

Valorización del bagazo de cerveza para el desarrollo de biomateriales: experimentación con resina de mamona desde una perspectiva del diseño

Valentina Vinci (*) | Noeli Sellin (**) |
Danilo Corrêa Silva (***) | Silvia Patricia Hernández (****)

Resumen: El siguiente artículo presenta resultados de una estancia en la Universidad de la región Joinville - Univille, en Santa Catarina, Brasil, orientada al desarrollo de un bio-material desde una perspectiva del Diseño Industrial. A partir de bagazo de cerveza y resina de mamona, ligante vegetal biodegradable, se formularon compuestos con distintas proporciones y se evaluaron mediante, análisis de densidad, ensayo de absorción de agua, de tracción y análisis termogravimétrico (TGA). Los resultados indican que la relación bagazo-resina 3:1 alcanza la mayor resistencia mecánica y un comportamiento compatible como un biomaterial no estructural, adecuado para aplicaciones semirrígidas.

Palabras clave: desarrollo de materiales – sustentabilidad – economía circular – residuos orgánicos – bagazo de cerveza.

[Resúmenes en inglés y portugués en la página 97 y 98]

(*) (**) (***) (****) Ver CV de Valentina Vinci, Noeli Sellin, Danilo Corrêa Silva y Silvia Patricia Hernández en página 98 y 99

Introducción

La actual crisis ambiental, caracterizada por el agotamiento de recursos y la aceleración del cambio climático, se encuentra estrechamente vinculada a un modelo de consumo acelerado, en el que los ciclos de vida de los productos son cada vez más breves. La lógica de la innovación permanente impulsa a una obsolescencia programada, lo que deriva en la generación de billones de toneladas de residuos, promoviendo la atracción de plagas y patógenos, y la generación de sustancias tóxicas que afectan la biodiversidad, como así también en impactos ambientales no deseados, tales como la contaminación del agua, del

suelo y del aire.

En este contexto, la sustentabilidad emerge no solo como un criterio técnico, sino como un posicionamiento ético y político frente a un modelo industrial lineal que externaliza costos ambientales y sociales. Definida tradicionalmente como la capacidad de las sociedades para satisfacer sus necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras (Report of the World Commission on Environment and Development & UN Secretary-General, 1987). Esta noción excede lo estrictamente ambiental e incorpora dimensiones sociales y económicas, ya que no es posible, en este sentido, pensar la sustentabilidad únicamente en términos ecológicos: el cuidado del ambiente se encuentra indisolublemente ligado al desarrollo económico y a la mejora de las condiciones de vida de las personas (Donoso, S. y Wechsler, A. 2020). Desde esta perspectiva, la sustentabilidad requiere un equilibrio entre sus distintas dimensiones que haga posible la gobernabilidad y, con ello, la sustentabilidad política. De esa manera adquiere centralidad la escala local, dado que las políticas de desarrollo deben ser específicas para cada territorio, atendiendo a sus contextos y necesidades particulares, en tanto la sustentabilidad opera siempre en un espacio situado (Donoso, S. y Wechsler, A. 2020).

Ante esta compleja situación y en busca de soluciones con menor impacto ambiental, diversos profesionales han desarrollado nuevos materiales denominados biobasados, que están en consonancia con lógicas sustentables. Pensados desde el paradigma de la economía circular, derivan de fuentes renovables y orgánicas, aprovechando desechos biológicos. A su vez, tienen la capacidad de ser compostados en un lapso de 180 días, devolviendo los nutrientes a la tierra una vez finalizada su vida útil (Tardini, F. 2023).

Si bien estas iniciativas han surgido en el ámbito universitario, han sido bien acogidas por las comunidades creativas como son: la cultura maker y el paradigma del *hazlo tú mismo*, ya que promueven valores afines como la experimentación, la autonomía productiva y el trabajo situado. Estos enfoques revalorizan el conocimiento práctico, la producción a pequeña escala y la utilización de recursos locales, habilitando nuevas formas de relación entre tecnología, territorio y comunidad (Donoso, S. y Wechsler, A. 2020, Fressoli, J. M., 2015). La neoartesanía, en relación con los materiales biobasados, surge combinando la artesanía urbana, los saberes tradicionales de las comunidades, a la vez que integran tecnología y diseño para adaptarse a las necesidades del mercado, obteniendo como resultado un producto con propósitos funcionales pero con una fuerte carga simbólica vinculado a lo sustentable (Vielma, M., et al., 2022).

En este marco, la investigación en materiales adquiere un papel estratégico, ya que permite explorar soluciones accesibles, replicables y contextualmente pertinentes, capaces de responder tanto a problemáticas ambientales como a necesidades sociales y económicas específicas. En este sentido, se adopta la metodología *Material Driven Design*, un enfoque que propone que el diseñador se involucre activamente en la exploración de las cualidades, limitaciones y comportamientos del material, con el fin de comprenderlo en profundidad.

A partir de su caracterización, se definen posibles aplicaciones coherentes con sus propiedades y potencialidades (Karana, E. et al., 2015).

Los biomateriales se inscriben en esta perspectiva como una categoría emergente que propone reemplazar insumos de alto impacto ambiental por compuestos de origen biológico, renovables y, en muchos casos, biodegradables. Entre sus principales ventajas se encuentran la reducción de la huella de carbono, en cuanto evita la extracción de materias primas, aprovechando los subproductos de otras actividades económicas, utiliza tecnologías de baja dependencia energética, evita gastos de transporte al trabajar de manera local, posibilita la producción sostenida en el tiempo y el compostaje al final de su vida útil. Sin embargo, presentan desafíos vinculados a su escala de producción artesanal, su desempeño mecánico, durabilidad y estandarización, lo que exige procesos de experimentación sistemática y validación técnica, para lograr su homologación (Donoso, S. y Wechsler, A. 2020).

Para el siguiente trabajo, se decidió utilizar el subproducto más abundante de la producción cervecera: el bagazo de cerveza. Este residuo presenta un alto potencial para el desarrollo de biomateriales, tanto por su composición rica en fibras como por su elevada disponibilidad, ya que por cada 100 litros de cerveza producidos se generan entre 15 y 20 kilogramos de bagazo (Lins et al., 2023; Raimilla et al., 2023; Camacho et al., 2020). Considerando que la cerveza es una de las bebidas más consumidas a nivel mundial, en 2024 su producción global alcanzó los 1.880 millones de hectolitros (Orús, 2024). En este contexto, Brasil ocupa el tercer lugar entre los principales países productores, detrás de China y Estados Unidos, con una participación aproximada del 5% del mercado cervecero mundial (Lima, L. A., et al., 2017), en 2023 se reportó una producción superior a los 15 billones de litros, según el *Anuário da Cerveja 2024*. Este mismo informe identifica a la región Sudeste como la principal zona productora del país, concentrando el 46,3 % de las cervecerías registradas, con un total de 856 establecimientos, como se muestra en la figura 1. Esta concentración se vincula, en parte, con la fuerte presencia histórica de inmigrantes alemanes en la región (Pellin et al., 2016).

