principales: hemicelulosa, lignina y celulosa ocurre a distintas temperaturas en función de sus respectivas estructuras químicas (Ludueña y col., 2011; Leiva y col., 2007; Stefani y col., 2005). Se ha informado que la descomposición de la celulosa comienza a los 275 °C y continúa hasta los 380 °C, mientras que la hemicelulosa comienza su descomposición a 150 °C y finaliza a 350 °C (Stefani y col., 2005; Marin y col., 2015). Por último, la descomposición de la lignina en atmósfera inerte se extiende en un rango amplio de temperaturas, comenzando por debajo de los 250 °C y hasta aproximadamente 450 °C (Stefani y col., 2005). Las Fig.3.2 y Fig.3.3 muestran las curvas de TGA y DTGA normalizadas de la CA usada en esta tesis y obtenidas en atmósfera de aire y nitrógeno respectivamente. En la Tabla 2 se resumen los valores de temperatura inicial de degradación (IDT) y porcentaje de residuo sólido a 700 °C. Tanto en atmósfera de nitrógeno como de aire las muestras presentan un comportamiento similar con un leve aumento en los valores de IDT y de la temperatura de

los picos de máxima velocidad de degradación en DTGA para las muestras evaluadas en atmósfera inerte (Marin y col., 2015). Todas las curvas de TGA mostraron una pérdida de peso inicial alrededor de los 100 °C debido a la vaporización del agua. Luego, comienza el proceso de degradación de los componentes lignocelulósicos asociado a un brusco incremento en la pérdida de masa hasta alcanzar un valor prácticamente constante en el caso de las muestras evaluadas en atmósfera de nitrógeno. Para las muestras evaluadas en aire ocurren una segunda etapa (a aproximadamente 462°C) asociada a la oxidación del residuo carbonoso. El residuo a 700°C de la muestra calcinada en aire (25 %) correspondería aproximadamente al contenido de sílice de la cáscara (Marin y col., 2015) mientras que el residuo obtenido en atmósfera inerte (40%) responde tanto a la presencia de la sílice como de residuos carbonosos (Marin y col., 2015).

La temperatura inicial de degradación (IDT) en atmósfera oxidante impone un límite para el procesamiento de tableros a valores menores a 273 °C. Sin embargo, este límite de temperatura es suficientemente alto para no degradar al material durante el prensado.

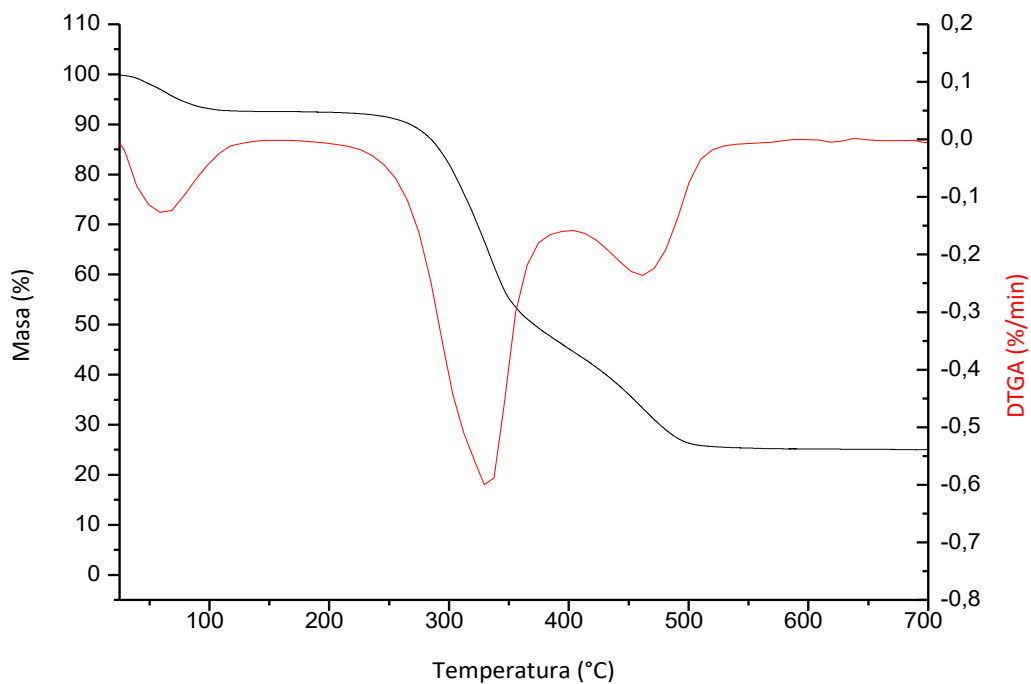


Fig.3.2 TGA y DTGA cáscara de arroz en Aire

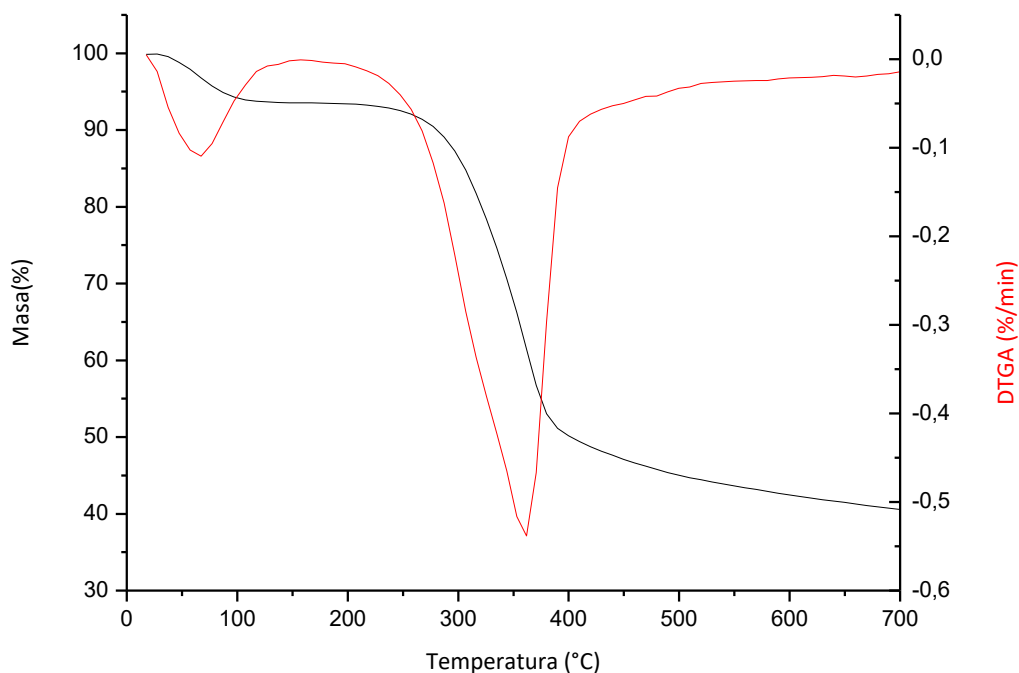


Fig.3.3 TGA y DTGA de la cáscara de arroz en Nitrógeno

Tabla 3.2: Valores TGA de la CA

Atmósfera	IDT (°C)	% Residuo	T α (°C)	T β (°C)	T γ (°C)
a 700°C					
Aire	273	25	305	328	462
N2	288	40	315	360	

T α : temperatura de degradación de hemicelulosa (hombro). T β : temperatura de degradación de celulosa. T γ : temperatura de oxidación de residuo carbonoso.

3.2 Caracterización del bagazo de cerveza

El bagazo de cerveza es un material lingocelulósico con alto contenido de proteínas y fibras (Ageawal y col., 2023; Hejna y col., 2022; Rachwal y col., 2020). Su composición química varía en función de los distintos tipos de cebada, de las condiciones de procesamiento, de la calidad y del tipo de aditivos utilizados (Mussatto y col., 2004). La composición química de la BSG se resume en la Tabla 3.3, cuyos resultados fueron informados previamente por Agrawal y col., (2022) y Hejna y col., (2022).

Tabla 3.3: Composición química del BSG

Composición química	Proporción (%)
Celulosa	10-25
Hemicelulosa	19-40
Lignina	11-27
Proteína	14-30
Ceniza	2,4-4,6

Durante el proceso de elaboración de cerveza el residuo sólido BSG atraviesa diversas etapas que modifican su estructura como se advierten en las micrográficas por FESEM (Fig.3.4). La Fig.3.4.a muestra la estructura de la cáscara de tipo porosa con células que exhiben un volumen sustancial de lumen y paredes delgadas. Además, el proceso de maceración indujo daños en la estructura de la cáscara en ciertas áreas, como se detallan en la Fig.3.4.b. En la Fig. 3.4.c se observa la estructura interna de la cáscara de tipo celular.

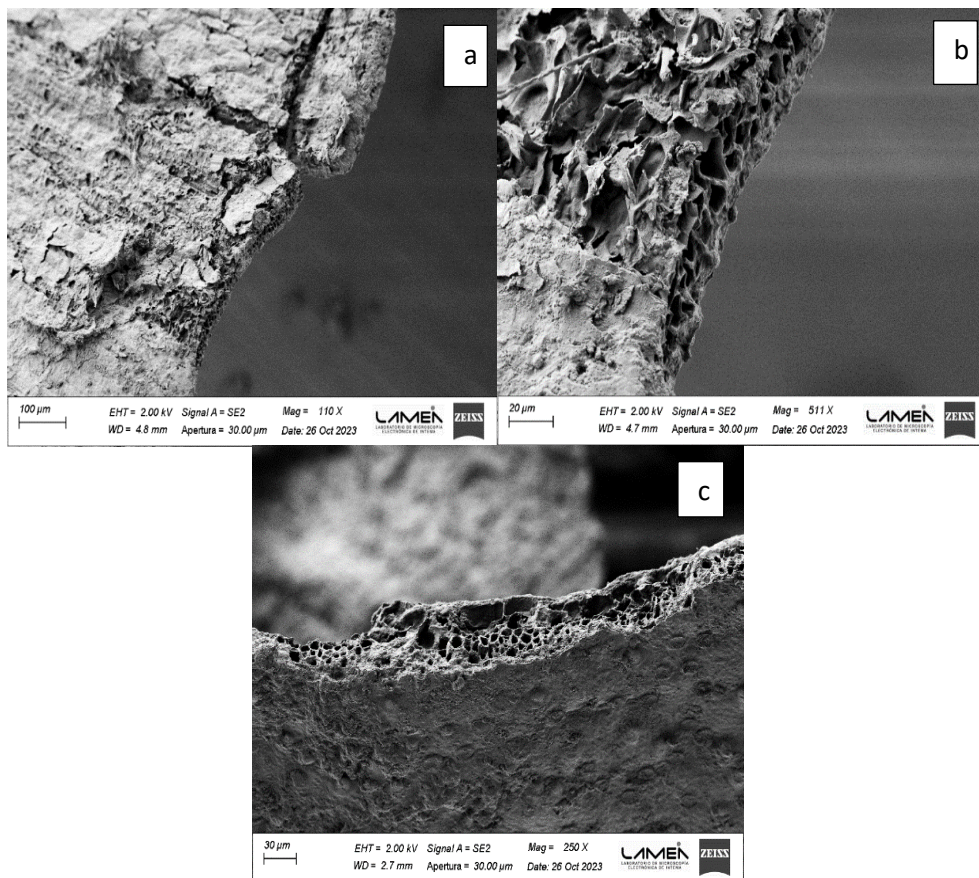


Fig.3.4 Micrografía de BSG obtenida por FESEM. a) 110X, b) detalle a 250X del cuadrado azul de la Figura a. c) Estructura interna de la BSG.

En las Fig.3.5 y 3.6 se presentan las curvas porcentuales de TGA y DTGA respectivamente, bajo atmósferas de aire y nitrógeno para las muestras de BSG analizadas. En la tabla 3.5 se informa que la temperatura de inicio de degradación (IDT) fue de 179 °C y 193 °C en atmósfera de aire y nitrógeno respectivamente. Estos valores podrían corresponder a la descomposición de azúcares y proteínas (Mishra y col., 2017).

En la fase inicial de la curva de ensayo de TGA (Fig.3.5 y 3.6), tanto en atmósferas de aire como de nitrógeno, se aprecia un pico inicial que corresponde a la pérdida de agua libre. Con el aumento de la temperatura, surgen picos adicionales asociados a la descomposición de los componentes orgánicos, como la hemicelulosa, la celulosa, la lignina, así como otros elementos como proteínas y azúcares, cuya variabilidad depende de su composición y proceso de elaboración (Mishra y col., 2017). Según lo informado por Rossi y col., 2024 (Tabla 3.5), la composición química de la BSG Pilsen utilizada en este estudio posee una alta proporción de hemicelulosa (28 %) a diferencia de la CA (18-21 %) y muy bajo contenido de celulosa (9,5 %). Por esta razón el pico de hemicelulosa es más marcado que el de celulosa en las curvas de DTGA.

