

# PANELES BIOAGLOMERADOS DESDE RESIDUOS FORESTALES: EL CASO DEL EUCALYPTUS GLOBULUS LABILL

TRINIDAD LAZCANO ALVARADO

UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO, SANTIAGO, CHILE

---

RECIBIDO: 15 DE OCTUBRE DE 2025 // ACEPTADO: 19 DE ENERO DE 2026

---

LA PRESENTE INVESTIGACIÓN DESCRIBE EL PROCESO DE DISEÑO, DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE PANELES BIOAGLOMERADOS ELABORADOS A PARTIR DE CÁPSULAS DEL EUCALYPTUS GLOBULUS LABILL, ESPECIE INVASORA DE ALTA INCIDENCIA AMBIENTAL EN CHILE. EL ESTUDIO SE POSICIONA PRIORITARIAMENTE COMO UNA INVESTIGACIÓN APLICADA ORIENTADA AL DESARROLLO Y VALIDACIÓN TÉCNICA DE UN BIOMATERIAL, DESARROLLADA EN EL CONTEXTO DE UN PROYECTO DE TESIS GUIADO DURANTE UN AÑO ACADÉMICO DESARROLLADO BAJO MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN Y EN ESTRECHA COLABORACIÓN ENTRE ESTUDIANTE Y DOCENTES. SU PROPÓSITO FUE EXPLORAR LA VIABILIDAD TÉCNICA Y SOSTENIBLE DE TRANSFORMAR UN RESIDUO FORESTAL EN UN MATERIAL FUNCIONAL, UTILIZANDO METODOLOGÍAS DE DISEÑO ORIENTADAS A LA EXPERIMENTACIÓN MATERIAL Y LA ECONOMÍA CIRCULAR. LA INVESTIGACIÓN SE ESTRUCTURÓ SEGÚN LOS ENFOQUES MATERIAL DRIVEN DESIGN (MDD) Y BIOMATERIALES BASADOS EN EL TERRITORIO (BBT), INTEGRANDO ETAPAS DE DIAGNÓSTICO TERRITORIAL, CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA, FORMULACIÓN Y FABRICACIÓN DE MEZCLAS, APLICACIÓN DE PRUEBAS FÍSICO-MECÁNICAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS. LOS PANELES OBTENIDOS ALCANZARON UNA DENSIDAD PROMEDIO DE  $0,82 \text{ G/CM}^3$ , UNA ABSORCIÓN DE AGUA DEL 6,3% Y UNA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE 11,4 MPA, EVIDENCIANDO ESTABILIDAD ESTRUCTURAL Y BAJA PERMEABILIDAD. LOS RESULTADOS TÉCNICO-MATERIALES OBTENIDOS PERMITEN SITUAR EL BIOAGLOMERADO DENTRO DEL RANGO DE MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS DE BAJA DENSIDAD CON POTENCIAL DE APLICACIÓN EN DISEÑO DE INTERIORES. MÁS ALLÁ DE LOS RESULTADOS TÉCNICOS, EL TRABAJO RECONOCE EL CONTEXTO FORMATIVO EN EL QUE SE DESARROLLÓ LA INVESTIGACIÓN, SIN CONSTITUIR ESTA DIMENSIÓN UN OBJETO DE ESTUDIO EN SÍ MISMO, DEMOSTRANDO QUE LA PRÁCTICA ACADÉMICA EN PREGRADO PUEDE CONTRIBUIR A LA GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO APLICADO EN DISEÑO SOSTENIBLE.

**PALABRAS CLAVE:** EUCALYPTUS GLOBULUS LABILL, BIOMATERIALES, DISEÑO SOSTENIBLE, ECONOMÍA CIRCULAR, ESPECIES INVASORAS.

48



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-  
NoComercial-SinDerivadas 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-  
NoDerivatives 4.0 International License (CC BY-NC-ND 4.0).

#### REDEFINIR EL RESIDUO: EL E. GLOBULUS COMO RECURSO DE DISEÑO

El diseño contemporáneo enfrenta el desafío de responder a los impactos ambientales derivados de los modelos productivos lineales, caracterizados por la extracción intensiva de recursos naturales, la manufactura industrial de alta energía y la generación de residuos sin retorno al ciclo ecológico. Este sistema lineal, sostenido durante décadas por la economía a nivel global, ha contribuido de manera significativa a la pérdida de biodiversidad, el deterioro de los suelos y el aumento de la huella de carbono a nivel global. En este contexto, el diseño ha ampliado su campo de acción, transitando desde una práctica centrada en la producción de objetos, espacios y servicios hacia una disciplina capaz de generar conocimiento aplicado, particularmente en ámbitos vinculados a la sostenibilidad, la materialidad y el territorio.