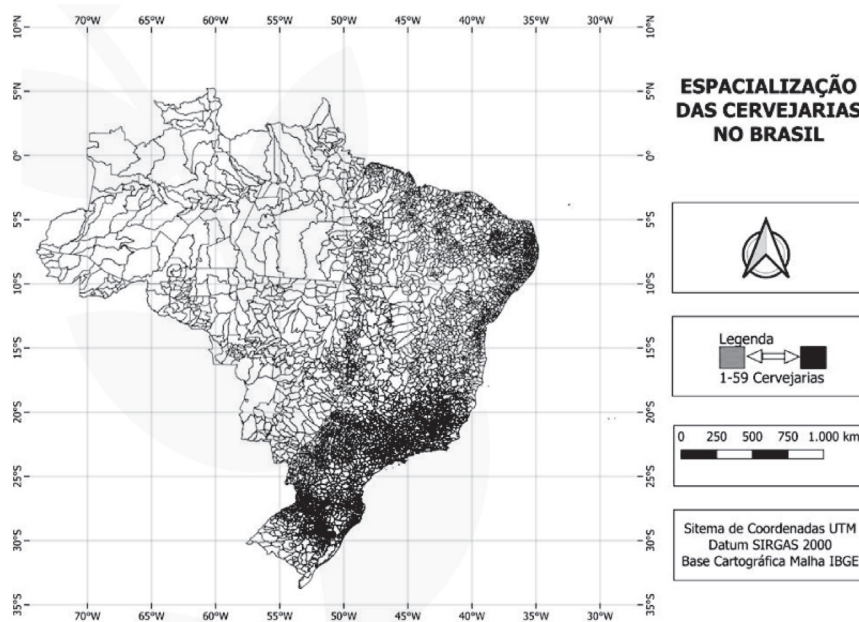


Figura 1. Mapa concentración de cervecerías en brasil.

Fuente: Anuário da cerveja: Ano referência 2023.

El proceso de producción de la cerveza se basa en cuatro componentes esenciales: agua, malta, lúpulo y levadura. Según Raimilla et al. (2023), la elaboración comienza con la molienda del grano de malta, con el objetivo de abrir su estructura y permitir una acción enzimática eficiente. Posteriormente, en la etapa de maceración, la malta se mezcla con agua, lo que posibilita la degradación del almidón mediante las enzimas presentes y la obtención de azúcares solubles.

Este proceso depende de variables como la actividad enzimática, el pH, la temperatura y el tiempo de macerado (Aroh, 2019, citado por Raimilla et al., 2023). A continuación, se realiza la filtración, donde la mezcla es bombeada al equipo Lauter o estanque de filtración, separando los extractos solubles del mosto de los componentes insolubles. En esta etapa se genera el bagazo, conocido en inglés como brewers' spent grain (BSG), compuesto principalmente por cascarilla de malta, agua, restos de azúcares solubles y materiales no solubles, y que representa aproximadamente el 85 % de los residuos sólidos generados en una cervecería (Lins et al., 2023; Raimilla et al., 2023; Camacho et al., 2020).

Desde el punto de vista químico, el bagazo de cerveza constituye una biomasa lignocelulósica heterogénea. Su composición promedio incluye celulosa (15-25%), hemicelulosa (20-

35%), lignina (12-28%), proteínas (15-30%), además de lípidos (3-18%), cenizas (2-5%), vitaminas y minerales (Lynch et al., 2016; Raimilla et al., 2023; Rachwał K., et al. 2020). Esta composición le otorga una estructura fibrosa y resistente, con un alto contenido de polisacáridos, que lo convierte en un recurso con alto potencial de valorización para el desarrollo de materiales compuestos.

Si bien se han explorado diversos usos para este subproducto: como la producción de harinas y alimentos, la extracción de compuestos antioxidantes, su uso como sustrato para el cultivo de hongos e insectos, o como fuente de biogás. Gran parte del bagazo continúa destinando a la alimentación animal, al compostaje o incluso al descarte sin una valorización previa (Evaristo, R. B. W., et al., 2023; Martínez Ramírez, G. J. et al., 2022). Esta situación pone de manifiesto la necesidad de desarrollar nuevas estrategias que permitan revalorizar este subproducto desde un enfoque de economía circular.

En ese sentido, Wechsler (2024) explora el uso de residuos agrícolas como el bagazo de cerveza, para generar tableros autoadheridos mediante presión y temperatura. Se utilizó una temperatura de 160 °C durante 15 minutos, con una humedad inicial del 41 % en la mezcla. A pesar de lograr cierta cohesión sin aditivos, los paneles obtenidos no alcanzaron los valores exigidos por la normativa ANSI A208.1. en cuanto a propiedades mecánicas e hinchamiento. Además, presentaron una densidad alta (HD) (980 kg/m³) con signos de recuperación elástica tras el prensado, lo que limita su rigidez estructural.

López et al. (2022) desarrollaron compuestos expandidos extruidos a base de bagazo de cerveza, proveniente de maltas tipo Pilsen y Weiss, almidón de yuca, glicerina, agua (10 %) y PHB (polihidroxibutirato) como aditivo. Los compuestos fueron procesados mediante extrusión, con un perfil de temperatura de 175 °C y una velocidad de 35 rpm. Luego del secado, las muestras fueron caracterizadas a través de distintos ensayos, incluyendo: índice de expansión (IE), índice de absorción de agua (WAI) 3%, solubilidad en agua (WSI) 10.5%, solubilidad general 14%, dureza y fragilidad. También se realizaron análisis de microscopía electrónica de barrido con cañón de emisión de campo (FEG-SEM) y análisis termogravimétrico (TGA).

Con respecto a la utilización de resina de mamona como ligante, se encontraron investigaciones que trabajan con la fibra de la caña de azúcar, como es el caso de Fiorelli, et al. (2011). Los autores buscan desarrollar tableros aglomerados mediante el prensado y la aplicación de calor, con un porcentaje de 10 a 15% de resina. La densidad obtenida fue de 930 kg/m³, lo que equivale a una densidad alta según la Norma ANSI A208.1 (1993). Los resultados de ensayos de propiedades mecánicas demostraron que es posible su utilización en uso estructural comercial e industrial.

Por otro lado, la investigación de Vidal Lillo, N. (2021), es una de las pocas que surgen desde el diseño de productos, el autor elabora una lámina biodegradable utilizando como aglomerante algas rojas locales. Además de caracterizarlo física, mecánica y su biodegra-

dabilidad, emplea el kit Ma2E4, desarrollado por Karana y Serena, para caracterizar sensorialmente el material, recopilando percepciones y significados atribuidos por los usuarios. El resultado es un material laminar, con un acabado rugoso, fibroso, opaco y dúctil en cuanto a su manipulación, similar a un textil. La investigación concluye con el diseño de packaging para la industria cervecera, donde lo que se propone es cerrar el ciclo productivo.

El presente estudio se inscribe en la línea de investigación presentada por Vidal Lillo, ya que se diferencia de los antecedentes revisados por su enfoque proyectual y contextual. A diferencia de los trabajos centrados en la optimización industrial o en el cumplimiento normativo de materiales estandarizados, esta investigación aborda el desarrollo de un biomaterial a partir de bagazo de cerveza y resina de mamona desde una perspectiva exploratoria del diseño, considerando tanto las propiedades técnicas del material como su potencial de aplicación en contextos de producción local.