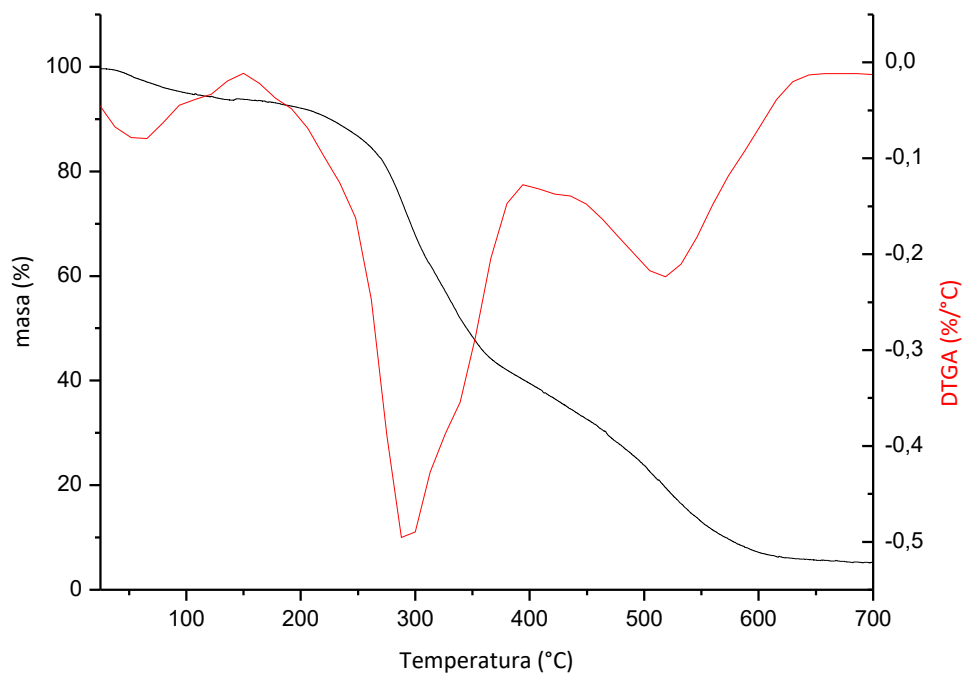


Fig.3.5 TGA y DTGA para BSG en Aire

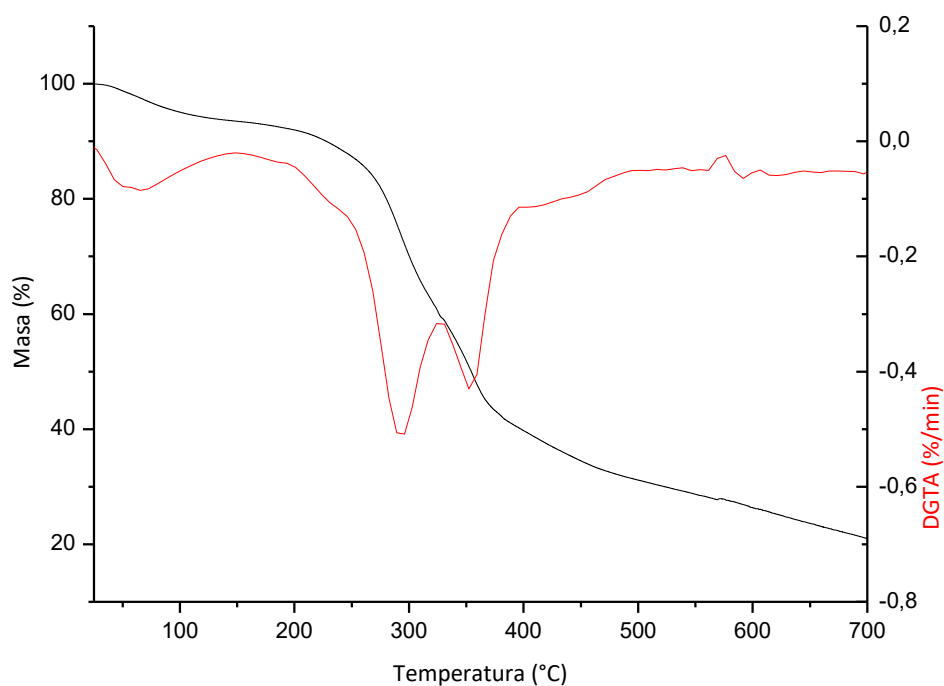


Fig.3.6 TGA y DTGA para BSG en Nitrógeno

Tabla 3.4: Valores TGA del BSG Pilsen

Atmósfera	IDT (°C)	% Residuo	T α (°C)	T β (°C)	T γ (°C)
a 700°C					
Aire	179	5	290	328	524
N2	193	21	293	351	

T α : temperatura de degradación de hemicelulosa. T β : temperatura de degradación de celulosa. T γ : temperatura de oxidación de residuo carbonoso.

Tabla 3.5: Composición química del BSG Pilsen (Rossi y col., 2024)

Composición química	Proporción (%)
Celulosa	9,5
Hemicelulosa	28,7
Lignina	11,2
Proteína	17,3
Ceniza	7,5

3.3 Resultados y discusión de los tableros de cáscara de arroz

3.3.1 Espesor, densidad y humedad

A partir de ensayos preliminares y considerando trabajos previamente informados (Sun y col., 2019) se prepararon tableros aglomerados con adhesivos biogénicos utilizando dos relaciones en peso de ácido cítrico con sacarosa: 50:50 y 75:25. En todos los casos se mantuvo constante el contenido de adhesivo en los tableros aglomerados (10 % en peso base seca). Pevio a la fabricación de los tableros se estableció como espesor y densidad objetivo 5 mm y 750 kg/ m³ respectivamente. No obstante, luego de estabilizar los tableros en la cámara de humedad (65 % HR, 20 °C), en todos los casos los valores de densidad medidos (Tabla 3.6) fueron inferiores al objetivo y con espesores superiores a 5 mm, independientemente de la relación AC/S utilizada. La marcada disparidad entre los valores obtenidos y objetivos fue debido al fenómeno de recuperación elástica (*springback*), donde la cáscara de arroz tiende a recuperar su forma original al liberarse la presión luego del prensado aun después de haber sido enfriada la muestra en el molde (Iwanato y col., 2019). Las características del adhesivo determinan la estabilidad dimensional y estructural del panel aglomerado, siendo su baja rigidez y el efecto plastificante de la humedad uno de los factores que puede afectar este equilibrio (Oraballis y col., 2020). El aglomerado se encuentra en condición prácticamente anhidra luego del prensado. Sin embargo, la baja rigidez propia del adhesivo y/o la humedad que incorpora durante su estabilización posterior en cámara podría plastificar al adhesivo ablandándolo y facilitando la recuperación elástica (Rosenfeld y col., 2022).

Dado los resultados de densidad obtenidos, inferiores a los objetivos propuestos, los tableros fabricados corresponden a la categoría de baja densidad (LD) según la clasificación de la norma ANSI A208.1 (Tabla 3.7) y no a tableros de media densidad (MD) como era lo previsto.

Tabla 3.6: espesor y densidad de placas de CA y AC/S

Relación AC/S	Espesor (mm)	Densidad (kg/m ³)	Humedad (%)
50:50	5,8 ± 0,3 ^a	648 ± 31 ^a	6,41 ± 0,05 ^a
75:25	6,1 ± 0,4 ^a	605 ± 10 ^a	6,78 ± 0,06 ^a

Los valores medidos en la misma columna seguida de letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0,05$) mediante la prueba de Tukey.

Tabla 3.7: Norma ANSI A208.1

Categoría	Densidad (kg/m³)	Usos
H-3		Muebles y estantes
H-2	>800	
H-1		
M-3		Muebles de cocina, estantes y contra pisos
M-2	640-800	
M-S		
M-1		
LD-2	<640	Núcleos de puertas
LD-1		

3.3.2 Resultados de los ensayos mecánicos

En la Fig.3.7 se muestran las curvas representativas del comportamiento a flexión, carga (N) *versus* flecha (mm), para los tableros de CA con adhesivos relación AC/S 50:50 y 75:25. Ambos tableros presentan un comportamiento típico para aglomerados del tipo elástico no lineal con rotura inicial en la zona traccionada. Una vez iniciada la fisura en la zona traccionada debido a la orientación de la cáscara de arroz por el prensado, la probeta sigue tomando carga hasta alcanzar la falla total.

En la Fig.3.8 se representan las curvas características correspondientes al ensayo de adhesión interna (IB) aplicado para los tableros de CA con una relación de adhesivo AC/S 50:50 y AC/S 75:25. Durante el ensayo, las muestras fueron sometidas a cargas incrementales hasta alcanzar el valor máximo para el inicio de la fisura. El fenómeno concluyó cuando la fisura se propagó por toda el área, dando como resultado la separación de dos bloques como se indica en la Fig.3.9.

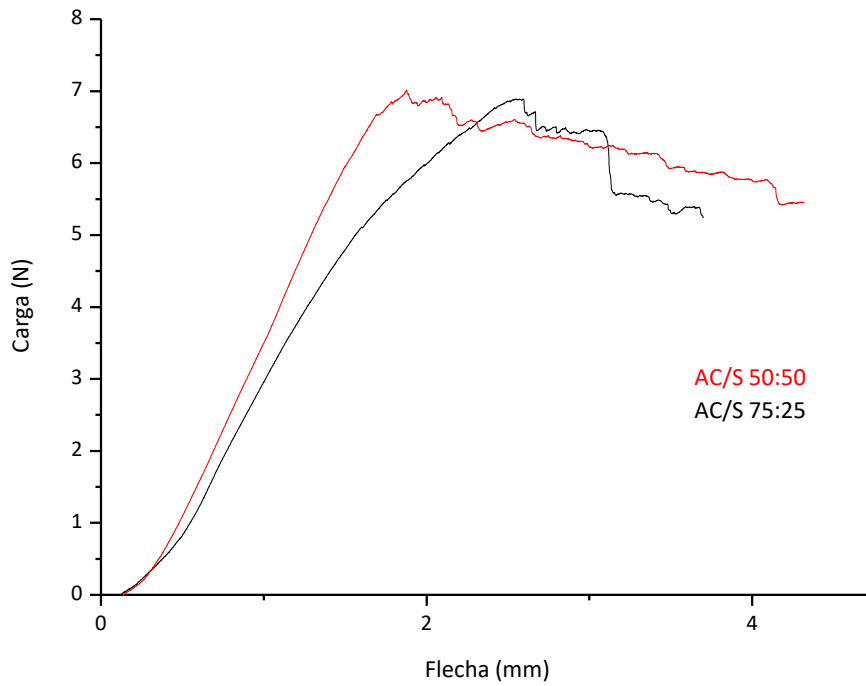


Fig.3.7 Ensayo de flexión en tres puntos para tableros de CA con diferente relación AC/S

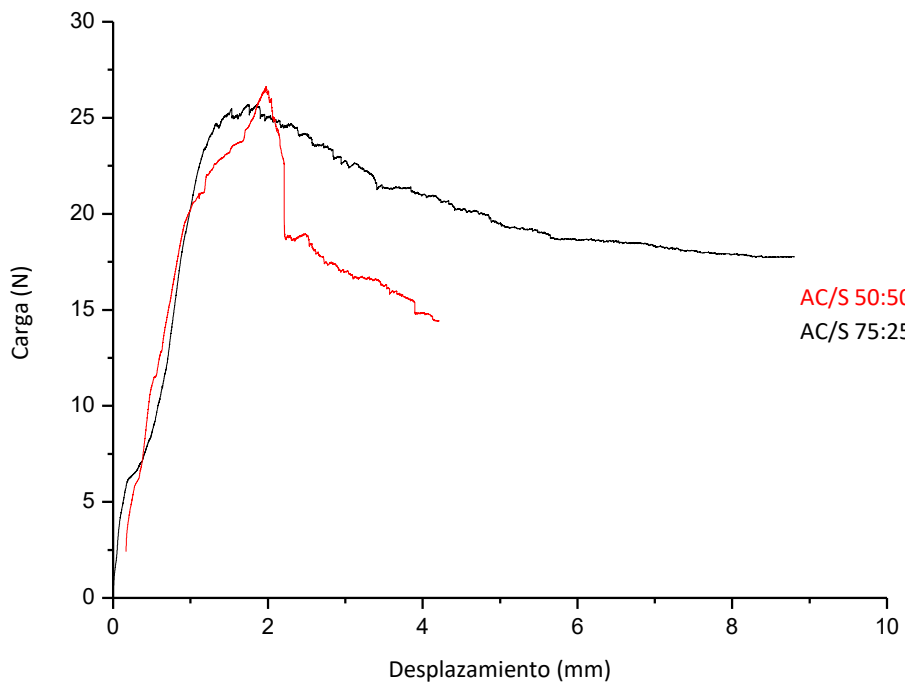


Fig.3.8 Ensayo de adhesión interna para tableros de CA con diferente relación AC/S



Fig.3.9 Perfil de rotura ensayo IB

En la Tabla 3.8 se resumen los valores de resistencia (MOR), módulo estático (MOE) y adhesión interna (IB) para los tableros con adhesivos AC/S 50:50 y AC/S 75:25. No se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tableros con AC/S 50:50 y AC/S 75:25 para ninguno de los parámetros mecánicos evaluados. Los resultados obtenidos para ambos sistemas fueron extremadamente más bajos que los valores de MOR, MOE e IB requeridos por la normativa ANSI 2081.1 para tableros de baja densidad LD1 y LD2 (ver Tabla 3.8). Una posible solución para mejorar este deficiente comportamiento mecánico sería incrementar el contenido de adhesivo (ej. hasta un 20 o 30 % en peso) con el fin de lograr una mejor adherencia entre las partículas lignocelulósicas (Ferrandez y col., 2019). Sin embargo, el uso de un contenido excesivo de adhesivo le otorgaría al producto características más cercanas a un material compuesto tradicional que al de un tablero aglomerado. Si consideramos que el adhesivo es el insumo con más alto costo, la producción los tableros sería inviable bajo estas condiciones.