Los biomateriales emergen como una respuesta relevante a estos desafíos, al proponer alternativas que combinan innovación material, aprovechamiento de recursos locales y reducción del impacto ambiental. Diversos estudios han destacado el potencial de los residuos agrícolas y forestales como materia prima para el desarrollo de biocompuestos, permitiendo disminuir la dependencia de materiales convencionales y promover modelos de economía circular (Parisi & Rognoli, 2020; Ellen MacArthur Foundation, 2021)

Entre las problemáticas ambientales más críticas de Chile se encuentra la expansión descontrolada del E. Globulus, especie exótica introducida masivamente por la industria forestal debido a su rápido crecimiento y rentabilidad económica. Sin embargo, su masificación ha provocado un desequilibrio ecológico significativo: compite con especies nativas por agua y nutrientes, empobrece los suelos debido a su pH ácido, y su alta inflamabilidad incrementa el riesgo de incendios forestales (Instituto Forestal de Chile [INFOR], 2022; Ministerio del Medio Ambiente [MMA], 2023). Paralelamente, las cápsulas (fruto leñoso del eucalipto), cuya función biológica es contener, proteger y liberar las semillas una vez alcanzada su madurez, generalmente en respuesta a condiciones ambientales favorables, se generan en volúmenes anuales estimados en más de un millón de toneladas solo en la Región del Biobío. Actualmente, estas cápsulas son desechadas sin aprovechamiento, configurándose como un residuo forestal de alta disponibilidad y bajo valor económico, que carece de estrategias sistemáticas de valorización.

Frente a este escenario, el presente estudio se plantea como problema de investigación la escasa exploración del potencial técnico de las cápsulas de E. globulus como materia prima para el desarrollo de biomateriales aplicables en diseño. La pregunta que orienta la investigación es: ¿es técnicamente viable desarrollar paneles bioaglomerados a partir de cápsulas de E. globulus que presenten propiedades físico-mecánicas adecuadas para aplicaciones en diseño de interiores y mobiliario?

La investigación se enmarca en una memoria de título universitaria desarrollada durante un año académico completo, bajo la supervisión de una dupla docente especializada en investigación en diseño y otros docentes expertos en materiales, sostenibilidad y química ambiental. Esta modalidad permitió integrar la interdisciplina simultáneamente entre el rigor científico propio de la investigación aplicada y la orientación formativa característica del proceso educativo. A través de encuentros semanales, sesiones de laboratorio y revisión de avances, la relación alumno-docente se consolidó como un eje metodológico

fundamental, articulando la reflexión crítica del diseño con la práctica experimental de los materiales. Esta estructura colaborativa permitió que la investigación avanzara en paralelo por dos dimensiones complementarias: por un lado, la técnica y material, centrada en la validación de las propiedades del bioaglomerado; y por otro, la pedagógica, enfocada en el aprendizaje, la toma de decisiones proyectuales y la generación de conocimiento desde la práctica de la disciplina del diseño.

El objetivo general del estudio fue evaluar la factibilidad de producir paneles bioaglomerados a partir de cápsulas del E. globulus mediante metodologías de diseño orientadas a la experimentación material y la sostenibilidad. Para alcanzar este propósito, se definieron los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar las propiedades físicas y químicas del residuo vegetal para determinar su viabilidad como materia prima.
2. Desarrollar formulaciones experimentales del bioaglomerado utilizando biopolímeros naturales.
3. Fabricar paneles mediante procesos controlados de prensado térmico.
4. Evaluar las propiedades físico-mecánicas (densidad, absorción de agua, tracción y abrasión) del material obtenido según normas técnicas reconocidas (UNE-EN 323, UNE-EN 317, ASTM D1037 y EN 14323).
5. Analizar el desempeño del bioaglomerado en relación a materiales lignocelulósicos comparables reportados en la literatura.

#### METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló bajo un enfoque de investigación aplicada, combinando la lógica proyectual del diseño con procedimientos propios de la experimentación en ciencia de materiales. La metodología se estructuró a partir de la integración de los enfoques MDD y BBT, adaptados a un contexto académico de investigación guiada.

Cabe señalar que el desarrollo de la presente investigación se encuentra actualmente en proceso de patentamiento, razón por la cual determinados aspectos técnicos asociados a los procedimientos experimentales, formulaciones específicas y parámetros de fabricación no pueden ser descritos en detalle en esta instancia. En consecuencia, la metodología expuesta prioriza la descripción del enfoque conceptual, los marcos metodológicos adoptados y los criterios generales de diseño y experimentación, resguardando la confidencialidad necesaria para la protección de la propiedad intelectual, sin comprometer la validez científica ni la reproducibilidad conceptual del estudio.

En primer lugar, la metodología MDD (Karana et al., 2015), una metodología que sitúa el material como eje central del proceso de diseño, promoviendo la comprensión de sus propiedades sensoriales, técnicas y culturales. Este enfoque plantea que el conocimiento material se construye de manera iterativa, a partir de la exploración empírica y el diálogo entre la visión proyectual y la evidencia científica. En segundo lugar, se adoptó la perspectiva de la metodología BBT (Weiss Münchmeyer & Besoin Narvaez, 2022), que propone el desarrollo de materiales a partir de recursos locales, valorizando la identidad ecológica, cultural y productiva del territorio. La combinación de ambos enfoques permitió adaptar una metodología interdisciplinaria propia al caso de estudio, integrando criterios de diseño, sostenibilidad y propiedades de los materiales.