En particular, el trabajo se apoya en la metodología Material Driven Design, entendiendo al material no solo como un resultado técnico, sino como un agente activo del proceso de diseño. De este modo, la caracterización experimental del biomaterial se propone como una herramienta para orientar decisiones proyectuales, identificar oportunidades de uso y reflexionar sobre nuevas materialidades vinculadas a la economía circular, la valorización de residuos y la producción situada.

Desarrollo Materiales y métodos

El bagazo de cerveza utilizado en este estudio fue suministrado por la cervecería artesanal “River Falls”, ubicada en la ciudad de Joinville, Santa Catarina, Brasil. El residuo fue recogido de la fábrica, una vez finalizado el proceso de producción de la cerveza, el cual se encontraba con alto contenido de humedad y temperatura.

Se utilizó como ligante la resina de mamona, proporcionada por la empresa “Poli RAD” de Araraquara, São Paulo, Brasil. Se trata de una resina bicomponente extraída de la semilla de la planta llamada *Ricinus communis*, que fue introducida por los portugueses en Brasil (Cangemi, J. M. et al., 2010).

Estabilización del bagazo

Inicialmente se aplicó presión manual para eliminar el exceso de agua, ya que según la bibliografía, al finalizar el proceso de filtrado el porcentaje de humedad ronda entre el 75 % y el 90 % (Robertson et al., 2010, citado por Rachwał K., et. al, 2020). Posteriormente, el

bagazo se sometió a calentamiento en horno de resistencias eléctricas, secando tandas de entre 60 y 90 gramos a 200 °C durante aproximadamente 20 min. Finalmente, se realizó un secado en estufa de vacío para garantizar la completa eliminación de la humedad residual como se muestra en la Figura 2. Luego se almacenó en una bolsa al vacío y refrigerada en el Laboratorio de Materiales de la Universidade da Região Joinville - Univille.



Figura 2. Horno de secado al vacío

Fuente: elaboración propia

Procesamiento de biomateriales

La elaboración de las muestras se desarrolló en el Laboratorio de Materiales de la Universidade da Região Joinville - Univille, en Joinville, Santa Catarina, Brasil. Se elaboraron 22 probetas en las cuales se fue variando la proporción de bagazo y resina presente en cada una:

- 2.1: dos partes de bagazo por una de resina.
- 3.1: tres partes de bagazo por una de resina.
- 4.1: cuatro partes de bagazo por una de resina.
- 5.1: cinco partes de bagazo por una de resina.

A su vez, se experimentó la variación de temperatura de secado y presión. En una primera instancia se experimentó sin presión ni temperatura, luego aplicando presión y temperatura gracias al horno disponible en el *Espaço Maker de Educação para o Design e a Sustentabilidade* de la Univille.

Finalmente, la configuración que mejores resultados arrojó fue el moldeo mediante la utilización de presión a través de una prensa hidráulica marca Bovenau, modelo P30000 con capacidad de 30 toneladas. Se aplicaron 10 toneladas de fuerza a un molde de aluminio como se muestra en la figura 3.

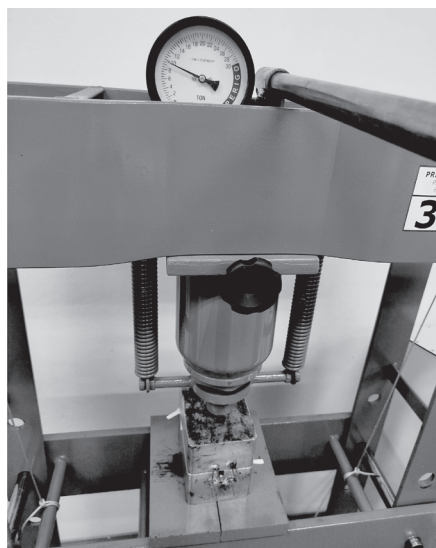


Figura 3. Prensa hidráulica y molde
Fuente: elaboración propia

Caracterización del material

En coherencia con el enfoque Material Driven Design, planteado por Karana E., et al., (2015), los ensayos realizados tuvieron como objetivo caracterizar el comportamiento higroscópico, mecánico y térmico del material desarrollado, aportando datos relevantes para la evaluación de su desempeño y generando información que permita orientar la posterior identificación de aplicaciones acordes a sus propiedades, limitaciones y posibilidades.

Análisis de densidad del material

La densidad del material permite cuantificar la cantidad de masa de un cuerpo en el espacio que este ocupa, y se calcula mediante la ecuación 1.

$$\rho = M/V \quad (1)$$

Donde:

M = Masa (Kg)

V = Volumen (m³)

Ensayo de absorción de agua según norma ASTM D570

El ensayo de absorción de agua se realizó conforme a la norma ASTM D570, con el objetivo de determinar la capacidad de absorción y la solubilidad en agua del biocompuesto elaborado a partir de bagazo de cerveza y resina de mamona. Este ensayo permite evaluar la estabilidad dimensional e higroscopia del material.

Se elaboraron tres probetas de cada proporción cuyas dimensiones fueron: 76,2*25,4*3,2 mm. Antes del ensayo, las probetas fueron secadas en horno al vacío a $50 \pm 3^\circ\text{C}$ marca Nova Ética, modelo 440/D durante 24 horas para eliminar completamente la humedad inicial y obtener el peso acondicionado, mediante una balanza analítica disponible en el Laboratorio de Materiales de la Univille, con una resolución de 0.0001 g.

El procedimiento utilizado fue de inmersión completa, en agua destilada a 18°C y 47 % de humedad relativa, durante un período de 24 horas. Transcurrido este tiempo, se retiraron las probetas, se secaron superficialmente con papel absorbente y se pesaron nuevamente para registrar el peso húmedo.

Finalmente, las muestras se volvieron a secar en horno al vacío a $50 \pm 3^\circ\text{C}$ por 24 horas para obtener el peso reacondicionado, que permitió estimar la cantidad de material soluble en agua. El proceso se muestra en la figura 4.

Para calcular el porcentaje de absorción de agua se utilizó la ecuación 2 y para calcular el porcentaje de materia soluble perdida durante la inmersión se utilizó la ecuación 3.