Para propósitos de comparación en la tabla 3.8 también se resumen los valores de MOR, MOE e IB de tableros aglomerados a base de cáscara de arroz y adhesivo de concentrado de proteína de soja modificado con álcali (Negro y col., 2015). Al igual que el sistema bajo estudio, los mismos contienen un 10 % en base sólida de concentrado de proteína de soja modificada y los tableros aglomerados presentaron una densidad similar (650 kg/m^3). El tratamiento alcalino es el método más simple y ampliamente utilizado para aumentar la capacidad de adhesión de proteínas. La capacidad de adherencia de las proteínas de la soja depende de su capacidad para dispersarse y desplegarse en solución (Wescott y Frihart, 2004). Las cadenas proteicas desplegadas aumentan su área de contacto y adherencia en la superficie del sustrato, y se enredan entre sí durante el proceso de curado pudiendo generar uniones covalentes disulfuro e interacciones físicas con el sustrato lo que mejora la resistencia de la unión adhesiva. Esto

último proceso, se ve favorecido mediante el tratamiento con álcali como ha sido previamente informado (Ciannamea y col., 2010). Los tableros de baja densidad con concentrado de proteína de soja modificada y cáscara de arroz alcanzaran valores de MOR, MOE e IB más altos que los requeridos en los niveles LD1 y LD2 de la normativa ANSI 208.1 lo cual indica la buena performance del adhesivo respecto a los sistemas actualmente disponibles en el mercado (Negro y col., 2015).

Tabla 3.8: Propiedades mecánicas de los tableros basados en cáscara de arroz y valores definidos por la Norma ANSI (208.1)

Sustrato	Adhesivo 10% base sólida	Densidad (kg/m ³)	MOR (MPa)	MOE (Gpa)	IB (MPa)	Ref.
CA	AC/S 50:50	648 ± 31 ^a	1,6 ± 0,6 ^a	0,62 ± 0,27 ^a	0,009 ± 0,003 ^a	Propio
CA	AC/S 75:25	605 ± 10 ^a	1,3 ± 0,5 ^a	0,46 ± 0,25 ^a	0,007 ± 0,002 ^a	Propio
CA	Soja	650 ± 50	8 ± 0,5	1,5 ± 0,4	0,14 ± 0,02	Negro (2015)
Categoría		Densidad (kg/m ³)	MOR (MPa)	MOE (Gpa)	IB (MPa)	
LD-2		< 640	5	1,03	0,15	
LD-1		< 640	3	0,55	0,1	

Los valores medidos en la misma columna seguida de letras diferentes son significativamente diferentes (p<0,05) mediante la prueba de Tukey.

3.3.3 Propiedades físicas de los tableros de CA: absorción de agua y contenido de humedad

En la Tabla 3.9 se presentan los valores de humedad de equilibrio (muestras estacionadas en cámara a 65 % de humedad relativa y 20°C), así como los valores de absorción (WA) y de hinchamiento en el espesor (TS) obtenidos a partir de los ensayos de inmersión en agua a 2 y 24 horas de las formulaciones estudiadas. Además, se incluyen para fines comparativos, los mismos parámetros informados para tableros de baja densidad de cáscara de arroz y concentrado de proteína de soja (Negro y col., 2015).

Tabla 3.9: Ensayos de inmersión de tableros de CA

Relación AC/S	WA 2h (%)	TS 2h (%)	WA 24h (%)	TS 24h (%)	Ref.
50:50	63 ± 14 ^a	26 ± 7 ^a	150 ± 17 ^a	61 ± 6 ^a	Propia
75:25	52 ± 10 ^a	17 ± 2 ^a	134 ± 13 ^a	59 ± 7 ^a	Propia
Soja	64 ± 16	9 ± 2	99 ± 12	21 ± 2	Negro (2015)

Los valores medidos en la misma columna seguida de letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0,05$) mediante la prueba de Tukey.

No se detectaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el contenido de humedad de equilibrio entre los tableros con diferente relación AC/S. Sin embargo, estos valores fueron sustancialmente menores que los obtenidos para los tableros con concentrado de proteína de soja. En cuanto a los valores de WA y TS, como era de esperar, aumentaron significativamente con el tiempo de inmersión en agua (2 y 24 horas), pero no se observaron diferencias significativas entre las formulaciones con diferente relación AC/S para cada tiempo de inmersión. Los valores de WA a 2h para los dos tableros con diferentes AC/S fueron similares a los obtenidos para los tableros con adhesivo de proteína de soja, mientras que para más altos tiempo de inmersión (24h) los valores de WA de los tableros con AC/S fueron muy superiores a la de los tableros con adhesivo proteico. En cuanto a los valores de TS no se observaron diferencias significativas entre los tableros con diferente relación AC/S, pero fueron aproximadamente el doble que los valores informados para los tableros de proteína de soja tanto a 2 como 24 h de inmersión. Según Kiariuki y col., (2020) altos valores de WA y bajos valores de TS son consecuencia de una baja densidad de los tableros que conduce a un aumento en la absorción de agua. Este resultado coincide con los bajos valores de IB medidos para este sistema lo que facilita el proceso de hinchamiento de la muestra al ser sumergidas en agua (Rossi y col., 2024). Los valores de IB de los tableros con proteína de soja fueron un orden de magnitud mayor que los tableros con AC/S limitando así el proceso de hinchamiento (TS) durante el ensayo de inmersión.

Según el estándar estadounidense ANSI/A208.1 para la construcción de placas de revestimiento para hogares, los tableros de partículas deben tener un valor máximo de hinchamiento en espesor del 8 % (para un tiempo de inmersión de 2 horas) si son destinados para uso exterior con mojado ocasional. Los paneles basados en cascara de arroz y adhesivos

AC/S no cumplieron con los requisitos de hinchamiento en espesor mencionados anteriormente y su uso debe limitarse para aplicaciones en ambiente interior o protegido.

En la literatura se han informado algunas formas de disminuir el WA, una de ellas es a partir de la incorporación de parafinas a la formulación de adhesivo (Kariuli y col., 2020; Papadopoulos y col., 2006) o el recubrimiento con aceites secantes, como por ejemplo el aceite de tung (Chalapud y col., 2020), las cuales serían potencialmente una alternativa para mejorar la resistencia al agua de estos tableros. Sin embargo, es necesario evaluar previamente la compatibilidad con el adhesivo y su efecto sobre el comportamiento mecánico del tablero.

3.4 Resultados y discusión de los tableros de bagazo cervecero





3.4.1 Resultados de los ensayos para la formulación de tableros BSG

Para obtener los aglomerados de BSG se llevaron a cabo diferentes pruebas exploratorias iniciales modificando las variables de temperatura, tiempo y contenido de agua agregada, pero se mantuvo la presión a 2,1 MPa. A continuación, se presentan los resultados de cada uno de estos ensayos, y en la Tabla 3.10 se resume la información sobre las condiciones empleadas junto con el registro fotográfico correspondiente.

Inicialmente se utilizó un tiempo de prensado de 20 min con 62% de humedad en la mezcla y una temperatura de 180 °C. Sin embargo, a los 17 min la muestra experimentó una pérdida de material antes de alcanzar el tiempo de prensado especificado como se detalla en la Tabla 3.10 (Ensayo N° 1). Este proceso se produjo debido a la alta tasa de generación de vapor y a la falta de autoadhesión entre las partículas (baja resistencia interna). Como consecuencia de ello, las partículas de BSG explotaron en el molde creando espacios vacíos que permitieron la despresurización del mismo (Pintaux y col., 2015). Una vez iniciado este proceso, continuó en toda la muestra hasta que la presión o el contenido de agua disminuyeron. Para el Ensayo N° 2, se redujo el tiempo de prensado a 15 minutos, manteniendo la misma temperatura y humedad que en el Ensayo N° 1. Esto resultó en un tablero flexible debido a la presencia de agua que no pudo ser evaporada durante el proceso y su efecto plastificante (Pintaux y col., 2015). Luego, se redujo la temperatura a 150 °C (Ensayo N° 3) utilizando una humedad de mezcla de 34% y se obtuvo una placa mal conformada que se descascaraba al tacto ya que las partículas no se adhirieron correctamente, posiblemente debido a la baja temperatura de prensado. En el Ensayo N°4, se logró conformar una placa de acuerdo a lo deseado utilizando una temperatura de 160 °C, un tiempo de prensado de 15 min y 41% de humedad en la mezcla. Durante el almacenamiento en cámara de humedad controlada (25 °C, 65 % HR), la muestra mantuvo su

forma estable. Los parámetros del Ensayo N° 4 fueron utilizados para el desarrollo y análisis de tableros *binderless* basados en BSG. Por último, cabe resaltar que la aparición de un color marrón oscuro en los tableros podría atribuirse a las reacciones de Maillard durante la termocompresión (Nursten y col., 2005).

Tabla 3.10: Condiciones de los ensayos para la conformación de tableros.

	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3	Ensayo N° 4
Tiempo	20 min	15 min	15 min	15 min
Temperatura (°C)	180 °C	180 °C	150 °C	160 °C
Humedad mezcla(%)	62%	62%	34%	41%
Registro fotográfico				

3.4.2 Espesor, densidad y humedad

Para estos tableros se consideró un espesor y densidad objetivo de 5 mm y 1000 kg/m³ respectivamente. En la Tabla 3.11 se resumen los valores de los espesores, densidades y humedad obtenidos para los tableros *binderless* y con adhesivo fenólico (Ciannamea y col., 2017; Leiva y col., 2007). Ambos tipos de tableros alcanzaron valores de espesor y densidad muy cercanos a los objetivos. A partir de los valores de densidad obtenidos los mismos se clasificaron como aglomerados de alta densidad (HD) según la norma ANSI A208.1 (ver Tabla 3.7).

Tabla 3.11: Espesores y densidades de los tableros BSG

Tableros BSG	Espesor (mm)	Densidad (kg/m ³)	Humedad (%)
Adhesivo fenólico	5,2 ± 0,1 ^a	1050 ± 51 ^a	8,2 ± 0,2 ^a
<i>Binderless</i>	5,4 ± 0,1 ^a	980 ± 40 ^a	9,8 ± 0,7 ^a

Los valores medidos en la misma columna seguidos de letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0,005$) según la prueba de Tukey.

3.4.3 Resultados de ensayos mecánicos de los tableros

En la Fig.3.10 se muestran las curvas representativas del ensayo de flexión en tres puntos para los tableros *binderless* y control con adhesivo fenólico. Se observa que a medida

que aumenta la flecha, el comportamiento del material para ambos aglomerados es elástico no lineal hasta alcanzar la rotura. En ambas curvas se observa un máximo asociado al inicio de la falla en la zona traccionada.

En los ensayos de IB (Fig.3.11) ambos aglomerados toman carga hasta alcanzar el valor máximo donde se inicia la fisura, a medida que aumenta el desplazamiento del cabezal, la fisura propaga reduciendo el área efectiva para soportar carga. La falla de produce cuando la fisura propaga por toda el área de la probeta.