Por otro lado, el vínculo entre diseño y sostenibilidad se articula también con los principios de la economía circular (Calderón et al., 2024) que busca reemplazar el modelo lineal de extraer-fabricar-desechar por uno regenerativo basado en el ciclo continuo de recursos. Según la Fundación Ellen MacArthur (2021), el 80% del impacto ambiental de un producto se determina en su etapa de diseño, lo que sitúa a los diseñadores como actores clave en la transición hacia modelos productivos sostenibles. En este sentido, el desarrollo de biomateriales a partir de residuos locales no solo representa una innovación técnica, sino también una transformación epistemológica del rol del diseñador, que pasa de ser un mediador formal a convertirse en un agente de cambio ambiental y social (Pieroni et al., 2019).

El aprovechamiento de cápsulas de *E. globulus* se fundamenta en su condición de residuo forestal asociado a una especie exótica de alta expansión, lo que permite abordar una problemática ecológica vinculada a la acumulación de biomasa sin valorización. Al mismo tiempo, su uso como materia prima alternativa responde a la demanda industrial por materiales sostenibles, al tratarse de un recurso renovable, disponible localmente y subutilizado. Esta estrategia contribuye a reducir la presión sobre recursos naturales vírgenes, favorecer economías locales mediante la generación de valor agregado territorial y ampliar las fuentes de innovación material, alineándose con enfoques de economía circular y diseño sostenible. A nivel nacional, esta línea de investigación se alinea con la Estrategia Nacional de Economía Circular para Chile (MMA, 2023) y con la Agenda 2030 de la Organización de Naciones Unidas (2015), cuyos objetivos de desarrollo sostenible 9, 12 y 15 promueven la producción sostenible, la innovación responsable y la conservación de los ecosistemas terrestres.

Además, la investigación responde a una necesidad emergente en la educación en diseño: desarrollar competencias científicas y técnicas que permitan abordar los desafíos de la sostenibilidad desde una perspectiva interdisciplinaria (Kolb, 1984). El proceso formativo implicó la adquisición de habilidades en el ámbito experimental, análisis de datos, documentación metodológica y comunicación científica, aspectos esenciales para la profesionalización del diseño contemporáneo como agente de cambio. En este contexto, la tutoría docente desempeñó un papel central al orientar la toma de decisiones, asegurar la coherencia metodológica y estimular la reflexión crítica. Así, el trabajo trasciende su valor técnico y se posiciona como una experiencia educativa integral, en la que el aprendizaje práctico se vincula con la producción de conocimiento aplicable al territorio.

### 2.1 ADAPTACIÓN METODOLÓGICA

El desarrollo de esta investigación se estructuró metodológicamente en torno a la convergencia entre la experimentación material y la reflexión proyectual (Figura 1). Desde su concepción, el proyecto se enmarcó en una estrategia de investigación aplicada sustentada en la observación empírica, la iteración y la evaluación sistemática de resultados. La metodología adoptada combina los principios del MDD y de los BBT. Esta integración permitió vincular la lógica del diseño con los procedimientos propios de las ciencias de los materiales, generando un proceso híbrido que articula conocimiento técnico, sensibilidad ecológica y aprendizaje colaborativo.

#### 2.1.1 ENFOQUE METODOLÓGICO Y ESTRUCTURA GENERAL

El enfoque metodológico del proyecto se basó en una secuencia de cuatro etapas principales:

- Diagnóstico territorial y caracterización del residuo.
- Preparación de materia prima y formulación experimental.
- Fabricación y prensado de paneles.
- Evaluación físico-mecánica y análisis comparativo de resultados.

Cada una de estas etapas fue acompañada por sesiones de revisión y tutoría académica, en las cuales se discutieron las decisiones técnicas, los ajustes de protocolo y la interpretación de los resultados parciales.

#### 2.2 DIAGNÓSTICO TERRITORIAL Y CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO

El trabajo comenzó con una fase de exploración territorial centrada en la identificación y evaluación del residuo vegetal. Se seleccionó la Región Metropolitana, donde el *E. globulus* presenta una alta densidad de distribución y constituye una fuente potencial de biomasa no aprovechada. La recolección se realizó en zonas urbanas cercanas a la comuna de Las Condes durante los meses de junio a octubre, considerando únicamente cápsulas maduras y secas caídas naturalmente del árbol, con el fin de evitar impacto ambiental adicional.

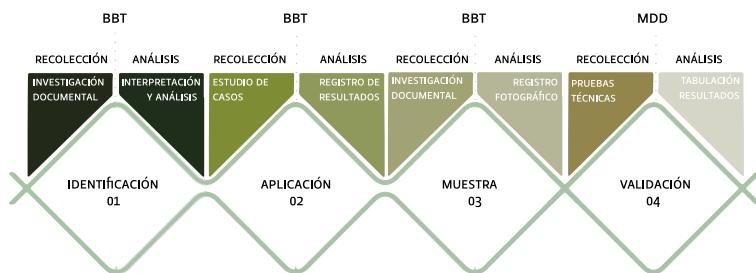
Las cápsulas (Figura 2) fueron estudiadas según la literatura para determinar su composición química básica y características físicas. Los resultados encontrados evidencian un alto contenido de lignina (28%) y celulosa (45%), con presencia de compuestos naturales como eucaliptol, conocido por sus propiedades hidrofóbicas y antibacterianas (Amaya, 2020). Este perfil químico justificó su selección como materia prima para un bioaglomerado de baja absorción y buena resistencia estructural, además de propiedades antifúngicas.