Absorción de agua:

Porcentaje de aumento de peso durante la inmersión:

$$\text{Incremento del peso, \%} = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso acondicionado}}{\text{peso acondicionado}} \times 100$$

(2)

Porcentaje de materia soluble perdida durante la inmersión:

$$\text{Percentage de materia soluble perdida, \%} = \frac{\text{peso acondicionado} - \text{peso reacondicionado}}{\text{peso acondicionado}} \times 100$$

(3)

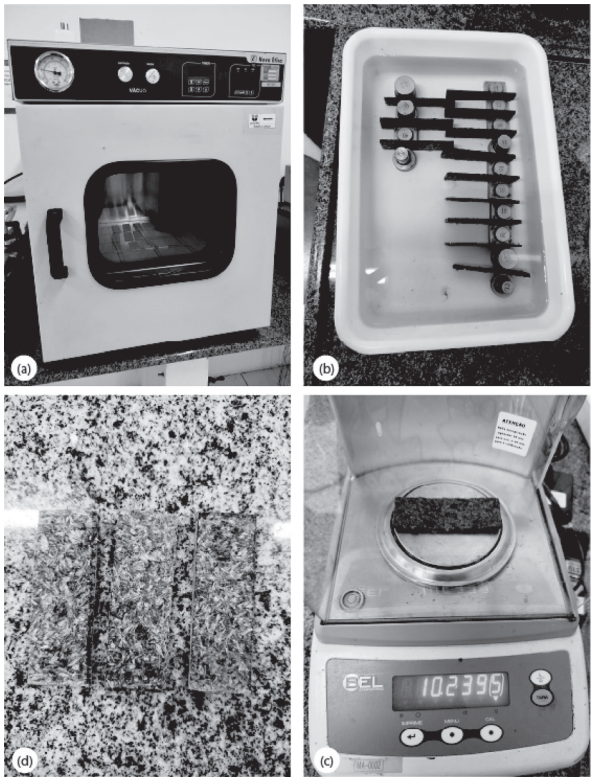


Figura 4. Ensayo de absorción de agua: (a) Horno de vacío secando muestras, (b) muestras sumergidas en agua (c) Muestras reacondicionadas (d) Pesado de la muestra.
Fuente: Elaboración propia

Ensayo de tracción según ASTM D638-22

Los ensayos de tracción fueron realizados en el Centro de Aplicações Mecânicas e Gestão Industrial (CAMEGI) de la Universidad UNIVILLE utilizando la máquina Universal de Ensayos Mecánicos (EMIC, modelo DL-10.000), según la norma ASTM D 638 (2022), con celdas de carga de 500 Kgf, aplicando una velocidad de ensayo de 5 mm/min hasta la rotura de las muestras.

Los resultados fueron obtenidos a partir de los valores medios y una estimación de desviación estándar de seis cuerpos de prueba para cada formulación. Se emplearon probetas tipo V, las cuales fueron mecanizadas y acondicionadas previamente en ambiente controlado (temperatura de 23 ± 2 °C y humedad relativa del 50 ± 5 %).

Se obtuvo la tensión máxima, el módulo de Young y la deformación específica. "Y" es el módulo de Young, "σ" es la tensión máxima y "ε" la deformación no porcentual (deformación porcentual dividido 100), como se grafica en las ecuaciones 4,5,6.

$$Y = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4)$$

$$\langle Y \rangle = \frac{\langle \sigma \rangle}{\langle \varepsilon \rangle} \quad (5)$$

Por teoría de propagación de errores:

$$\Delta Y = Y \sqrt{\left(\frac{\Delta \sigma}{\sigma}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2} \quad (6)$$

Análisis termogravimétrico (TGA) y termogravimétrico diferencial (DTG)

El análisis termogravimétrico (TGA) es un método de análisis térmico en el que la masa de una muestra se mide a lo largo del tiempo a medida que cambia la temperatura o a una temperatura constante durante un tiempo determinado. Se utiliza para analizar las características y composición de los materiales, las tasas de descomposición y evaporación, la oxidación, la pureza del material y entre otras propiedades.

Para el ensayo se utilizó el equipo TGA Q50 V20.13 Build 39, con un rango de temperatura de 25 °C a 800 °C y una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, el gas utilizado fue nitrógeno, con un flujo de 40.0 ml/min.

Resultados

Análisis de densidad del material

A partir de la ecuación 1 se calculó la densidad media de cada formulación, antes de ser sumergida en el agua, dando como resultado lo expuesto en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados del análisis de densidad.

Relación bagazo- resina	Densidad media (kg/m³)
2.1	1030
3.1	860
4.1	910
5.1	860

Fuente: Elaboración propia

Todas las muestras se ubican en el rango de alta densidad ($> 800 \text{ kg/m}^3$), de acuerdo con las clasificaciones habituales asociadas a la norma ANSI A208.1 (Wechsler, 2024). La muestra 2.1 presenta la mayor densidad media (1030 kg/m^3), lo que resulta coherente con su mayor contenido de resina. Este comportamiento puede atribuirse al rol del ligante como fase continua, favoreciendo una mayor cohesión y compactación del conjunto. Resultados similares han sido reportados por Wechsler (2024), quien obtuvo una densidad de 980 kg/m^3 en compuestos formulados con bagazo de cerveza autoadherido, y por Vidal L. (2021), que registró valores cercanos a 1100 kg/m^3 en una de sus formulaciones de bagazo de cerveza y algas.

Sin embargo, en las formulaciones con mayor contenido de bagazo (3:1, 4:1 y 5:1), la densidad no presenta una tendencia lineal decreciente en función del aumento del residuo. Si bien las muestras 3.1 y 5.1 registran valores similares (860 kg/m^3), la muestra 4.1 alcanza una densidad superior (910 kg/m^3). Esto sugiere que, además de la proporción de los componentes, intervienen otras variables propias del proceso de fabricación, tales como el grado de compactación, la distribución del ligante y la humedad residual del material.

Los valores obtenidos se encuentran dentro de rangos comparables a los reportados en investigaciones previas tanto en compuestos a base de bagazo de cerveza, donde Vidal L. (2021) obtuvo densidades de 800 y 840 kg/m^3 en otras formulaciones, como en materiales desarrollados con fibras naturales y resina de mamona, tal como el estudio de Fiorelli et al. (2011), que registró una densidad de 930 kg/m^3 . En conjunto, estos resultados ponen de

manifiesto la complejidad del sistema material desarrollado, en el cual la densidad emerge como una propiedad influenciada tanto por la formulación como por las condiciones de procesamiento.

Ensayo de absorción de agua

En la figura 5 se muestran los resultados de la absorción de agua, según norma ASTM D570, de las muestras realizadas con resina de mamona y bagazo de cerveza.

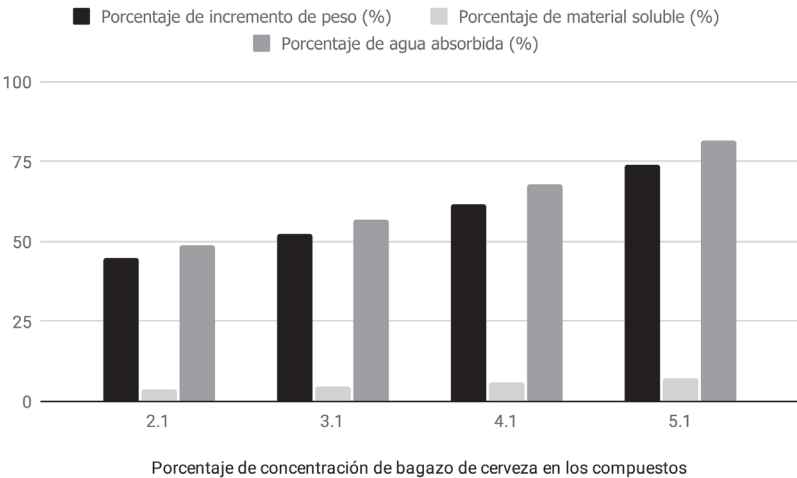


Figura 5. Absorción de agua según concentración de bagazo en los compuestos
Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos muestran valores de absorción total de agua comprendidos entre 42,8 % y 90,1 %, mientras que el porcentaje de material soluble oscila entre 2,8 % y 10,2 %. Este comportamiento se asocia a la naturaleza lignocelulósica del bagazo de cerveza, caracterizada por una alta porosidad y la presencia de componentes hidrofílicos como la celulosa, la hemicelulosa y la lignina.