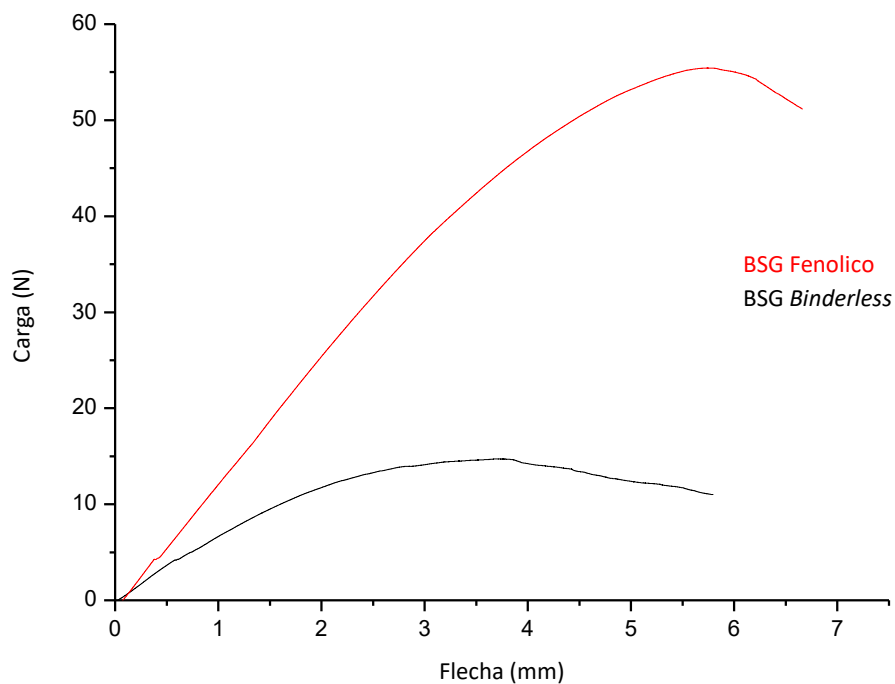


Fig.3.10 Ensayo flexión en tres puntos para tableros BSG fenólico y *Binderless*

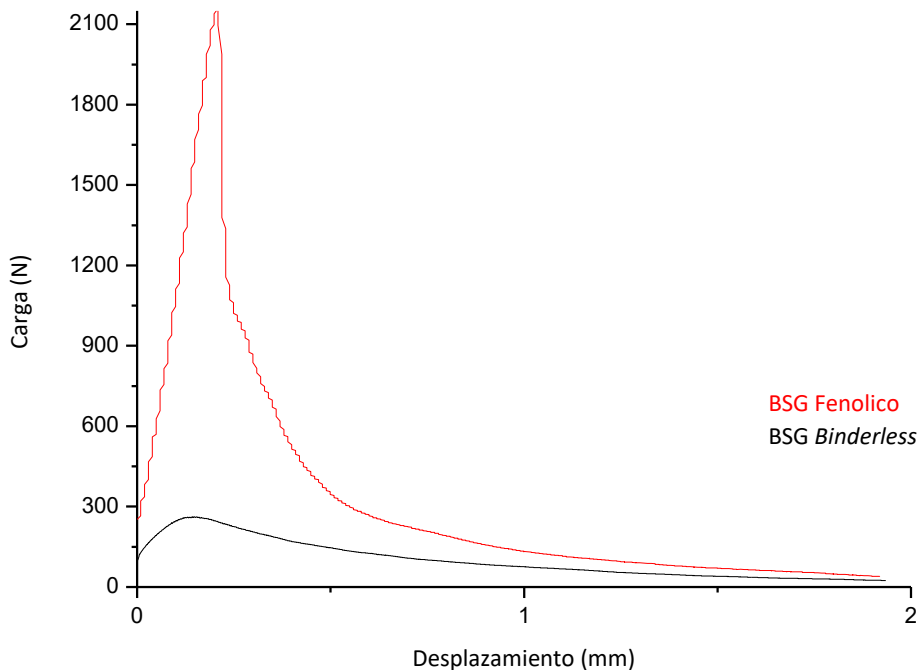


Fig.3.11 Ensayo de adhesión interna para BSG fenólico y *Binderless*

Los valores de MOR, MOE e IB para los tableros de control (con adhesivo fenólico) fueron muy superiores a la de los tableros sin adhesivo agregado (Tabla 3.12). Las propiedades de los tableros de BSG sin adhesivo agregado dependen de la efectividad del proceso de autoadhesión y de la rigidez del sustrato. El comportamiento mecánico mejora a partir de una unión efectiva entre partículas, la cual depende de las reacciones asociadas a los compuestos químicos del BSG (hemicelulosa, lignina, entre otros), que son los responsables de otorgar integridad estructural al tablero, cuando son activadas por efecto de la temperatura y en presencia de agua, como se discutió anteriormente (Mahieu y col., 2021; Milawarni y col., 2019; Hubbe y col., 2018). Los valores de MOE e IB del tablero de BSG sin adhesivo agregado fueron similares a los informados por Ferrández y col (2022) para tableros sin aglutinantes a base de sorgo dentro del mismo rango de densidad, no así el valor de MOR, y fueron inferiores respecto a los basados en bagazo de caña de azúcar o cáscara de arroz (Jamauldin y col., 2020), o a partir de madera (Jianying Xuy col., 2023).

Por otro lado, el tablero de partículas unido con el adhesivo fenólico (control) mostró las mejores propiedades mecánicas debido a la naturaleza química intrínseca del adhesivo sintético y sus interacciones favorables con el sustrato lignocelulósico (Cianname y col., 2017). Los adhesivos fenólicos pueden mojar, extender y penetrar el lumen y la pared celular de los

desechos lignocelulósicos (Ciannamea y col., 2017; Hunnt y col., 2018; Ayrilmis y col., 2012) y formar un fuerte vínculo entre las partículas de BSG mediante la formación de una red polimérica entrecruzada covalente. Además, el adhesivo puede permear la pared celular de la cáscara de BSG, lo cual es posible a través de la difusión de componentes del adhesivo de bajo peso molecular (Ayrilmis y col., 2012). Los valores de MOE bajos de los tableros de BSG sin adhesivos como con adhesivo fenólico podrían estar relacionados con una baja rigidez inherente del sustrato que estaría asociado su bajo contenido de celulosa (9,5 %), en comparación, por ejemplo, con la madera de eucalipto (aproximadamente 40 %) y otros desechos lignocelulósicos como la cáscara de arroz (30 %) (Ciannamea y col., 2017; Chalapud y col., 2023; Nicolao y col., 2020; Larregle y col., 2021). Sin embargo, ninguno de los tableros analizados alcanza a cumplir los requerimientos de la norma ANSI A208.1 para aglomerados de alta densidad.

Tabla 3.12: Resultados y evaluación comparativa de propiedades mecánicas de tableros BSG.

Sustrato	Adhesivo	Densidad (kg/m ³)	MOR (MPa)	MOE (GPa)	IB (MPa)	Ref.
BSG	Fenólico	1050 ± 51 ^a	8,96 ± 0,72 ^a	1,09 ± 0,09 ^a	0,68 ± 0,13 ^a	Propio
BSG	<i>Binderless</i>	990 ± 50 ^a	1,82 ± 0,25 ^b	0,46 ± 0,06 ^b	0,09 ± 0,03 ^b	Propio
CA	<i>Binderless</i>	800 ± n/a	13 ± 2	1,028 ± 0,058	0,3 ± 0,2	Jamauldin (2020)
Bagazo caña de azúcar	<i>Binderless</i>	800 ± n/a	20 ± 1,6	1,907 ± 0,129	0,6 ± 0,2	Jamauldin (2020)
Madera (*)	<i>Binderless</i>	800 ± n/a	12 ± 2,5	1,8 ± 0,2	0,52 ± 0,05	Jianying Xu (2023)
Sorgo	<i>Binderless</i>	950 ± 7,87	7 ± 3	1,5 ± 0,2	0,1 ± 0,05	Fernandez (2022)
	Categoría	Densidad (kg/m³)	MOR (MPa)	MOE (Gpa)	IB (MPa)	
	H-3	> 800	23,5	2,75	1	
	H-2	> 800	20,5	2,4	0,9	
	H-1	> 800	16,5	2,4	0,9	

Los valores medidos en la misma columna seguidos de letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0,005$) según la prueba de Tukey.

(*) Madera *Broussonetia papyrifera*.

3.4.4 Ensayo de inmersión de tableros BSG

Los tableros con adhesivo fenólico obtuvieron menor WA y TS respecto a los tableros *binderless*, como se resume en la Tabla 3.13, debido a que el adhesivo sintético forma una red tridimensional insoluble que mejora significativamente las propiedades del tablero en presencia de agua (Ciannamea y col., 2017).

La respuesta de los tableros de partícula *binderless* y tablero de control a las pruebas de inmersión en agua se presentan en la tabla 3.13. Los tableros *binderless* de BSG se desintegraron completamente después de 24 h, en línea con el bajo valor de IB, reforzando la hipótesis de una pobre adhesión entre las partículas. Por el contrario, el tablero de control mostró valores de WA y TS más bajos, esto es debido a que la resina fenólica forma una red polimérica insoluble que mejora significativamente su comportamiento frente al agua (Ciannamea y col., 2017). Al comparar las propiedades físicas de los tableros *binderless* con los informados en la literatura para otros sistemas como sorgo (Fernandez y col., 2022), cáscara de arroz, bagazo de caña de azúcar (Jamaludin y col., 2020) y madera *Broussonetia papyrifera* (Jianying Xu y col., 2023) se observaron altos valores de WA (150 %) y TS (136, 2%) para el sustrato BSG en comparación con la CA, el bagazo de caña de azúcar y sorgo para valores de densidad similares. Sin embargo, todos los tableros presentan dificultades para lograr alcanzar los estándares de referencia.

En la Fig.3.12 a se ilustra una micrografía FESEM de la superficie del tablero *binderless* donde se advierte deficiencias en el contacto entre las partículas en concordancia con los altos valores de WA y TS y bajos resultados de IB. Mientras que en la Fig.3.13 el tablero de control muestra una estructura más compacta y un contacto efectivo entre las partículas debido a la incorporación del adhesivo. Esta morfología es consistente con los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas y físicas.

Como estrategia para mejorar la autoadhesión, Jamaludin y col., (2020) y Stefan Villamizar y col., (2017) ha demostrado que es posible alcanzar resultados favorables al reducir el tamaño de grano del sustrato debido a que tiene un impacto positivo en la distribución y compactación, lo que se traduce en una mayor resistencia y estabilidad dimensional del tablero.

Tabla 3.13: Ensayos de inmersión de tableros BSG y comparativa

Adhesivo	Sustrato	Densidad (kg/m ³)	WA 2h (%)	TS 2h (%)	WA 24h (%)	TS 24h (%)
Fenólico	BSG	1050 ± 51 ^a	16,7 ± 2,4 ^a	12,3 ± 2,2 ^a	35,4 ± 2,9 ^a	34,5 ± 2,9 ^a
<i>Binderless</i>	BSG	990 ± 50 ^b	153,2 ± 25 ^b	126,5 ± 10,5 ^b	nd	nd
<i>Binderless</i>	CA	800	83 ± 6	35 ± 2,7		
<i>Binderless</i>	Bagazo caña de azúcar	800	142 ± 6,6	93 ± 5		
<i>Binderless</i>	Madera ^(*)	800	58 ± 20	15 ± 23		
<i>Binderless</i>	Sorgo	950	70 ± 12	37,93 ± 3,4		

Los valores medidos en la misma columna seguida de letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0,005$) mediante la prueba de Tukey.

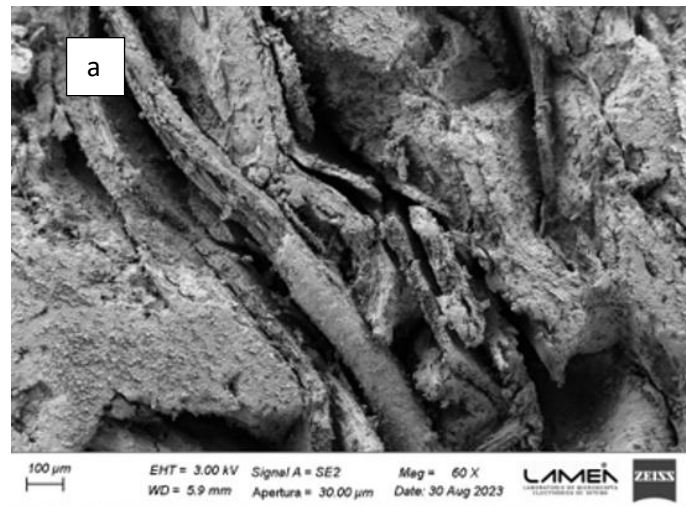


Fig.3.12 Superficie transversal del tablero *Binderless*

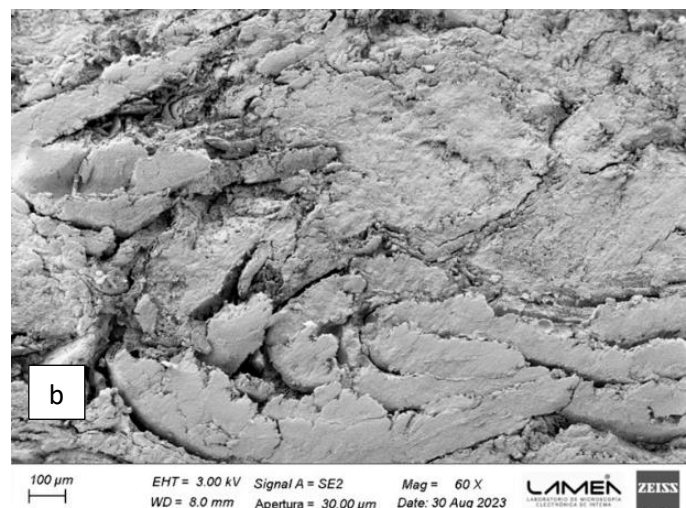


Fig.3.13 Micrografía FESEM de la superficie del tablero de control

3.5 Conclusiones parciales del capítulo 3

Se obtuvieron tableros aglomerados basados en dos sistemas 100% sostenibles, libres de compuestos volátiles tóxicos como el formaldehído: i) cáscara de arroz (CA) con un adhesivo biogénico basados en sistemas ácido cítrico-sacarosa (AC-S), y ii) por autoadhesión de bagazo cervecero (BSG).

Con respecto a la viabilidad de emplear CA o BSG como sustratos sustitutos de la madera en tableros aglomerados de partículas, se destacaron varios puntos a lo largo del trabajo que lo ubican como buenos candidatos a pesar de sus limitaciones que podrían superarse orientando su uso adecuadamente. Ambos sustratos poseen una estabilidad térmica similar a la madera, lo que permite prensarlos con una ventana de temperaturas similar. Sus tamaños de partículas son adecuados para el conformado de los tableros aglomerados sin requerir una molienda previa, como sí ocurre en la producción de los aglomerados basados en madera. En particular, el alto contenido de hemicelulosa en el bagazo favorece las reacciones requeridas para la autoadhesión durante el prensado en caliente.

En cuanto a las propiedades mecánicas y resistencia al agua, los tableros aglomerados de CA con los adhesivos AC-S no alcanzaron los estándares requeridos para tableros de baja densidad, según el estándar ANSI A208.1. La baja performance se asoció con la baja adhesividad del sistema y su susceptibilidad a la humedad. Sin embargo, eso no limita el uso de la CA como sustrato para otros adhesivos biogénicos, como por ejemplo los derivados de la soja. Como se demostró en trabajos previamente informados la formación de uniones disulfuro entre las cadenas de la proteína de soja durante el presado en caliente del tablero, es un factor clave para la estabilidad, performance mecánica y resistencia al agua de los tableros aglomerados.