#### 2.3 PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Las cápsulas de *Eucalyptus globulus* recolectadas fueron sometidas a un proceso de pretratamiento estandarizado, orientado a la eliminación de impurezas, la estabilización del contenido de humedad y la obtención de una granulometría controlada, con el fin de asegurar la homogeneidad del material y la reproducibilidad del proceso experimental.

Inicialmente, el material fue lavado con agua para remover residuos superficiales de origen mineral y orgánico. Posteriormente, se determinó el contenido inicial de humedad mediante cámara de humedad, información que permitió definir las condiciones de secado. El secado se realizó en un horno de convección, hasta alcanzar valores compatibles con los procesos posteriores de molienda, evitando alteraciones térmicas del material lignocelulósico (Figura 3).

Una vez seco, el material fue sometido a reducción de tamaño mediante sistemas de molienda mecánica, incluyendo molino de discos, con el objetivo de obtener un material particulado de tamaño controlado. El material molido fue posteriormente tamizado, seleccionándose partículas con diámetros comprendidos entre 0,2 y 0,4 mm, rango considerado adecuado para favorecer una distribución homogénea del refuerzo vegetal y una correcta interacción con la matriz durante la etapa de formulación (Figura 4).



**FIGURA 1.** Diseño de metodología, basada en la metodología de doble diamante, Design Council. Representa la secuencia de etapas desde la recolección del residuo hasta la validación experimental, integrando instancias de observación, análisis y reflexión guiada.



**FIGURA 2.** Cápsulas recolectadas del *E. globulus*. Se observa su morfología esférica y textura rugosa, factores determinantes para los procesos de molienda y homogeneización.

**TABLA 1.** Etapas de pretratamiento de las cápsulas del *E. globulus*.

ETAPA	PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Lavado	Revolvedora con agua durante unos minutos.	Eliminación de impurezas superficiales
Secado	Horno por convección a 50-70 °C	Reducción de humedad al 5 %
Molienda	Molino de discos a 1400 rpm	Partículas de 0,2-0,4 mm



**FIGURA 3.** Proceso de secado. Se aprecia el secado de las cápsulas distribuidas de forma homogénea en el horno para eliminar la humedad interior.



**FIGURA 4.** Proceso de molienda. Reducción uniforme de la granulometría de las cápsulas.

## 2.4 FORMULACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN DE MEZCLAS

La etapa de formulación consistió en desarrollar tres composiciones experimentales (A, B y C) de bioaglomerado, utilizando el aserrín obtenido como base y combinándolo con distintos biopolímeros naturales: agar-agar, alginato de sodio y resinas naturales. Las proporciones de los componentes se definieron mediante pruebas preliminares de cohesión y densidad, siguiendo procedimientos iterativos inspirados en el modelo MDD.

Cabe señalar que los componentes específicos utilizados en cada formulación, así como sus proporciones exactas y las diferencias conceptuales o técnicas detalladas entre las formulaciones A, B y C, no pueden ser explicitados en el presente documento debido a que se encuentra en proceso de patentamiento. No obstante, a nivel general, es posible indicar que en la formulación A el componente principal corresponde a una resina de origen natural; en la formulación B, a una resina de origen sintético; y en la formulación C, a un plastificante de origen natural, también denominado hidrocoloide.

Cada mezcla fue sometida a calentamiento controlado hasta alcanzar una viscosidad uniforme antes del vertido en moldes metálicos. Las condiciones del ensayo de prensado se determinaron entre 50–70 °C durante 90 minutos, a presión constante, según recomendaciones de literatura técnica en biocompuestos lignocelulósicos (Pieroni et al., 2019) (Figura 5).



FIGURA 5. Panel compuesto de la mezcla de biopolímeros con aserrín vegetal. Se observa la integración homogénea de los componentes antes del moldeo y prensado.

### 2.4.1 FABRICACIÓN Y PENSADO

Una vez definidas las formulaciones, las mezclas se vertieron en moldes de acero de 200 × 200 × 10 mm (Figura 6). Los paneles se prensaron en una prensa hidráulica térmica y posteriormente se prensaron con escuadras para ser sometidos a calor constante en un horno por convección. Luego, se dejaron reposar 24 horas a temperatura ambiente para su estabilización antes de realizar las pruebas.

Un aspecto relevante fue la supervisión y verificación de los parámetros de presión y tiempo, garantizando la reproducibilidad y seguridad del procedimiento. La experiencia práctica de los docentes facilitó la interpretación de las reacciones químicas observadas como la gelatinización del agar y la adhesión lignocelulósica, que resultaron determinantes para el desempeño final del material, el cual fue documentado mediante registros fotográficos y fichas de control que permitieron fortalecer el aprendizaje científico y la trazabilidad del proceso.