Se observa una tendencia general en función de la relación bagazo/resina. Las muestras con menor proporción de bagazo (2:1) presentan menores niveles de absorción de agua (≈ 45 %), lo que indica una mayor cohesión interna y menor permeabilidad del material. Este comportamiento puede atribuirse a la mayor cantidad de resina de mamona, que

actúa como matriz continua y ejerce un efecto protector frente a la penetración de agua.

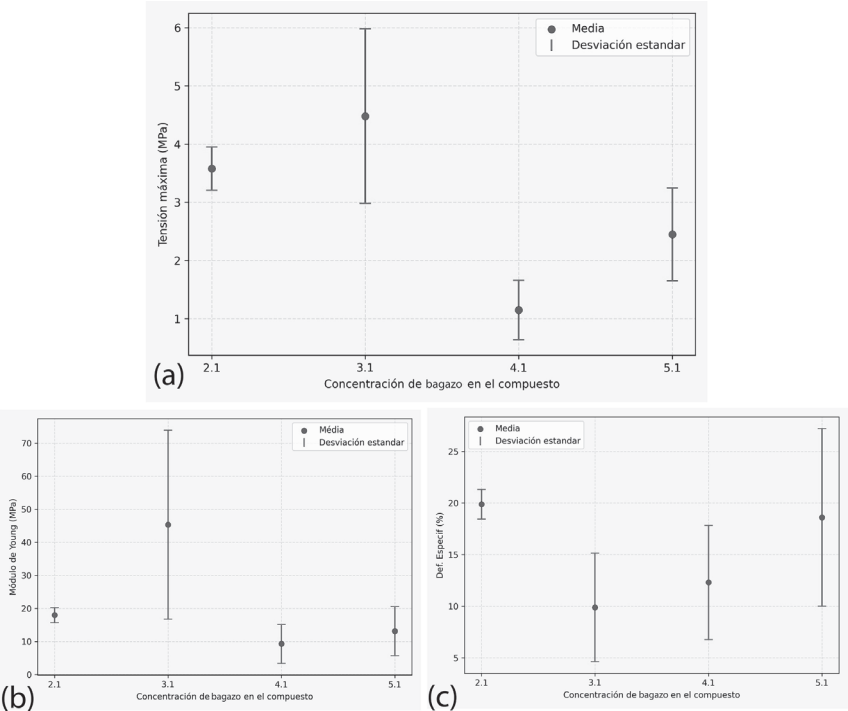
A medida que aumenta la proporción de bagazo en las formulaciones (3:1 a 5:1), se incrementa tanto la absorción de agua como el contenido de material soluble, alcanzando valores cercanos al 90 %. Este fenómeno puede explicarse por la mayor exposición de las fibras vegetales y la disminución del volumen relativo de resina, lo que favorece la penetración del agua en la matriz y la disolución de componentes solubles.

En comparación con estudios previos, los valores obtenidos resultan inferiores a los reportados por Vidal Lillo (2021), quien utilizó como ligante algas rojas (carragenina) y registró una absorción de agua del 257 %, . Asimismo, Wechsler (2024) no logró completar el ensayo de absorción, debido a la desintegración de las muestras de bagazo autoadherido antes de las 24 horas. En cuanto al contenido de material soluble, los valores registrados en este estudio son menores a los informados por López et al. (2022), quienes obtuvieron una solubilidad del 10,5 %, en sus compuestos a base de bagazo de cerveza y almidón.

En conjunto, estos resultados sugieren que la relación bagazo/resina constituye un factor determinante en la estabilidad del material frente al agua. Las formulaciones con menor contenido de bagazo (2:1) presentan mayor resistencia a la absorción hídrica y, por lo tanto, un mayor potencial de aplicación en entornos con humedad moderada. En contraste, las mezclas con mayor proporción de bagazo (5:1) exhiben una estructura más porosa y menor cohesión, por lo que resultarían más adecuadas para usos en interiores o en condiciones secas, o bien requerirían la incorporación de tratamientos hidrofóbicos adicionales.

Ensayo de tracción

En la figura 6 se muestran los resultados del ensayo a la tracción, según la norma ASTM D638-22, de las muestras realizadas con resina de mamona y bagazo de cerveza. Figura 6 - Resultados del ensayo de tracción; (a) Tensión máxima, (b) Módulo de Young (c) Deformación específica



Fuente: Elaboración propia

Los resultados evidencian diferencias en el comportamiento mecánico según la composición de las mezclas:

Las formulaciones con una proporción 3:1 presentaron el mejor desempeño mecánico global, alcanzando valores promedio de tensión máxima cercanos a 4,5 MPa, aunque con una elevada dispersión de resultados. Este comportamiento sugiere una adecuada relación entre la cantidad de fibras y el ligante, favoreciendo la cohesión interna del material y una eficiente transferencia de esfuerzos entre la fase fibrosa y la matriz.

Al incrementar la proporción de bagazo 4:1 y 5:1, se observa una disminución tanto de la resistencia como de la rigidez del material. Esta tendencia puede atribuirse a la menor cantidad de resina disponible para recubrir y unir las fibras, lo que genera una estructura más porosa, con menor continuidad de la matriz y mayor presencia de puntos de inicio de fractura.

Por su parte, las muestras con una relación 2:1, si bien presentan valores de resistencia intermedios (3,5 MPa) y una menor dispersión, no alcanzan el desempeño mecánico de la formulación 3:1. Este comportamiento podría asociarse a un exceso de resina, que favorece la cohesión pero limita la contribución estructural de las fibras, resultando en un material menos rígido.

En términos comparativos, los valores de tensión máxima obtenidos en este estudio resultan superiores a los reportados por Wechsler (2024), quien registró valores cercanos a 0,09 MPa en la muestra de bagazo autoadherido y por Vidal Lillo (2021), ya que con su compuesto de bagazo de cerveza y algas obtuvo valores en torno a 0,7 MPa. Como así también por Fiorelli et al. (2011), quienes informaron 1,29 MPa en compuestos con fibras naturales y resina de mamona.

El comportamiento observado es consistente con el de materiales compuestos heterogéneos, en los cuales la distribución de fibras, la continuidad de la matriz y las condiciones de procesamiento influyen de manera significativa en la respuesta mecánica y en la dispersión de los resultados.

Al analizar los valores de densidad y módulo de elasticidad obtenidos en relación con los diagramas de selección de materiales de Ashby, como se indica en la figura 7, se observa que el biomaterial desarrollado se ubica en una zona de transición entre los polímeros de baja rigidez y los materiales naturales densos. Con densidades comprendidas entre 860 y 1030 kg/m³ y módulos de Young del orden de 9 a 45 MPa, las formulaciones ensayadas presentan un comportamiento mecánico más cercano al de materiales lignocelulósicos procesados, como maderas reconstituidas o tableros de fibras de baja densidad, que al de polímeros industriales convencionales.