En cuanto a las propiedades mecánicas y resistencia al agua de los tableros de alta densidad basados en BSG se observó que tampoco alcanzaron los estándares ANSI A208.1. Esto estaría asociado a su bajo contenido de celulosa, lo que reduce su rigidez en comparación con otros residuos lignocelulósicos o madera. Sin embargo, los tableros basados en BSG todavía pueden usarse efectivamente para paneles decorativos de revestimiento interior o protegido donde la rigidez no es un factor crítico.

Capítulo 4:

Evaluación Económica Proyecto BSG Binderless

4.1 Resumen

En la actualidad, la ciudad de Mar del Plata se ha convertido en uno de los polos industriales de la cerveza artesanal más relevantes de la costa atlántica. Este nicho, está conformado por una gran cantidad de industrias cerveceras, donde la producción es cada vez más notable, tanto a escala local como internacional.

Por ejemplo, una fábrica con una producción a pequeña escala, como es la cervecería Bohr de Mar del Plata, proveedora del BSG utilizado en este trabajo, produce 5 Ton/mes de residuo de bagazo. Este residuo resulta ser apropiado para transformarlo en un nuevo producto de bajo costo, sostenible y económicamente rentable para las cervecerías.

Por esta razón se llevará a cabo un análisis económico, que tiene por objetivo evaluar un proyecto dedicada a la fabricación de tableros aglomerados *binderless* de bagazo para ser utilizados como porta vasos. A partir de este nuevo producto, se busca generar prácticas más amigables con el medio ambiente siguiendo los preceptos de la economía circular en cuanto a la reutilización de los residuos (Ver Fig.4.1). El emprendimiento se establecerá dentro de una fábrica de cerveza ubicada en la ciudad de Mar del Plata.

La inversión total (IT) estimada para el proyecto es de U\$S 198.098,26 la cual se afrontará con capital propio.

La rentabilidad se evaluó con el método de tasa interna de retorno (TIR) y con el método estático.



Fig.4.1 Porta vasos

4.2 Estudio del mercado: contexto actual

En la actualidad la industria de cerveza artesanal se encuentra en expansión productiva. En Argentina se estima que existen más 1500 productores y se cuenta con una producción anual de 25 millones de litros según los informes de la Cámara de industria cervecera Argentina. En el caso de la ciudad de Mar del Plata, el sector cuenta con 52 fábricas, las cuales tratan sus residuos depositándolos en el relleno sanitario anaeróbico municipal (Diario Clarín, 2019).

Al analizar el mercado local no existe actualmente tableros de bagazo, ni de madera con adhesivos biogénicos. Sin embargo, existe en el mercado internacional productos ecológicos destinados a ser utilizados como revestimientos decorativos o paneles destinados para la construcción. Algunos ejemplos de ello son: tableros de cáscara de arroz (Kirei USA), tableros de bambú (Smith and fong), entre otros.

4.3 Plan de negocios

El proyecto se encuentra en sus inicios de desarrollo e investigación, por lo cual el plan de negocios propuesto se basa en proyecciones futuras, donde el producto final contará con los requerimientos necesarios para su venta.

Al tratarse de un nuevo producto de carácter ecológico, su introducción al mercado puede ser en un principio muy dificultoso. Es por ello que se propone realizar una asociación entre una empresa de cervecería artesanal local, la cual proveerá la materia prima y la transformará para su uso en vez de adquirir productos como los apoya vasos. En las siguientes secciones se describirá el proceso productivo, el detalle de materias primas para la producción, la descripción de equipos necesarios y el plano de diseño de planta con el objetivo de proponer y desarrollar un análisis económico a escala piloto.

4.3.1 Proceso productivo de tableros de bagazo y requerimientos

Una vez finalizado el proceso de elaboración de cerveza, la fábrica deposita en grandes bolsones el bagazo. Luego, el bagazo se coloca en recipientes y se lleva al horno hasta alcanzar un porcentaje de humedad adecuado para su uso y almacenamiento. Después de completar este proceso, el bagazo se coloca en un molde de 60x60 cm, se rocía con agua y se lleva a una prensa calefaccionada a 160 °C. A continuación, se enfría y se procede a desmoldar la pieza para luego cortarla con una sierra eléctrica y obtener portavasos de 10x10 cm (Ver Fig.4.2).

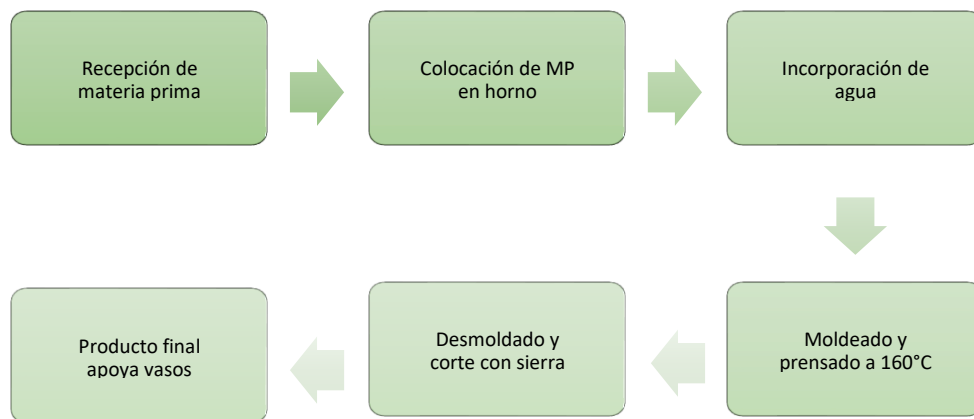


Fig.4.2 Esquema proceso productivo propuesto

La materia prima requerida para la obtención de tableros es el bagazo de cerveza. A continuación, se presenta la descripción técnica de los equipos a escala piloto y herramientas necesarios para el proceso productivo.

1. Mezcladora

Voltaje	220 V
Frecuencia	50 HZ
Potencia	3 KW
Dimensiones	910 X 570 X 109 mm
Peso neto	168 Kg

2. Horno secador

Temporizador	De 1 min a 99 hs
Potencia	1,5 Kw x 2
Dimensiones externas	1180x1616x651 mm
Peso	190 Kg

3. Molde de acero

Dimensiones	60x60 cm
--------------------	----------

4. Prensa

Presión máxima	16 Mpa
-----------------------	--------

Dimensiones placa	60X60 cm
--------------------------	----------

5. Balanza
6. Sierra de mesa

Se propone una estructura de costos conformada por un 67 % de materia prima (BSG) , un 9 % de mano de obra, 1% en supervisión, servicios el 15 %, mantenimiento el 8 % y suministros el 1 %.

En la Fig.4.3 se observa el *layout* de una fábrica pequeña de cerveza artesanal de la ciudad de Mar del Plata de 250 m².



Fig.4.3 *Layout* planta de cerveza donde se le incorpora la fabricación de porta vasos.

4.4 Inversión económica

4.4.1 Estimación de la inversión

Considerando los equipos necesarios para la producción de tableros mencionados en la sección 4.3.1 se observa en la Tabla 4.1 los costos estimados para cada uno de ellos. Se tiene en cuenta la cantidad, el valor de cada equipo y el valor de la instalación o traslados en dólares.

Tabla 4.1: Costos de equipos

Costos	Costo equipos (USD)	Valor equipo instalado (USD)
Mezcladora Silckook	6.336,69	7.604,03

Horno secador	7.000,00	8.400,00
Molde	200,00	240,00
Prensa	50.000,00	60.000,00
balanza	2.000,00	2.400,00
Sierra industrial	4.238,50	5.086,20
Cajas de almacenamiento	100,00	120,00
Total USD		83.850,23

Al recibir los equipos en planta, estos serán instalados correctamente, debiendo contar con estructuras de soporte y posterior calibración. Estas tareas serán llevadas a cabo por personal especializado. El costo de la instalación de los equipos depende del tipo de ingeniería de proceso. En este caso, se considera ingeniería inmediata y el costo de instalación se estimó como el 20 % del valor del equipo.

La inversión de equipos es de USD 83.850,23

Para el cálculo de la inversión fija, la cual se define como la cantidad de dinero necesaria para construir una planta en su totalidad y poder comenzar a producir, se estimó con el método de los factores directos e indirectos, ver en Tabla 4.2. Cada factor refleja un componente específico del sistema y su impacto en la inversión total.

A continuación, se detalla cada uno:

1. Tubería de Proceso (Proceso sólido): este factor indica la fracción de la inversión fija que se asigna cuando el proceso involucra compuestos sólidos.
2. Instrumentación (Control parcialmente automatizado): se refiere al porcentaje de la inversión total dedicado a la instrumentación necesaria para las operaciones del proceso.
3. Edificios de Fabricación (Construcción cerrada): este factor indica la parte de la inversión destinada a la construcción de edificaciones cerradas que albergan las operaciones de fabricación. El rango proporcionado refleja la variabilidad en el costo de construcción según el tipo de estructura. En este caso el factor es considerado cero ya que se destinará un sector de la fábrica a colocar la prensa y el horno.

4. Planta de Servicios (Escasa adición a las existentes): representa la proporción de la inversión fija asociada con la instalación de servicios adicionales en una planta industrial. Esto incluye servicios como suministro de agua, energía eléctrica, entre otros.
5. Conexiones entre Unidades (Entre las unidades de servicio): este factor indica el porcentaje de la inversión total asignado a la creación de conexiones físicas entre diferentes unidades de servicio dentro de la instalación industrial. Estas conexiones facilitan el intercambio de materiales o productos entre las unidades para garantizar un flujo continuo de operaciones.
6. Ingeniería en Construcción (Inmediata): refleja la fracción de la inversión destinada a los servicios de ingeniería.
7. Factores de Tamaño (Unidad Experimental): indica la parte de la inversión relacionada con la adaptación del tamaño de la instalación, especialmente cuando se trata de una unidad experimental o prototipo.
8. Contingencias (Variaciones Imprevistas): representa la fracción de la inversión dedicada a contingencias para hacer frente a posibles variaciones imprevistas en los costos durante la ejecución del proyecto. Estas contingencias pueden incluir cambios en los precios de los materiales, retrasos en la construcción o imprevistos durante la implementación del proyecto.

Tabla 4.2: Cálculo de la inversión fija.

Valor equipo principal instalado	factores	clasificación	valor
	Tubería de proceso	Proceso sólido	0,09
	Instrumentación	control parcialmente automatizado	0,08
	Edificios de Fabricación	Construcción cerrada	
	Planta de Servicios	Escasa adhesión a las existentes	0,03
	Conexiones entre unidades	entre las unidades de servicio	0,03
IE			1,21
ID			USD 101.458,78
	Ingeniería en construcción	Inmediata	0,28
	Factores de tamaño	Unidad experimental	0,25

	Contingencias	Variaciones imprevistas	0,25
FII			1,78
IF			USD 180.089,33
TERRENO			
IFT			USD 180.089,33
CAPITAL DE TRABAJO			USD 18.008,93
IT			USD 198.098,26

Para el cálculo de la inversión fija total, se requiere incluir el capital de trabajo, el cual se determinó como el 10 % de la inversión fija. Esto representa los gastos necesarios para ejecutar la puesta en marcha de la producción.

4.4.2 Costos de operación

Los costos de operación son aquellos gastos necesarios para mantener la producción y el proyecto en marcha. Estos se clasifican en costos variables (Tabla 4.3) y costos fijos (Tabla 4.4). Dentro de los costos variables se encuentran:

1. Materia prima.

2. Mano de obra: estará conformado por un operario el primer año del proyecto. Luego se incorpora un segundo operario al año siguiente manteniendo un solo turno durante los siguientes años de proyecto. Los operarios deberán colocar el bagazo seco en el horno para realizar el secado. Posteriormente deberán prepara la mezcla y llevar los moldes a la prensa. Una vez obtenidas las placas, deberán cortar con una sierra para obtener los apoya vasos de 10 x 10 cm. Se obtienen cuatro unidades por tablero.

3. Supervisión: el costo de supervisión consideró el 10 % del costo de mano de obra, ya que los esfuerzos y los niveles de complejidad del proceso no son de carácter múltiple.

4. Servicios: Se contemplan aquellos servicios que son requeridos para realizar la producción como la energía eléctrica, la energía destinada a la iluminación y al consumo de agua, los cuales se suponen que representan un 15 % del costo variable.

5. Mantenimiento: Incluye los costos de mano de obra como de materiales empleados para reparaciones y mantenimientos preventivos. Se estimó como el 2 % de la inversión fija ya que se trata de una operación de baja complejidad.

6. Suministros: Este costo comprende a aquellos materiales que son usados en planta pero que no son de producción, tal como materiales de limpieza. Se estimó como el 15 % del costo de mantenimiento.