## 2.5 EVALUACIÓN FÍSICO-MECÁNICA Y VALIDACIÓN EXPERIMENTAL

Las muestras obtenidas fueron sometidas a pruebas normalizadas según las normas UNE-EN 323, UNE-EN 317, ASTM D1037, UNE-EN 12323 para materiales lignocelulósicos, evaluando densidad aparente, absorción de agua, resistencia a la tracción y abrasión superficial (Figura 7).

El análisis comparativo de las tres formulaciones mostró que la variante A ofrecía el mejor equilibrio entre densidad y resistencia, siendo seleccionada como base para la fase de validación (Figura 8).



FIGURA 6. Paneles experimentales durante el proceso de prensado. Se evidencia la compactación homogénea de las extremidades del panel.

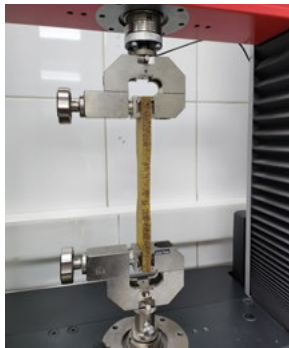


FIGURA 7. Ensayos de tracción. Las pruebas confirman la estabilidad dimensional y la resistencia del material frente a condiciones de tracción.

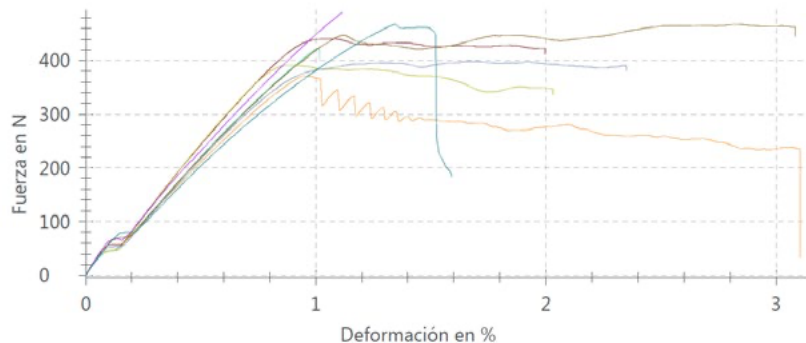


FIGURA 8. Ensayos de tracción triplicados formulación A, B y C. Las pruebas demuestran las diferentes resistencias de los materiales.

## 2.6 COMPARACIÓN CON ESTUDIOS PREVIOS

Los resultados obtenidos de las formulaciones materiales presentan similitudes y avances respecto a investigaciones previas sobre bioaglomerados elaborados con residuos agrícolas y forestales, así como en relación con materiales industriales de referencia como el MDF (medium density fiberboard), utilizado en este estudio como parámetro comparativo para evaluar la competitividad frente al mercado actual de paneles. Por ejemplo, Seguí et al. (2018) desarrollaron paneles con cáscaras de arroz y biopolímeros de almidón. De manera similar, Micheloud (s. f.) evaluó paneles de resina de pino y coracho, logrando buena cohesión, pero de menor densidad. Por otro lado, se analizó el caso de Schwarz (s. f.) para comparar cómo los valores obtenidos en esta investigación reflejan un equilibrio más favorable entre ligereza y resistencia, lo que respalda la pertinencia de la formulación seleccionada (Figura 9).





PROYECTO	PROYECTO Y AUTOR	DIFICULTAD RECETA	RESULTADO
	Aserrín - Agar sier-ra01 Tamara Schwarz	1/5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 50 gramos (gr) de aserrín de eucalyptus Globulus</li> <li>• Labill</li> <li>• 15 gramos (gr) de agar agar</li> <li>• 5 gramos (gr) de glycerol</li> <li>• 250 mililitros (ml) de agua</li> </ul>
	Aserrín - Resina damar Saw04 Tamara Schwarz	1/5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4.5 gramos (gr) de resina damar</li> <li>• 3 gramos (gr) de aserrín de Eucalyptus Globulus</li> <li>• Labill</li> </ul>
	Aserrín - Agar - almidón Saw02 Tamara Schwarz	1/5	<ul style="list-style-type: none"> <li>-15 gramos (gr) de agar agar</li> <li>-5 mililitros (ml) de glycerol</li> <li>-250 mililitros (ml) de agua</li> <li>-15 mililitros (ml) de maicena</li> <li>- 50 gramos (gr) de aserrín de Eucalyptus Globulus</li> <li>Labill</li> </ul>
	Aserrín - Dextrina Saw05 Tamara Schwarz	3/5	<ul style="list-style-type: none"> <li>-3.5 gramos (gr) de dextrina</li> <li>-3.5 gramos (gr) de agua</li> <li>-3 gramos (gr) de aserrín de Eucalyptus Globulus</li> <li>Labill</li> </ul>



FIGURA 9. Estado del arte recetas E. globulus. Elaboración propia (2023). Se evidencian diferentes casos de estudio utilizando la materia prima para el desarrollo de biomateriales.