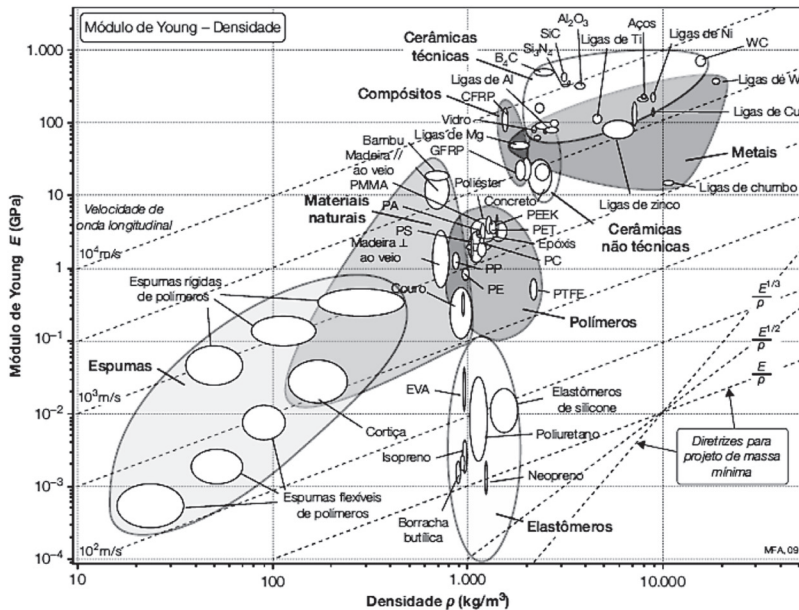


Figura 7. Diagrama de Ashby

Fuente: [https://www.passeidireto.com/arquivo/123005111/mapa-de-ashby-modulo-de-elasticidade-versus-densidade?](https://www.passeidireto.com/arquivo/123005111/mapa-de-ashby-modulo-de-elasticidade-versus-densidade?from_view=detail&from_search_result=true)

En particular, la formulación 3:1 se posiciona como la más eficiente desde el punto de vista mecánico, al alcanzar mayores valores de rigidez sin un incremento significativo de la densidad, lo que sugiere un equilibrio favorable entre la fase fibrosa y el ligante. Esta ubicación en el diagrama de Ashby refuerza la lectura del material como un biomaterial no estructural, adecuado para aplicaciones semirrígidas, donde se prioricen criterios de sustentabilidad, origen renovable y adecuación contextual por sobre la máxima performance mecánica.

Análisis termogravimétrico (TGA) y termogravimétrico diferencial (DTG)

En la figura 8 se muestran los resultados del análisis Termogravimétrico (TGA) y termogravimétrico diferencial (DTG), realizados en el laboratorio de materiales de la Univille, con diferentes concentraciones de resina de mamona y bagazo de cerveza.

Muestras de compuestos de bagazo de cerveza y resina de mamona

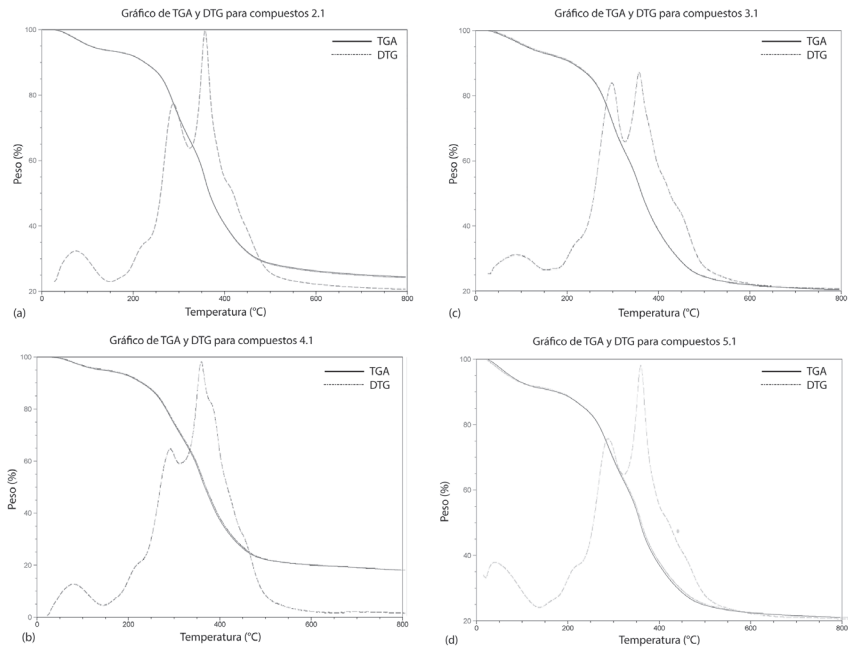


Figura 8. Resultados del ensayo TGA y DTG: (a) concentración 2.1, (b) concentración 3.1, (c) concentración 4.1, (d) concentración 5.1.
Fuente: Elaboración propia

Tabla comparativa entre muestras de compuestos de bagazo de cerveza y resina de mamona

Muestra (bagazo:resina)	Tonset (°C)	Tmax (°C)	Residuo a 600°C (%)	Eventos térmicos e interpretaciones
2 : 1	248	357	25	T ambiente -150 °C: Pérdida de humedad libre y absorbida (6%). 180-324 °C: Degradación inicial de la hemicelulosa y comienzo de la ruptura de la cadena polimérica de la resina de mamona. 320-410 °C: Descomposición de la celulosa y la matriz polimérica. 410-600 °C: Descomposición de la lignina residual y formación de un residuo carbonoso estable.
3 : 1	256	358	22	T ambiente -150 °C: Pérdida de humedad. 200-326: Despolimerización de la hemicelulosa y comienzo de la degradación de la resina. 326-440 °C: Degradación principal de la celulosa y el polímero. 440-600 °C: Descomposición lenta de la lignina y carbonización.
4 : 1	244	358	20	Temperatura ambiente -150 °C: Pérdida de agua libre y absorbida. 200-310 °C: Descomposición de la hemicelulosa y los extractos del bagazo y comienzo de la degradación de la resina de mamona. 310-420 °C Degradación de la celulosa y la matriz polimérica de la resina. 420-600 °C: Degradación de la lignina restante y carbonización final.
5 : 1	245 °C	358 °C	22%	Temperatura ambiente -150 °C: Evaporación del agua. 180-322 °C: Despolimerización y descomposición de la hemicelulosa, inicio de la degradación de la resina. 322-400 °C: Degradación de la celulosa y los componentes aromáticos. 400-600 °C: Degradación de la lignina y formación de residuos carbonosos. 420-600 °C: Degradación de la lignina restante y carbonización final