Tabla 4.3: Costos Variables

Costos Variables Unitarios	Año				
	2024	2025	2026	2027	2028
Materia prima (USD/u)	0,59	0,63	0,67	0,79	0,79
Mano de obra (USD/u)	0,08	0,08	0,15	0,15	0,15
Supervisión (USD/u)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Servicios	0,13	0,13	0,19	0,19	0,19
Mantenimiento	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Costo de suministro	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
CVU (USD/u)	0,89	0,32	1,11	1,23	1,23
CVT (USD/año)	45.894,888	50.860,211	65.120,540	84.794,150	84.794,150

Por su parte, los costos fijos están conformados por:

1. Impuestos fijos a la propiedad: La planta se encuentra ubicada en la propia fábrica de cerveza de la ciudad de Mar del Plata. Se estimó 2 % de la inversión fija.
Seguros: incluye seguro para la propiedad, contra incendios y robo parcial o total; para el personal y mercadería por pérdidas parciales o totales y jornales caídos. Se estimó como el 1 % de la inversión fija.
2. Financiación: No se solicitan créditos para la estimación del proyecto.
3. Venta y distribución: El costo de venta será imputado al consumidor final como “costo cubiertos”.
4. Dirección y administración: incluye los gastos generales y de administración, tales como telefonía, internet, limpieza de oficinas, seguridad y servicios de medicina laboral. Además se contemplan los gastos de dirección de empresa, como los servicios de asesoramiento legal y contable. Se estimó como el 2 % del costo de mano de obra directa.
5. Investigación y desarrollo: Este proyecto no cuenta con instalaciones propias de laboratorio destinado al desarrollo I+D, por lo tanto no se considera como costo fijo.
6. Costos de depreciación: Se estimó el costo de depreciación utilizando el método de línea recta. Su valor residual se consideró como un 2 % de la inversión fija.

Se observan en la tabla 5 los costos fijos estimados.

Tabla 4.4: Costos fijos de inversión

Costos Fijos Unitarios	2024	2025	2026	2027	2028
Depreciación (por método de línea recta)	28814,29	28814,29	28814,29	28814,29	28814,29
Impuestos	3601,79	3601,79	3601,79	3601,79	3601,79
Seguros	1800,89	1800,89	1800,89	1800,89	1800,89
Venta y distribución	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Administración y dirección	787,65	840,16	428481,2	504095,6	504095,6
Investigación y desarrollo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CFU(U\$\$/u)	0,68	0,63	0,03	0,03	0,03
CFT (U\$\$/Año)	35.004,6	35.057,1	462.698,2	538.312,5	538.312,5

4.5 Rentabilidad

Para analizar la rentabilidad, es decir, el beneficio que existe entre lo obtenido por la actividad y la inversión, se realizó el cuadro de flujo de caja, ver en tabla 4.5. El valor de precio de venta unitario de los apoya vasos se estimó en 1 USD/u para ingresar en el mercado durante los dos primeros años (2024-2025) y 3 USD/u para los últimos tres años (2026 al 2028).

Tabla 4.5 Flujos de caja

Año	0	2024	2025	2026	2027	2028
Ingresos						
Venta neta		51.840,00	55.296,00	176.256,00	207.360,00	207.360,00
Egresos						
Costos de producción(\$/año)		-100.109,04	-62.356,62	-101.122,85	-111.506,76	-101.901,99
BNAI(USD/año)		-48.269,04	-7.060,62	75.133,15	95.853,24	105.458,01
Impuestos(\$/año)		10.170,83	-890,45	-26.296,60	-30.186,97	-30.186,97
BN(USD/año)		-38.098,21	-7.951,07	48.836,55	65.666,28	75.271,04
Depreciación		48.023,82	38.419,06	28.814,29	19.209,53	9.604,76
Egresos iniciales						
Inversión fija (USD)	-180.089,33					
Terreno						
Capital de trabajo (USD)	-18.008,93					
Recuperación de capital						54.026,80
FC(USD/año)	-198.098,26	9.925,61	30.467,99	77.650,84	84.875,80	138.902,60

Se estimó la TIR a partir del método de tasa interna de retorno y flujos de caja. Este valor fue del 15 % y es el que determina la rentabilidad del proyecto.

En la Fig.4.3, se representó el flujo de caja acumulado en función de los años del proyecto dando como resultado una la recuperación del capital es a los 1,77 años desde su inicio.

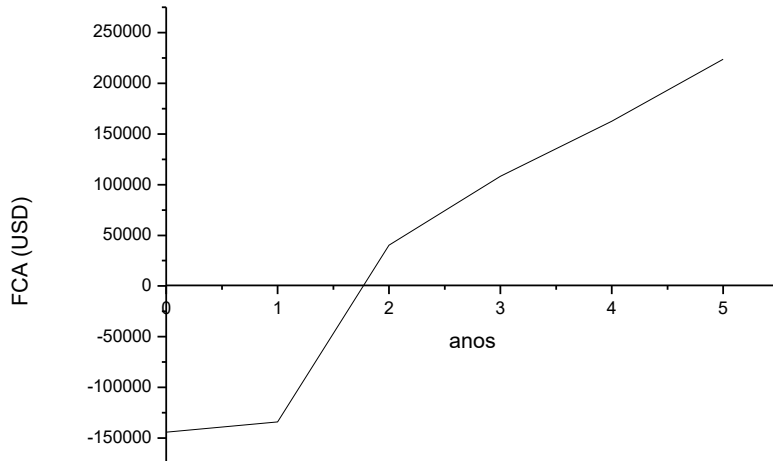


Fig.4.4 Flujo acumulado vs años

4.6 Conclusiones parciales del Capítulo 4

Teniendo en cuenta que la TIR es del 15 % y es superior al valor de la TRMA, considerada como un 10 % y que el tiempo de repago es mayor a la mitad de la vida útil del proyecto (5 años), se considera al proyecto rentable.

Capítulo 5:

Conclusiones y trabajos futuros

5.1 Conclusiones finales

Se obtuvieron tableros aglomerados de partículas libres de compuestos volátiles tóxicos a partir de dos sistemas: i) cáscara de arroz (CA) con un adhesivo biogénico basado en ácido cítrico-sacarosa (AC-S), y ii) autoadhesión de bagazo cervecero (BSG).

A pesar de sus limitaciones, ambos sustratos son buenos candidatos como sustitutos de la madera en tableros aglomerados. Poseen estabilidad térmica similar a la madera y tamaños de partículas adecuados, sin requerir molienda previa. El alto contenido de hemicelulosa en el bagazo favorece la autoadhesión, aunque su bajo contenido de celulosa reduce la rigidez.

La cáscara de arroz, con contenido de celulosa similar a la madera, no alcanzó los estándares mecánicos ni de resistencia al agua con los adhesivos AC-S, pero podría ser viable con otros adhesivos biogénicos como los derivados de la soja.

Los tableros de BSG no alcanzaron los estándares ANSI A208.1 pueden usarse para paneles decorativos interiores o protegidos donde la rigidez no es crítica.

Finalmente, la estimación económica para producir los tableros de BSG sin adhesivos demostró ser rentable.

5.2. Trabajos futuros

En el contexto de las futuras investigaciones, se propone en primer lugar, en relación con los tableros de CA se prevé probar el uso de otros adhesivos biogénicos como la proteína de gluten para alcanzar los estándares de los tableros comerciales

En segundo lugar, en relación a los tableros de BSG, se propone reducir el tamaño de grano a través del proceso de molienda. También, considerar combinarlo con otros materiales de refuerzos para mejorar la resistencia la flexión y la rigidez o realizar una reducción del tamaño de grano para optimizar las propiedades.

5.3. Trabajos publicados y presentaciones a congresos realizados

5.3.1. Artículos

L. Rossi, L. Wechsler, M.A. Peltzer, E.M. Ciannamea, R.A. Ruseckaite, P.M. Stefani (2023) Sustainable Particleboards Based on Brewer's Spent Grains, *Polymers*, 16(1), 59

5.3.2. Presentaciones a congresos

L. Weschler, E. Nicolao, J.F. Martucci, R.A. Ruseckaite, E. Ciannamea, P.M. Stefani. Biobased particleboards from biomass wastes, III Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Brasil, 29 agosto – 2 setiembre 2022.

L. Rossi, L. Wechsler, E. Ciannamea, R. Ruseckaite, P.M. Stefani. Desarrollo de tableros aglomerados a partir de bagazo cervecero. Una contribución a la economía circular. Jornadas Investigar UNMdP 2022, Mar del Plata, 30-31 noviembre 2022

L. Rossi, L. Wechsler, R. Ruseckaite, E. Ciannamea, P. Stefani. Brewer's Spent Grains for production of binderless boards. A study on its contribution to sustainability. 11th world congress of chemical engineering (WCCE11). Buenos Aires. 4-8 de Junio 2023.

L. Rossi, L. Wechsler, R. Ruseckaite, E. Ciannamea, P. Stefani. Obtención de tableros aglomerados sostenibles a partir de bagazo cervecero sin adhesivos sintéticos. 1º Congreso Nacional de Innovación Social. Desarrollos en Economía Circular para la Innovación Social. La Plata. 30 y 31 de Mayo 2023.

L. Rossi, L. Wechsler, E. Ciannamea, R.A. Ruseckaite, P.M. Stefani. Desarrollo de tableros aglomerados utilizando bagazo de cerveza. Estudio de las propiedades. XV Simposio Argentino de Polímeros. I Congreso Argentino de Materiales Compuestos (SAP-COMAT 2023) Mar del Plata, 4-7 de diciembre 2023.

Referencias

- Agrawal, D.; Gopaliya, D.; Willoughby, N.; Khare, S.K.; Kumar, V. «Recycling Potential of Brewer's Spent Grains for Circular Biorefineries». *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.* 40,100748, (2023). <http://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100748>.
- Ajiwe, V.I.E., Okeke, C.A., Ekwuozor, S.C., Uba, I.C. «A pilot plant for production of ceiling boards from rice husks». *Biores.Technol.* (1998) 66, 41–43. [http://doi.org/10.1016/S0960-8524\(98\)00023-6](http://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00023-6).
- Alvarez C, Rojas OJ, Rojano B, Ganan,P. «Development of self-bonded fiberboards from fiber of leaf plantain: effect of water and organic extractives removal». *BioResource* 10(1):672–683 (2014): 672-83. <https://doi.org/10.15376/biores.10.1.672-683>.
- Almusawi, A.; Lachat, R.; Atcholi,K.E.; Gomes, S. «Proposal of Manufacturing and Characterization Test of Binderless Hemp Shive Composite». *Int. Biodeterior. Biodegrad*, 115, 302-307 (2016). <http://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.09.011>.
- American National Standard A208.1, 1999, Particleboard, Composite Panel Association, Gaithersburg, MD.
- Ang, A.F., Ashaari, Z., Lee, S.H, Tahir, P.M, and Halis,R. (2019). «Lignin based copolymer adhesives for composite wood panels-A review». *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 102408 (2019). <http://doi.org/10.1016/J.IJADHADH.2019.102408>.
- Angles, M N, J Reguant, D Montane, F Ferrando, X Farriol, y J Salvado. «Binderless Composites from Pretreated Residual Softwood», s. f.
- Arabi,M., Faezipour, M., Layeghi,M., Enayati,A.A. «Interaction analysis between slenderness ratio and resin content on mechanical propieties of particleboard». *J. For Res* 23:461-464 (2011).
- Araújo C.P; C.A.C. Coaquira, A.L.A. Mattos, M. S. M. de Souza Filho, J.P.d. A. Feitosa, J.P. S.d. Morais, M. de Freitas Rosa, «Binderless fiberboards made from unripe coconut husks, Waste and Biomass Valorization» 9 (11) (2018) 2245–2254, <https://doi.org/10.1007/s12649-017-9979-9>.
- Arévalo, R.; Peijs, T. «Binderless All-Cellulose Fiberboard from Microfibrillated Lignocellulosic Natural Fibers». *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* 83, 38-46, (2016). <http://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.11.02.7>.
- Arias, A.; González-García, S.; Feijoo, G.; Moreira, M.T. «Tannin-Based Bio-Adhesives for the Wood Panel Industry as Sustainable Alternatives to Petrochemical Resins». *J.Ind.Ecol.* 26,627-642 (2022). <http://doi.org/10.1111/jiec.13210>.
- Ayrilmis, N.; Kwon, J.H.; Han, T.H. Effect of Resin Type and Content on Properties of Composite Particleboard Made of a Mixture of Wood and Rice Husk. *Int. J. Adhes. Adhes.* 38, 79–83 (2012).
- Barbu, Marius Cătălin, Zeno Montecuccoli, Jakob Förg, Ulrike Barbeck, Petr Klímek, Alexander Petutschnigg, y Eugenia Mariana Tudor. «Potential of Brewer's Spent Grain as a Potential