### 3. RESULTADOS

Los resultados de la presente investigación se estructuran a partir de los hallazgos experimentales obtenidos durante la fase de evaluación del material, los cuales permiten analizar de manera integral el desempeño del bioaglomerado desarrollado a partir de cápsulas de *E. Globulus*. Estos resultados evidencian la viabilidad técnica del material y aportan información relevante sobre sus propiedades físico-mecánicas y sensoriales, contribuyendo tanto al análisis de su potencial en términos de sostenibilidad material como al fortalecimiento del conocimiento aplicado en el ámbito del diseño y los biomateriales.

#### 3.1 EVALUACIÓN FÍSICO-MECÁNICA

Los ensayos realizados permitieron cuantificar el desempeño del material bajo condiciones controladas. A continuación, se sintetizan los resultados más relevantes:

TABLA 2. Resultados de pruebas físico-mecánicas.

FORMULACIÓN	DENSIDAD 1	ABSORCIÓN DE AGUA 2	TRACCIÓN 3	ABRASIÓN 4
A	0,82	6,3 %	11,4	4,2
B	0,76	10,8 %	7,9	6,8
C	0,71	15,0 %	5,6	8,1
MDF	0,72	30-60 %	0,65	No cumple

La tabla presenta los ensayos físico-mecánicos realizados sobre las formulaciones A, B y C, indicando para cada uno el tipo de ensayo, su unidad de medida y la norma técnica de referencia empleada. La densidad 1 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) se determinó conforme a la norma ASTM D1037, con el fin de evaluar la compactación y homogeneidad del material. La absorción de agua 2 (%) se midió según EN 317, permitiendo caracterizar el comportamiento higroscópico del material frente a la exposición a humedad. El ensayo de tracción 3 (MPa), realizado bajo la norma ASTM D638, permitió analizar la resistencia mecánica del material ante esfuerzos de tensión. Finalmente, la resistencia a la abrasión 4 (mm/min), evaluada conforme a UNE 56-537, se utilizó para estimar el desgaste superficial del material bajo fricción controlada.

Los resultados corroboran la idoneidad técnica del material, especialmente en términos de densidad y resistencia. La densidad alcanzada por la formulación A se ubica en el rango de los aglomerados de baja densidad ( $0,6-0,8 \text{ g}/\text{cm}^3$ ), mientras que su resistencia a la tracción supera los valores promedio registrados en materiales similares fabricados con residuos lignocelulósicos (Pieroni et al., 2019)

#### 3.2 CARACTERIZACIÓN SENSORIAL Y ESTÉTICA

Más allá de las propiedades técnicas, el material presenta cualidades sensoriales relevantes desde el punto de vista del diseño. Los paneles obtenidos muestran una textura homogénea, una superficie mate y una coloración marrón natural con matices

cálidos, derivada de los aceites del eucalipto. En relación con la dimensión olfativa, se observa la presencia de un aroma perceptible en ciertas formulaciones, con notas características del eucalipto; dicho aroma tiende a mantenerse tras el proceso térmico de prensado, persistiendo de manera leve y no invasiva en el material final (Figura 10). La ausencia de resinas sintéticas confiere, además, una sensación táctil orgánica, factores valorados en aplicaciones de interiorismo y mobiliario ecológico.



FIGURA 10. Panel bioaglomerado final tras curado térmico. Se aprecia la superficie uniforme, la compactación adecuada y la tonalidad natural del material sin aditivos químicos.

### 4. DISCUSIÓN

La discusión de los resultados permite interpretar los hallazgos experimentales a la luz del marco teórico, así como explorar sus implicancias potenciales para el diseño sostenible en contextos académicos y territoriales. En este sentido, los resultados obtenidos sugieren la viabilidad técnica inicial de paneles bioaglomerados elaborados a partir de cápsulas de *E. Globulus*, al tiempo que evidencian la importancia del acompañamiento docente en la consolidación de aprendizajes técnicos, y metodológicos durante el proceso experimental. Más que establecer efectos concluyentes, este apartado busca situar los resultados dentro de un campo de posibilidades, identificando alcances, límites y proyecciones del material desarrollado.

#### 4.1 RELEVANCIA TÉCNICA Y AMBIENTAL

Desde una perspectiva técnica, el desempeño físico-mecánico del material desarrollado se sitúa dentro de los rangos reportados para biocompuestos lignocelulósicos de baja densidad, según antecedentes disponibles en la literatura especializada (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2021; Pieroni et al., 2019). La densidad promedio obtenida y los valores de resistencia a la tracción indican un comportamiento estructural consistente con aplicaciones de baja exigencia mecánica, particularmente en ámbitos como interiorismo, mobiliario liviano o elementos decorativos. Del mismo modo, la absorción de agua registrada sugiere una respuesta favorable frente a condiciones habituales de humedad ambiental, lo que podría estar relacionado con la presencia de compuestos naturalmente hidrofóbicos en las cápsulas del eucalipto (Amaya, 2020). No

obstante, estos resultados deben entenderse como exploratorios, dado que se obtienen en un contexto controlado y a escala experimental realizada en un laboratorio.