Las cuatro curvas mostraron un comportamiento térmico característico de los compuestos lignocelulósicos (Almeida et al., 2017; Mussatto et al., 2006). Desde la temperatura ambiente hasta los 150 °C, se observó una pérdida de masa inicial del 5 al 10 %, debido a la evaporación del agua libre y la humedad residual del bagazo. Entre los ~180 y los 440 °C, tuvo lugar la principal degradación térmica, asociada a la descomposición de la hemicelulosa (a partir de aproximadamente 180 °C) y la celulosa (a partir de aproximadamente 310 °C), además de la fase polimérica de la resina de mamona, que muestra el inicio de la degradación (T_{onset}) entre 200 y 300 °C, dependiendo del grado de reticulación. El Tonset es un indicador de la estabilidad térmica del material durante su procesamiento; si el Tonset del compuesto cae por debajo de la temperatura de procesamiento deseada, existe riesgo de degradación durante el moldeo/extrusión. Entre 400 y 600 °C, se observó degradación de la lignina residual (en un rango amplio y lento) y de las cadenas más estables de la resina mamona, seguida de la formación de residuos carbonosos. La descomposición de la lignina en el bagazo comienza alrededor de los 250 a 280 °C, pero se produce lentamente hasta aproximadamente los 550 a 600 °C, lo que explica la elevada cantidad de residuos carbonosos en las curvas TGA (Yang et al., 2007). Por encima de los 600 °C, se produce la estabilización de los residuos carbonosos.

El aumento de la proporción de bagazo en el compuesto provocó una disminución de la temperatura inicial de descomposición térmica (Tonset), reduciendo la estabilidad térmica inicial del compuesto; sin embargo, no se observó variación en la temperatura máxima de degradación térmica. También se observó una ligera disminución en el porcentaje de residuo carbonoso, lo que puede deberse a que la resina de mamona genera más residuo por unidad de masa que el bagazo.

Conclusiones

El presente trabajo se enmarca en una instancia de experimentación de carácter exploratorio orientada al desarrollo de biomateriales a partir de bagazo de cerveza y resina de mamona. En este sentido, los resultados obtenidos permiten caracterizar el comportamiento higroscópico, mecánico y térmico de las formulaciones ensayadas, siendo estos valores válidos para el proceso y las condiciones de fabricación específicamente descritas en este estudio.

Dado el carácter experimental del estudio y la cantidad limitada de probetas analizadas, se prevé en trabajos futuros ampliar el número de muestras ensayadas, con el objetivo de reducir la dispersión de los resultados y obtener valores estadísticamente más robustos. Asimismo, se prevé ensayar la utilización del ligante como tratamiento superficial o impermeabilizante, con el fin de disminuir la absorción de agua del material y ampliar su rango potencial de aplicaciones.

A partir de los resultados obtenidos, y en coherencia con la metodología *Material Driven*

Design, el siguiente paso de la investigación se orienta a la optimización del material y posteriormente a la identificación y evaluación de aplicaciones pertinentes, acordes a las propiedades, limitaciones y posibilidades del biomaterial desarrollado. De este modo, el material no se concibe como un fin en sí mismo, sino como un punto de partida para el diseño de productos sustentables, contextualizados y alineados con principios de economía circular y producción local.

Este trabajo pretende contribuir al campo del diseño y los biomateriales aportando evidencia sobre el potencial del bagazo de cerveza como recurso material, brindando conocimiento experimental que contribuye a la construcción de criterios para el diseño de productos con menor huella ecológica.

Al tratarse de un biomaterial elaborado a partir de residuos orgánicos y mediante procesos de baja estandarización, próximos a lógicas artesanales y de pequeña escala, la variabilidad se presenta como una característica inherente a la naturaleza del material desarrollado. En este sentido, el desarrollo de nuevas materialidades sustentables plantea el desafío de repensar no solo los procesos productivos, sino también los criterios de evaluación, diseño y uso de los productos. Estas materialidades requieren de nuevos actores, diseñadores, productores y usuarios, capaces de aceptar y valorar la heterogeneidad, desplazando la noción de “perfección” asociada a la homogeneidad y la estandarización industrial, hacia enfoques que reconozcan la singularidad, la trazabilidad y el carácter situado de los materiales y de los objetos resultantes.

Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia y Tecnología (Se.C. y T.), U.N.C.

A la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), Programa Move La America, Edital No 07/2024, Processo: 88881.017326/2024-01.

A la Universidade da Região Joinville - Univille.

Referencias

- Almeida, M. F., Cunha, L. M., Soares, B., & Santos, A. R. (2017). Cinética de descomposición térmica del bagazo de cerveza. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 127, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2017.09.009> (doi.org in Bing)
- ASTM International. (2022). *ASTM D638-22: Standard test method for tensile properties of plastics*. ASTM International.
- ASTM International. (2010). *ASTM D570-98: Standard test method for water absorption of plastics*. ASTM International.
- Cangemi, J. M., Santos, A. D., & Claro Neto, S. (2010). A revolução verde da mamona. *Química Nova na Escola*, 32(1), 3–8.
- Donoso, S., & Wechsler, A. (2020). Los materiales bio basados y el paradigma desarrollista latinoamericano: perspectivas desde el Diseño industrial. *Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*, 114(114), 71–74.
- Evaristo, R. B. W., Costa, A. A., Nascimento, P. G. B. D., & Ghesti, G. F. (2023). Biorefinery development based on brewers' spent grain (BSG) conversion: A forecasting technology study in the Brazilian scenario. *Biomass*, 3(3), 217–237. <https://doi.org/10.3390/biomass3030013>
- Fiorelli, J., Lahar, F. A. R., do Nascimento, M. F., Junior, H. S., & Rossignolo, J. A. (2011). Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona: Produção e propriedades. *Acta Scientiarum. Technology*, 33(4), 401–406.
- Fressoli, J. M. (2015). Movimientos de base e innovación sustentable: La construcción de caminos alternativos. *Ciencia e Investigación*, 65(3), 55–68. Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias.
- Karana, E., Barati, B., Rognoli, V., & Zeeuw Van Der Laan, A. (2015). Material driven design (MDD): A method to design for material experiences. *International Journal of Design*, 9(2), 35–54. <http://www.ijdesign.org/index.php/IJDesign/article/view/2275>
- Lopes, A. C., Klosowski, A. B., Carvalho, B. M., & Olivato, J. B. (2022). Application and characterisation of industrial brewing by-products in biodegradable starch-based expanded composites. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(8), 5523–5531.
- Martínez Ramírez, G. J., Pacheco Peña, V. H., & Pascuas Rojas, J. S. (2022). ¿Cómo aportar al desarrollo sostenible haciendo un buen uso y aprovechamiento de subproductos como el bagazo de las micro cervecerías en Bogotá D.C.?
- Ministério da Agricultura e Pecuária. (2024). *Anuário da cerveja: Ano referência 2023–2024*. <https://sindicerv.com.br/2025/wp-content/uploads/2024/05/Anuario-da-cerveja-2024-referencia-2023-MAPA-versao-web.pdf>
- Mussatto, S. I., Dragone, G., & Roberto, I. C. (2006). Granos de cerveza usados: generación, características y aplicaciones potenciales. *Bioresource Technology*, 97(16), 1943–1950. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.06.001>
- Lins, L. P., Martinez, D. G., Furtado, A. C., & Padilha, J. C. (2023). Biomethane generation and CO₂ recovery through biogas production using brewers' spent grains. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 48, 102579. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102579> (doi.org in Bing)