- Replacement of Wood in pMDI, UF or MUF Bonded Particleboard». *Polymers* 13, n.º 3 (2021): 319. <https://doi.org/10.3390/polym13030319>.
- Baskaran, M; Hashim, R; Said, N; Lamarning, J; Sulaman, O; Sato, M; Hiziroglu, S; Sugimoto, T. «Influence of Press Temperature on the Propieties of Binderless Particleboard Made from Oil Palm Trunk. *Mater.Des.* 32, 2520-2525 (2011). <http://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.01.053>.
- Baskaran, R. Hashim, N. Said, S.M. Raffi, K. Balakrishnan, K. Sudesh, M. Sato. «Properties of binderless particleboard from oil palm trunk with addition of polyhydroxyalkanoates». *Compos. B Eng.* 43 (2012) (3) 1109–1116, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.10.008>.
- Batalla, L, Nuñez A.J, Marcovich N.E. «Particleboards from Peanut-shell Flour». *Journal of Applied Polymer Science* 97, n.º 3 (2005): 916-23. <https://doi.org/10.1002/app.21847>.
- Boon, J.G., Hashim, R., Sulaima, O., Hiziroglu, S., Sugimoto, T., Sato, M. «Influence of processing parameters on some properties of oil palm trunk binderless particleboard». *Eur. J. Wood Prod.* 71, 583–589 (2013). <https://doi.org/10.1007/s00107-013-0712-5>.
- Boon, J.G.; Hashim, R.; Danish, M.; Nadhari, W.N.A.W. «Physical and mechanical propieties of Binderless Particleboard Made from Steam-Pretreated Oil Palm Trunk Particles». *J.Compos.Sci.* 3 (2019). <http://doi.org/10.3390/jcs3020046>.
- Boruszewski, Piotr, Piotr Borysiuk, Agnieszka Jankowska, y Jolanta Pazik. «Low-Density Particleboards Modified with Blowing Agents—Characteristic and Properties». *Materials* 15, (2022) (13) 4528. <https://doi.org/10.3390/ma15134528>.
- Bouajila, J.; Limare, A.; Joly, C.; Dole, P. «Lignin Plasticization to Improve Binderless Propieties». *Polym. Eng. Sci.* 45.809-816 (2005). <http://doi.org/10.1002/pen.20342>.
- Brown V.J. «Better Bonding with Beans, Environment al Health Perspectives». *Environews* (2005) 113: pp. A538-A541. <https://doi.org/10.1289/ehp.113-a58>.
- Caillol, S. «Cardanol: A Promising Building Block for Biobased Polymers and Additives». *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.* 14,26-31 (2018). <http://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.05.002>.
- Chalapud, M.C; Ciannamea, E.M.; Martucci, J.F.; Ruseckaite, R.A.; Stefani, P.M. Biobased particuleboards from Rice Husk and Soy Protein Concentrate: «Evaluation of Flexural Propieties and Dimensional Stability under Indoor Environmental Conditions». *DYNA* 90, 156-162 (2023). <http://doi.org/10.15466/dyna.v90n226,106584>.
- Chen, M.; Zheng, S.; Wu, J.; Xu, J. «Study of Preparation of High Performance Binderless Board from *Broussonetia Papyrifera*». *J. Wood Sci.* 69, (2023). <http://doi.org/10.1186/s10086-023-02092-3>.
- Cheng, E., Sun, X., Karr, G.S. «Adhesive properties of modified soybean flour in wheat straw particleboard». *Science direct Composites.* (2004): Part A 35, 297–302. <http://doi.org/10.1016/j.compositesa.2003.09.008>.
- Choowang, Rattana, y Montri Luengchavanon. «Oil Palm Trunk Powder Blended with Citric Acid Directly Used as Wood Adhesive by One Step Liquefaction Reaction». *Industrial Crops and Products* 170 (2021): 113809. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113809>.

- Ciannamea, E. M., J. F. Martucci, P. M. Stefani, y R. A. Ruseckaite. «Bonding Quality of Chemically-Modified Soybean Protein Concentrate-Based Adhesives in Particleboards from Rice Husks». *Journal of the American Oil Chemists' Society* 89, (2012) (9) 1733-41. <https://doi.org/10.1007/s11746-012-2058-2>.
- Ciannamea, EM; Marin,D.C; Ruseckaite,RA;Stefani, P.M. «Particleboards Based on Rice Husk: Effect of Binder Content and Porocessing Conditions». *J.Renew.Materiales* (2017) 5,357-362. [doi:10.7569/JMR.2027.634125](https://doi.org/10.7569/JMR.2027.634125).
- Ciannamea, Emiliano M., Pablo M. Stefani, y Roxana A. Ruseckaite. «Medium-density particleboards from modified rice husks and soybean protein concentrate-based adhesives». *Bioresource Technology* 101, n.º 2 (2010): 818-25. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.084>.
- Coronado, M.A.; Montero, G; Montes, D.G; Valdez-Salas, B; Ayala, J.R; Conrado García; Carrillo, M; León, J; Moreno, A. «Physicochemical Characterization and SEM-EDX Analysis of Brewer's Spent Grain from the Craft Brewery Industry». *Sustainability* 12, (18) (2020): 7744. <https://doi.org/10.3390/su12187744>.
- Della, V.P., Kuhn, I., Hotza, D., (2001). «Characterization of rice husk ash for use as raw material in the manufacture of sílica refractory». *Quim. Nova* 24 (6) (2001), 778-782. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422001000600013>.
- Dunky, M. «Wood Adhesives Base don Natural Resources; A Carbohydrate-Based Adhesives». *Rev. Adhes. Adhes.* 8,33-378 (2020). <http://doi.org/10.7569/RAA.2020.097310>.
- «Ecopanel Systems - Agri-fibre, Particle Board & Wood based panels - Plant». Accedido 10 de marzo de 2024. <http://www.ecopanelsystems.com/board%20plant.html>.
- FAOSTAT Forestry Production and Trade: <http://www.fao.org/faostat/in/#data/FO>.
- «FAOSTAT». Accedido 10 de marzo de 2024. <https://www.fao.org/faostat/es/>.
- Feng, S.; Shui, T.; Wang, H.; Ai, X.; Kuboki, T.; Xu, C.C. «Properties of Phenolic Adhesives Formulated with Activated Organosolv Lignin Derived from Cornstalk». *Ind. Crops Prod.* 1616, 113225, (2021). <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113225>.
- Ferrandez-Garcia, Antonio, Maria Teresa Ferrandez-Garcia, Teresa Garcia-Ortuño, y Manuel Ferrandez-Villena. «Influence of the Density in Binderless Particleboards Made from Sorghum». *Agronomy* 12, n.º 6 (2022): 1387. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061387>.
- Ferreira, A.M.; Pereira, J.; Almeida, M.; Ferra, J.; Paiva, N.; Martins, J.; Magalhas, F.D.; Carvalho, L.H. «Low-Cost Natural Binder for Particleboards Prodcution: Estudio de las Condiciones de Fabricación y Estabilidad». *Int. J. Adhes. Adhes.* 93, (2019). <http://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.01.019>.
- Frihart, Charles R. (2005). Wood adhesion and adhesives. Handbook of wood chemistry and wood composites. Boca Raton, Fla.: CRC Press, 2005: pages 215-278.
- Fuad, M Y Ahmad, Z Ismail, M S Mansor, Z A Mohd Ishak, y A K Mohd Omar. «Mechanical Properties of Rice Husk Ash/Polypropylene Composites». *Polymer Journal* 27, n.º 10 (1995): 1002-15. <https://doi.org/10.1295/polymj.27.1002>.
- Gao, Z; Xiang-Ming W; Hui W; Gilles B. «Binderless Panels Made with Black Spruce Bark». *BioResources* 6, n.º 4 (2011): 3960-72. <https://doi.org/10.15376/biores.6.4.3960-3972>.

- Gerardi, V., Minelli, F., Viggiano, D. (1998). «Steam treated rice industry residues as an alternative feedstock for the wood based particleboard industry in Italy Biomass Bioenergy» 14, 295-299.
- Ghani, A.; Ashaari, Z.; Bawon, P.; «Emission of Urea Formaldehyde Bonded Particleboard by Addition of Amines as Formaldehyde Scavenger». *Buil. Environ.* 142, 188-194 (2018). <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.020>.
- Glass, J. Edward, y Graham Swift, eds. *Agricultural and Synthetic Polymers: Biodegradability and Utilization*. Vol. 433. ACS Symposium Series. Washington, DC: American Chemical Society, (1990). <https://doi.org/10.1021/bk-1990-0433>.
- Hanco, Sergio Mysael Mamani. «Estudio de pre-factibilidad para una planta de tableros aglomerados a base de cascarilla de arroz, Arequipa, 2021», s. f.
- Hashim, Rokiah, Norhafizah Saari, Othman Sulaiman, Tomoko Sugimoto, Salim Hiziroglu, Masatoshi Sato, y Ryohei Tanaka. «Effect of Particle Geometry on the Properties of Binderless Particleboard Manufactured from Oil Palm Trunk». *Materials & Design* 31, n.º 9 (2010): 4251-57. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.04.012>.
- Hejna, A. «More than Just a Beer the Potential Applications of by Products from Beer Manufacturing in Polymer Technology». *Emergent Mater.* 5, 7675-783, (2022). <http://doi.org/10.1007/s42247-021-00304-4>.
- Hidalgo-Cordero, J.F.; García-Ortuño, T.; García-Navarro, J. «Comparison of Binderless Board Produced with Different Tissues of Totorá (Schoenoplectus Californicus (C.A. Mey) Soják) Stems». *J. Build. Eng.* 27, (2020). <http://doi.org/j.jobe.2019.100961>.
- Hubbe, MA; Pizzi, A.; Zhang, H; Hails, R. «Critical links Governing performance of self .binding and Natuural Binders for Hot-Pressed Reconstituted Lignocellulosic Board without Added Formaldeyde; a Review» *BioResourves*, 13, 2049-2115, (2018). <http://doi.org/10.15376/biores.13.1.Hubbe>.
- Hunt, C.G.; Frihart, C.R.; Dunky, M.; Rohumaa, A. «Understanding Wood Bonds-Going beyond What Meets the Eye: A Critical Review». *Rev. Adhes. Adhes.* 6, 369-463, (2018).
- Huttermann, A, Carsten Mai, y A Kharazipour. «Modification of lignin for the production of new compounded materials». *Applied Microbiology and Biotechnology* 55 (2001): 387-94.
- Imam, Syed, Serald Gordon, Lijun Mao, y Liang Chen. «Environmentally friendly wood adhesive from a renewable plant polymer: Characteristics and optimization». *Polymer Degradation and Stability* 73 (31 de diciembre de 2001): 529-33. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(01\)00114-8](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(01)00114-8).
- Iswanto, A H, y P L Ompusunggu. «Sandwich Particleboard (SPb): effect of particle length on the quality of board». *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 374, n.º 1 (2019): 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/374/1/012002>.
- Iwakiri, S. (2005). «Painéis de madeira reconstituída». Curitiba: FUPEF, 274 p.
- Jamaludin, M.A.; Shahril Anuar Bahari, Mohd Nazarudin Zakaria, y Nurfarah Syafikah Saipolbahri. «Influence of Rice Straw, Bagasse, and their Combination on the Properties of Binderless

- Particleboard». *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 48, n.º 1 (2020): 22-31. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2020.48.1.22>.
- Kariuki, Stephen Warui, Jackson Wachira, Millien Kawira, y Genson Murithi. «Crop Residues Used as Lignocellulose Materials for Particleboards Formulation». *Heliyon* 6, n.º 9 (2020): e05025. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05025>.
- Khedari, J., Nankongnab, N., Hirunlabh, J., Teekasap, S. «New low cost insulation particleboards from mixture of durian peel and coconut coir». *Building and Environment*, 39(1), 59-65, (2004).
- Klímek, P.; Wimmer, P.; Mishra, P.W; Jozef Kúdela. «Utilizing Brewer's-Spent-Grain in Wood-Based Particleboard Manufacturing». *Journal of Cleaner Production* 141 (2017): 812-17. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.152>.
- Kurokochi, Y.; Sato, M. «Steam Treatment to Enhance Rice Straw Binderless Board Focusing Hemicellulose and Cellulose Decomposition Products». *J. Wood Sci.* 66 (2020). <http://doi.org/10.1186/s10086-020-1855-8>.
- Larregle, A.; Chalapud, M.; Fangio, F.; Ciannamea, E.M.; Stefani, P.M.; Martucci, J.F.; Ruseckaite, R.A. «Antifungal soybean Protein Concentrate Adhesive as Binder of Rice Husk Particleboards». *Polymers (Basilea)* 13, 1-13 (2021). <http://doi.org/10.3390/polym13203540>.
- Lee, J.W., Thomas, L., Jerrell, K., Feng, H., Cadwalder, K., Schmidt, S. «Investigation of thermal decomposition as the kinetic process that causes the loss of crystalline structure in sucrose using a chemical analysis approach». *J Agric Food Chem.* (2011): 59:702-712. <https://doi.org/10.1021/jf104235d>.
- Leiva, P., E. Ciannamea, R. A. Ruseckaite, y P. M. Stefani. «Medium-density particleboards from rice husks and soybean protein concentrate». *Journal of Applied Polymer Science* 106, n.º 2 (2007): 1301-6. <https://doi.org/10.1002/app.26545>.
- Lenormand, H.; Glé, P.; Leblanc, N. «Investigation of the Acoustical and Thermal Properties of Sunflower Particleboards». *Acta Acust. Unido con Acust.* 103, 149-157 (2017). <http://doi.org/10.3813/AAA.91940>.
- Li, X.; Cai, Z.; Winandy, J.E.; Basta, A.H. «Selected properties of particleboard panels manufactured from rice straws of different geometries». *Bio. Res.* 101, 4662 (2010). <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.053>. Lorenz.
- Ludueña, Leandro, Diana Fasce, Vera. A. Alvarez, y Pablo M. Stefani. «Nanocellulose from Rice Husk Following Alkaline Treatment to Remove Silica». *BioResources* 6, n.º 2 (2011): 1440-53. <https://doi.org/10.15376/biores.6.2.1440-1453>.
- Lynch, Kieran M., Steffen, Eric J., Arendt, Elke. «Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health». *Review article. J. Inst. Brew* 122, 553– 56 (2016). <https://doi.org/10.1002/jib.363>.
- Mahieu, A., A. Vivet, C. Poilane, y N. Leblanc. «Performance of particleboards based on annual plant byproducts bound with bio-adhesives». *International Journal of Adhesion and Adhesives* 107 (2021): 102847. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.102847>.