En términos ambientales, el aprovechamiento de cápsulas actualmente consideradas un residuo forestal puede interpretarse como una estrategia de valorización material, alineada con los principios de la economía circular, que promueven la extensión del ciclo de vida de los recursos y la reducción del uso de materias primas vírgenes (Ellen MacArthur Foundation, 2021). Más que afirmar un impacto directo en la mitigación ambiental, los resultados permiten proyectar el potencial del material como alternativa a procesos convencionales, en coherencia con lineamientos nacionales orientados a la valorización de residuos y la innovación sostenible (MMA, 2023).

En este marco, E. Globulus, frecuentemente abordado desde una perspectiva problemática en términos ecológicos, es reinterpretado en esta investigación como un recurso susceptible de valorización material. Este desplazamiento conceptual no implica desconocer los debates asociados a su manejo forestal, sino explorar nuevas lecturas desde el diseño, donde la práctica proyectual opera como mediadora entre residuo, material y contexto productivo. Este enfoque dialoga con planteamientos contemporáneos que atribuyen al diseño un rol activo en la articulación entre sistemas productivos y ecosistemas (Badhoutiya et al., 2023).

#### 4.2 INTERPRETACIÓN TÉCNICA

La baja absorción de agua refuerza la hipótesis de una estabilidad dimensional adecuada para aplicaciones interiores, lo que amplía sus posibilidades de uso en revestimientos, mobiliario o paneles decorativos. Estas propiedades, junto a su textura y origen material, fortalecen su potencial como material expresivo dentro del campo del diseño, al permitir comunicar valores de sostenibilidad, procedencia local y bajo impacto ambiental. En este sentido, la metodología MDD resultó clave para integrar dimensiones perceptuales y simbólicas en la evaluación del material (Karana et al., 2018).

Los resultados experimentales confirman que la combinación de agar-agar y glicerol vegetal actúa como un biopolímero funcional, favoreciendo la adherencia de las partículas lignocelulósicas. La interacción entre los grupos hidroxilo del agar y compuestos presentes en las cápsulas podría explicar la resistencia mecánica observada y la limitada absorción de humedad, aunque estos mecanismos requieren validación mediante análisis complementarios. Asimismo, la estructura porosa observada tras el prensado térmico contribuye a su ligereza y capacidad de aislamiento acústico, una propiedad adicional que podría explorarse en investigaciones futuras. En conjunto, los resultados respaldan la factibilidad técnica inicial de desarrollar biomateriales a partir de residuos vegetales locales, bajo criterios de bajo impacto energético y ausencia de componentes tóxicos.

#### 4.3 APOYO DOCENTE

El acompañamiento docente cumplió un rol central en la conducción del proceso experimental, particularmente en la gestión de la incertidumbre propia de la experimentación material. La mediación pedagógica permitió transformar errores, fallos de formulación y resultados no esperados en instancias de aprendizaje, fortaleciendo la comprensión técnica y metodológica. Esta dinámica se alinea con enfoques de aprendizaje basado en

proyectos (Project-Based Learning, PBL), ampliamente reconocidos en la formación en diseño por su capacidad de articular teoría, práctica y reflexión crítica (Almulla, M. A., 2020).

#### 4.4 PROYECCIÓN TERRITORIAL E INTERDISCIPLINARIA

La articulación entre diseño y territorio emerge como una de las proyecciones relevantes de esta investigación. El uso de residuos locales para la exploración de biomateriales plantea oportunidades para fortalecer vínculos entre academia, industria y comunidad, especialmente en contextos donde existe disponibilidad de biomasa subutilizada. Si bien no es posible afirmar impactos directos en términos de empleo o reducción de presión sobre recursos nativos, el estudio sugiere un potencial de integración en cadenas de valor locales, particularmente cuando el recurso proviene de plantaciones forestales gestionadas o de contextos urbanos, aspecto que debe ser cuidadosamente considerado en futuros desarrollos.

En el contexto chileno, la investigación en biomateriales aún presenta un desarrollo incipiente en comparación con escenarios internacionales, especialmente en lo que respecta a su articulación con políticas públicas y escalamiento productivo. Sin embargo, la existencia de marcos como la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (Corporación Nacional Forestal, 2022) abre un espacio para la vinculación de proyectos de diseño experimental con iniciativas de desarrollo territorial. En este sentido, este estudio ofrece una base preliminar para futuras colaboraciones interdisciplinarias entre universidades, municipios, centros de investigación y laboratorios de innovación material.

#### 5. CONCLUSIÓN

El desarrollo de paneles bioaglomerados a partir de cápsulas del E. globulus demuestra que es posible transformar un residuo forestal invasor en un material de aplicación práctica. La investigación evidenció que el residuo posee un alto potencial que, combinado con biopolímeros naturales, permite obtener un bioaglomerado con propiedades físicas y mecánicas comparables a los paneles convencionales, pero con una huella ecológica significativamente menor.

Desde la perspectiva metodológica, la combinación de los modelos MDD y BBT resultó fundamental para integrar la investigación científica con el pensamiento proyectual propio del diseño. Este enfoque permitió comprender el material no solo desde su composición química y comportamiento estructural, sino también desde su dimensión estética, sensorial y territorial. La metodología adaptada se presenta como un modelo replicable que puede ser utilizado en otros contextos académicos y territoriales para la creación de materiales sostenibles derivados de recursos locales.