- Lima, L. A., Fernandes, T. L., Tenório, L. D. S., Silva, M. D., Evaristo, R. B. W., Ghesti, G. F., & Martin, A. R. (2017). Sinopse do cenário cervejeiro: O advento da produção e o mercado na região Centro-Oeste. *Cadernos de Prospecção*, 10(4), 650–660.
- Lynch, K. M., Steffen, E. J., & Arendt, E. K. (2016). Brewers' spent grain: A review with an emphasis on food and health. *Journal of the Institute of Brewing*, 122(4), 553–568. <https://doi.org/10.1002/jib.365>
- Orus. (2025, July 31). *Cerveza: producción mundial 2009-2024*. Statista. Retrieved November 6, 2025, from <https://es.statista.com/estadisticas/600571/produccion-de-cerveza-a-nivel-mundial-1998/>
- Pellin, V., & Mantovaneli Jr, O. (2016). Cerveja artesanal e desenvolvimento regional em Santa Catarina (Brasil). *PRACS: Revista Eletrônica de Humanidades do Curso de Ciências Sociais da UNIFAP*, 9(3), 47–61.
- Rachwał K, Waśko A, Gustaw K, Polak-Berecka M. 2020. Aprovechamiento de residuos cerveceros en la industria alimentaria. *PeerJ* 8: e9427 <https://doi.org/10.7717/peerj.9427>
- Raimilla, M., Fernández-Ortúzar, J. E., González-Esparza, A., & Ravanal, M. C. (2023). Bagazo producido en la industria cervecera: Alternativas de valorización y reutilización. *Agro Sur*, 51(1), 33–42. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2023.v51n1-03>
- Report of the World Commission on Environment and Development & UN Secretary-General. (1987) UN Digital Library, <https://digitallibrary.un.org/record/139811?ln=es>
- Tardini, F. (2023). Los biomateriales como camino alternativo en el área del diseño. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*, (191), 263–276.
- Vielma, M., Mangui, S. P. M., & Ullua, S. N. (2022). Los biomateriales y la neoartesanía: estímulos creativos para el Diseño industrial. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*, (159), 191–201.
- Vidal Lillo, N. (2021). *Desarrollo de un material biobasado a partir del bagazo de malta, subproducto de la cerveza artesanal* [Tesis de licenciatura, Universidad de Chile]. Repositorio UChile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/183764>
- Wechsler, L. (2024). *Tableros de cáscara de arroz basados en adhesivos biogénicos y tableros de bagazo de cerveza autoadheridos* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ingeniería, Argentina).
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., & Zheng, C. (2007). Características de la pirólisis de hemicelulosa, celulosa y lignina. *Fuel*, 86(12–13), 1781–1788. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.12.013>

Abstract: The following article presents results from a research stay at the University of the Joinville region – Univille, in Santa Catarina, Brazil, focused on the development of a biomaterial from an Industrial Design perspective. Using brewery bagasse and castor oil resin, a biodegradable vegetal binder, compounds with different proportions were formulated and evaluated through density analysis, water absorption tests, tensile tests, and thermogravimetric analysis (TGA). The results indicate that the 3:1 bagasse–resin

ratio achieves the highest mechanical strength and shows behavior compatible with a non-structural biomaterial, suitable for semi-rigid applications.

Keywords: materials development – sustainability – circular economy – organic waste – brewery bagasse.

Resumo: O artigo apresenta resultados de uma estadia de pesquisa na Universidade da região de Joinville – Univille, em Santa Catarina, Brasil, voltada para o desenvolvimento de um biomaterial sob a perspectiva do Design Industrial. A partir do bagaço de cerveja e da resina de mamona, ligante vegetal biodegradável, foram formulados compósitos com diferentes proporções e avaliados por meio de análise de densidade, ensaio de absorção de água, ensaio de tração e análise termogravimétrica (TGA). Os resultados indicam que a relação bagaço–resina 3:1 alcança a maior resistência mecânica e apresenta comportamento compatível como biomaterial não estrutural, adequado para aplicações semirrígidas.

Palavras-chave: desenvolvimento de materiais – sustentabilidade – economia circular – resíduos orgânicos – bagaço de cerveja.

Valentina Vinci: Es Diseñadora Industrial, egresada de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Actualmente es becaria doctoral del Doctorado en Arquitectura de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD–UNC).

Su investigación doctoral se centra en el estudio de biomateriales, abordando el diseño de materiales desde una perspectiva ambiental, social y económica, enmarcada en los principios de la economía circular y la producción localizada. Ha participado en instancias de formación académica y de intercambio internacional en el área de biomateriales y diseño sustentable.

Noeli Sellin: Posee título de grado en Ingeniería Química por la Universidade Estadual de Maringá (UEM) (1995), y títulos de Maestría (1998) y Doctorado (2002) en Ingeniería Química por la Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Actualmente es profesora en los Departamentos de Ingeniería Química e Ingeniería Ambiental y Sanitaria, e integra el Programa de Maestría en Ingeniería de Procesos y la Maestría Profesional en Diseño de la Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE).

Cuenta con amplia experiencia en Procesos Industriales, con énfasis en producción más limpia, procesos y productos sustentables, tratamiento, valorización y minimización de residuos industriales y agroindustriales, biomasa para energía (briquetado, combustión y pirólisis) y materiales poliméricos.

Danilo Corrêa Silva: Es Diseñador de productos egresado de la Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil. Doctor en Diseño por el Programa de Posgrado en Diseño de la FAAC/UNESP (campus Bauru).

Desde 2023 se desempeña como Coordinador del Programa de Posgrado en Diseño (Maestría y Doctorado Profesional) de la Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE), donde también es Profesor Adjunto.

Es miembro del Comité de Ética en Investigación de la Univille. Su actuación se centra en el campo del Diseño Industrial, con énfasis en innovación, investigación y aplicación de nuevos materiales en el diseño de productos.

Silvia Patricia Hernandez: Posee título de grado en Arquitectura por la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño; Universidad Nacional de Córdoba, 1982. Arquitecto en España, Homologación del título con fecha del 15-03-91. Real decreto 86/1987 del 16 de enero, acta n° 050431/11888.

Es Magister en Educación en psico-informática, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Fecha de Defensa de tesis, 7 de mayo 2004, resolución no 17807/00. TESIS, Hipermedia educativa, para enseñanza a distancia, La domótica y el diseño con tecnología. Y doctora en arquitectura y urbanismo, Universidad del Bio Bio, Concepción, Chile, Proyecto tesis aprobado en enero de 2011: Tema de Tesis: usuario activo/ usuario pasivo. Estudio de la percepción del confort en edificios inmóticos de oficinas. Actualmente desempeña como docente en carreras de grado y posgrado, en la Materia Equipamiento, Carrera de Arquitectura, profesora titular materia electiva Diseño Industrial, Equipamiento A desde año 2015, profesora del cuerpo académico de la carrera de Doctorado, Docta, escuela de Posgrado, FAUD, donde dicta el Seminario de tecnología. Desarrolla actividades de investigación vinculadas a tecnología y domótica, es investigadora categorizada II, programa de incentivos, SECyT, secretaria de Ciencia y Técnica. Directora de Investigación DTO 2427/93.