- «Mar del Plata: una de las capitales de la cerveza artesanal». Accedido 19 de mayo de 2024.
https://www.clarin.com/brandstudio/mar-plata-capitales-cerveza-artesanal_0_DACHcCy4.html.
- Marin, Diana C., Antonela Vecchio, Leandro N. Ludueña, Diana Fasce, Vera A. Alvarez, y Pablo M. Stefani. «Revalorization of Rice Husk Waste as a Source of Cellulose and Silica». *Fibers and Polymers* 16, n.º 2 (2015): 285-93. <https://doi.org/10.1007/s12221-015-0285-5>.
- Medina, J.C; Ambrogi, A. «CÁSCARA DE MANÍ EN LA ELABORACIÓN DE AGLOMERADOS», s. f. Revista Quebracho, N°2 pp. 47-53.
- Mamza, Paul A P, Emmanuel C Ezech, E C Gimba, y David Ebuka Arthur. «Comparative Study Of Phenol Formaldehyde And Urea Formaldehyde Particleboards From Wood Waste For Sustainable Environment» 3, n.º 9 (2014).
- Mendes, R.F.; Ribeiro, DP; A.P. Vilela, D.W. Silva, A. Napoli. «Effect of heat treatment on the properties of sugarcane bagasse medium density particleboard (MDP) panels, Waste and Biomass Valorization» 11 (4) 323 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00882-9>.
- Mishra, Pawan Kumar, Tomas Gregor, y Rupert Wimmer. «Utilising Brewer's Spent Grain as a Source of Cellulose Nanofibres Following Separation of Protein-Based Biomass». *BioResources* 12, n.º 1 (2017): 107-16. <https://doi.org/10.15376/biores.12.1.107-116>.
- Mo X, Sun XS. «Soy proteins as plywood adhesives: formulation and characterization». *J Adhes Sci Technol* 27:2014–26 (2013). <https://doi.org/10.1080/01694243.2012.696916>.
- Mobarak, F; Yehia, F; Hans, A. «Binderless Lignocellulose Composite from Bagasse and Mechanism of Self-Bonding». *Holzforschung* 36, n.º 3 (1982): 131-36. <https://doi.org/10.1515/hfsg.1982.36.3.131>.
- Morán, M.G., Costa, I., Calderón, M., Domínguez, J.M., Aguilar M.G. «Production of cellulases and xylanases in solid-state fermentation by different strains of *Aspergillus niger* using sugarcane bagasse and brewery spent grain», *Biochemical Engineering Journal* 172, 108060 (2021) <https://doi.org/10.1016/j.bej.2021.108060>
- Mussatto, S.I., G. Dragone, y I.C. Roberto. «Brewers' Spent Grain: Generation, Characteristics and Potential Applications». *Journal of Cereal Science* 43, n.º 1 (2006): 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.06.001>.
- Nadhari, W.N.A.W.; Karim, N.A.; Boom, J.G.; Salleh, K.M.; Mustapha, A-; Hasim, R.; Sulaiman, O.; Azni, M.E. Sugarcane (*Saccharum Officinarium* L.). «Bagasse Binderless Particleboard: Effect of Hot Pressing Time Study». *Mater. Today Proc.* 31,313-317 (2020). <http://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.016>.
- Nasir, O.M.; Khali, D.P.; Jawaid, M.; Khan, T.A. «Recent Development in Binderless Fiber. Board Fabrication from Agricultural Residues: A Review». *Constr. Build. Mater.* 211,502-516 (2019). <http://doi.org/j.conbuildmat.2019.03.279>.
- Nicolao, E.S; Leiva, P; Chalapud, M.C; Ruseckaite, R.A; Ciannamea, E.M. « Flexural and Tensile Propieties of Biobased Rice Husk-Jute-Soybean Protein Particleboards». *J.Build.Eng.*30, (2020). <http://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101261>.

- Nonaka, S; K. Umemura, S. Kawai. «Characterization of bagasse binderless particleboard manufactured in high-temperature range». *J. Wood Sci.* 59 (1) (2013) 50–56, <https://doi.org/10.1007/s10086-012-1302-6>.
- Nordqvist, P.; Nordgren, N.; Khabbaz, F.; Malmström, E. «Plant Proteins as Wood Adhesives: Bonding performance at the Macro and Nanoscale». *Ind. Crops Prod.* 44, 246-252 (2013). <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.20212.11.021>.
- Nursten, H E. *Maillard Reaction*. The Royal Society of Chemistry, 2005. <https://doi.org/10.1039/9781847552570>.
- Nuryawan, Arif, Jajang Sutiawan, Rahmawaty, Nanang Masruchin, y Pavlo Bekhta. «Panel Products Made of Oil Palm Trunk: A Review of Potency, Environmental Aspect, and Comparison with Wood-Based Composites». *Polymers* 14, n.º 9 (2022): 1758. <https://doi.org/10.3390/polym14091758>.
- Oktaý, S.; Kizilcan, N.; Bengu, B. Oxidized Cornstrach. «Urea Wood Adhesive for Interior Particle board Production». *Int. J. Adhes.* 110, 102947 (2021). <http://doi.org/10.1016/j.ijashadh.202.102947>.
- Okuda, Nobuhisa, y Masatoshi Sato. «Manufacture and mechanical properties of binderless boards from kenaf core». *Journal of Wood Science* 50, n.º 1 (1 de febrero de 2004): 53-61. <https://doi.org/10.1007/s10086-003-0528-8>.
- Okuda,N., Hori, K., Sato, M. «Chemical changes of kenaf core binderless boards during hot pressing (III): effects of the binderless board propieties». *J Wood Sci* (2006).<http://doi.org/10.1007/s10086-005-0744-5>.
- Papadopoulos, A. «Property conomparisons and bonding efficiency of UF and PDMI bonded particleboards as affected by key process variables». *Bio Resources* 1(2).201-208 (2006): <https://doi.org/10.15376/biores.1.2.201-208>.
- Park, B.D.,Wi,S.G.,Lee,K.H.,Singh,A.P.,Yoon,T.H.,and Kim,Y.S. «Characterization of anatomical features and silica distribution in rice husk using microscopic and micro-analytical techniques», *Biomass. Bioenergy*.25, 319-327 (2003). [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00014-X](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00014-X).
- Prasittisopin, L. (2009). «A new method of making particleboard with a Formaldehyde free soy-based Adhesive». MS thesis. Oregon State University.
- Quintana, G; Velásquez, J; Betancourt,S; Gañán, P. «Binderless Fiberboard from Steam Exploded Banana Bunch». *Industrial Crops and Products* 29, (1) (2009): 60-66. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.04.007>.
- Rachwał, K.; Adam W.; Klaudia, G.; Magdalena, P.B. «Utilization of Brewery Wastes in Food Industry». *PeerJ* 8 (2020): e9427. <https://doi.org/10.7717/peerj.9427>.
- Rowell, R M. «Surface Characterization». En *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, 0 ed., 234-71. CRC Press, (2012). <https://doi.org/10.1201/b12487-13>.
- Santos, M, J.J Jiménez, B Bartolomé, C Gómez-Cordovés, y M.J Del Nozal. «Variability of Brewer’s Spent Grain within a Brewery». *Food Chemistry* 80, n.º 1 (2003): 17-21. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00229-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00229-7).

- Sengar, G; Harish, S. «Food caramels: a review». *Journal of Food Science and Technology* 51 (2014). <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0633-z>.
- «Sisa». Accedido el 1 de Marzo de 2024. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sisa_arroz_2022_2023.pdf
- Stefani, P.M.; Cyras, V.P.; Tejeira Barchi, A.; Vazquez, A. «Mechanical properties and Thermal Stability of Rice Husk Ash Filled Epoxy Foams. *J.Appl. Polym.Sci.* 2006, 99,2957-2965.
- Stefani, P. M., D. Garcia, J. Lopez, y A. Jimenez. «Thermogravimetric Analysis of Composites Obtained from Sintering of Rice Husk-Scrap Tire Mixtures». *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 81, n.º 2 (2005): 315-20. <https://doi.org/10.1007/s10973-005-0785-4>.
- Shijing,S, Zhongyuan Zhao, y Kenji Umemura. «Further Exploration of Sucrose-Citric Acid Adhesive: Synthesis and Application on Plywood». *Polymers* 11, n.º 11 (2019): 1875. <https://doi.org/10.3390/polym11111875>.
- Sun, X, Fangqian Xu, R Sun, Paul Fowler, y Mark Baird. «Characteristics of degraded cellulose obtained from steam-exploded wheat straw». *Carbohydrate research* 340 (2005): 97-106. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2004.10.022>.
- Tajuddin, M.; Ahmad, Z.; Ismail, H.A. «Review of Natural Fibers and Processing Operations for the Production of Binderless Boards». *BioResources* 11(2) ,5500-5617 (2016).
- Thiago,R. dos S.M.; Pedro, P.M. de M.; Eliana; F.C.S «Resíduos sólidos en el proceso cervecero; A review.*J.Brew.Distill* 5,1-9 (2014). <http://doi.org/10.5897/jind2014.0043>.
- Trosa, A., Pizzi, A., 1997. «Stability and performance of tannin-accelerated PF resins for plywood». *Holz Roh Werkst.* 55, 306.
- Tshabalala, M.A; McSweeney, J.D; Rowell; R.M. «Heat treatment of wet wood fiber: a study of the effect of reaction conditions on the formation of furfurals». *Wood.Mat.Sci.Eng.* 7(4):202–208 (2012). <https://doi.org/10.1080/17480272.2012.669406>.
- Umemura, Kenji, Osamu Sugihara, y Shuichi Kawai. «Investigation of a New Natural Adhesive Composed of Citric Acid and Sucrose for Particleboard II: Effects of Board Density and Pressing Temperature». *Journal of Wood Science* 61, n.º 1 (2015): 40-44. <https://doi.org/10.1007/s10086-014-1437-8>.
- Umemura, Kenji, Osamu Sugihara, y Shuichi Kawai. «Investigation of a New Natural Adhesive Composed of Citric Acid and Sucrose for Particleboard». *Journal of Wood Science* 59, n.º 3 (2013): 203-8. <https://doi.org/10.1007/s10086-013-1326-6>.
- Urstöger, J.; Kain, G.; Prändl, F.; Barbu, M.C.; Kristak, L. «Physical Mechanical Properties of Light Bark Boards Bound with Casein Adhesives». *Sustain.* 15, (2023). <http://doi.org/10.3390/su151813530>.
- Van Dam, J.E; Van den Oever, M.J; Teunissen, W; Keijsers, E.R., Peralta, A.G. «Process for production of high density/high performance binderless boards from whole coconut husk. Part 1: lignin as intrinsic thermosetting binder resin». *Ind Crop Prod* 19(3):207–216 (2004). <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2003.10.003>.

- Velasquez, J.A.; Ferrando F, Salvado, J. « Effects of kraft lignin addition in the production of binderless fiberboard from steam exploded *Miscanthus sinensis*» *Ind Crop Prod* 18:17–23 (2003). [http://doi.org/10.1016/S0926-6690\(03\)00016-5](http://doi.org/10.1016/S0926-6690(03)00016-5).
- Vitrone, Federica, Diego Ramos, Francesc Ferrando, y Joan Salvadó. «Binderless Fiberboards for Sustainable Construction. Materials, Production Methods and Applications». *Journal of Building Engineering* 44 (2021): 102625. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102625>.
- «Wheat Board - CaraGreen». Accedido 10 de marzo de 2024. <https://www.caragreen.com/brands/wheat-board/>.
- Widyorini, R, Xu, J; K. Umemura, S. Kawai. «Manufacture and properties of binderless particleboard from bagasse I: effects of raw material type, storage methods, and manufacturing process». *J. Wood Sci.* 51 (6) (2005) 648–654, <https://doi.org/10.1007/s10086-005-0713-z>.
- Wescott, J,M; Frihart, C.R. «Competitive soybean flour/phenol-formaldehyde adhesives for oriented strandboard» In: Tichy. R.J; Yamada, V. (Eds.) (2004), 38 International Wood Composites. Symposium Proceedings, Washington State University, Pullman, pp.199-206
- Xu, JY; Widyorini R, Kawai, S; Umemura, K. «Manufacture and Propieties of Binderless from Bagasse of Raw Material Type, Storage Methods, and Manufacturing Process ». *J Wood Sci* 51(4):415–420 (2005). <http://doi.org/10.1007/s10086-005-0713-z>.
- Zhang, Daihui, Anjiang Zhang, y Lixin Xue. «A Review of Preparation of Binderless Fiberboards and Its Self-Bonding Mechanism». *Wood Science and Technology* 49, n.º 4 (2015): 661-79. <https://doi.org/10.1007/s00226-015-0728-6>.
- Zhao, Zhongyuan, y Kenji Umemura. «Investigation of a new natural particleboard adhesive composed of tannin and sucrose». *Journal of Wood Science* 60, n.º 4 (2014): 269-77. <https://doi.org/10.1007/s10086-014-1405-3>.
- Nursten, H E. *Maillard Reaction*. The Royal Society of Chemistry, 2005. <https://doi.org/10.1039/9781847552570>.