La orientación constante y el acompañamiento crítico permiten estructurar la experimentación, favoreciendo la toma de decisiones informadas y la sistematización de resultados, aspectos centrales para la transferibilidad del conocimiento más allá del contexto formativo inmediato. Asimismo, la discusión interdisciplinaria amplía los marcos interpretativos, integrando saberes técnicos, científicos y proyectuales, lo que contribuye a una comprensión más profunda de los procesos materiales. En este escenario, el aprendizaje práctico trasciende el ejercicio exploratorio y se configura como una instancia de producción de conocimiento, en la medida en que los resultados son

documentados, analizados y contrastados con marcos teóricos existentes. De este modo, la docencia opera como mediadora entre creatividad y rigor experimental, posibilitando que la formación universitaria genere resultados con proyección social y ambiental, al menos en términos de apertura de nuevas líneas de investigación y transferencia potencial.

Asimismo, los resultados contribuyen al avance de la economía circular en Chile, al proponer una alternativa para la valorización de residuos forestales en coherencia con la Estrategia Nacional de Economía Circular (MMA, 2023). El proyecto también se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) particularmente el ODS 9: Industria, innovación e infraestructura, el ODS 12: Producción y consumo responsables y el ODS 15 Vida de ecosistemas terrestres, al fomentar prácticas de diseño que integran innovación tecnológica, uso responsable de los recursos y restauración ambiental.

Finalmente, esta investigación pone en evidencia el papel del diseño como disciplina estratégica en la transición hacia sistemas productivos sostenibles. Al situar el material como eje central del proceso proyectual, el diseño se redefine como agente de cambio ecológico y social, capaz de vincular conocimiento técnico, creatividad y responsabilidad ambiental.

#### 5.1 DIMENSIÓN PEDAGÓGICA DEL PROCESO

La dinámica de acompañamiento constante de los docentes/tutores configuró un modelo de aprendizaje basado en la investigación como experiencia, en el cual el error, la observación y la revisión crítica se transformaron en herramientas pedagógicas. Así, la metodología no solo permitió alcanzar resultados técnicos válidos, sino también consolidar una comprensión profunda del proceso de diseño de materiales sostenibles como práctica científica dentro del contexto académico.

#### 5.2 LIMITACIONES Y ALCANCES

Como todo proceso de investigación experimental, este trabajo presenta limitaciones que deben considerarse en su interpretación. Entre ellas se encuentra el tamaño reducido de las muestras y la falta de ensayos de durabilidad a largo plazo, factores que limitan la extrapolación de los resultados a escala industrial. Asimismo, la disponibilidad estacional del residuo y la variabilidad en la composición química del *E. globulus* podrían influir en la consistencia del material.

Sin embargo, estas limitaciones abren líneas futuras de investigación. Se sugiere ampliar los estudios a procesos de optimización térmica, uso de aditivos naturales que mejoren la estabilidad del material y exploración de aplicaciones estructurales. En paralelo, la experiencia formativa demuestra que la integración entre diseño, ciencia y docencia constituye una estrategia eficaz para desarrollar competencias en investigación y fortalecer la enseñanza del diseño desde un enfoque sostenible.

## REFERENCIAS

- Almulla, M. A. (2020). The Effectiveness of the Project-Based Learning (PBL) Approach as a Way to Engage Students in Learning. *Sage Open*, 10(3). <https://doi.org/10.1177/2158244020938702>
- Amaya Sánchez, P. A. y Sandoval Jaime, J. J. (2020) Evaluación de la obtención y uso del aceite esencial de eucalipto (*eucalyptus globulus*) como fungicida. [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8101>
- Badhouthiya, A., Darokar, H., Verma, R. P., Saraswat, M., Devaraj, S., Raj, V. H., & Abdhussain, Z. N. (2023). Regenerative manufacturing: crafting a sustainable future through design and production. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 453, p. 01038). EDP Sciences.
- Calderón, T. A. V., Mora, M. M. C., Reyes, S. M. C., Pilay, Y. L. C., Jaramillo, M. L. C., & Wilson, J. M. G. (2024). Economía circular: estrategias para la sostenibilidad en la gestión de recursos. *Ciencia y Desarrollo*, 27(4), 579-590.
- Corporación Nacional Forestal CONAF. (2022). *Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV)*. <https://www.conaf.cl>
- Ellen MacArthur Foundation. (2021). *Circular Economy in Cities: Building thriving and resilient communities*. <https://ellenmacarthurfoundation.org>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *Forest Products Annual Market Review 2020-2021*. <https://www.fao.org>
- Gustafsson, D. (2019). *Analysing the Double diamond design process through research & implementation* [Master's thesis, Aalto University]. Aaltodoc. <https://aaltodoc.aalto.fi/items/3a6b3fa8-14a4-4b39-809f-cf31ab66c17c>
- Instituto Forestal de Chile INFOR. (2022). Informe Anual del Sector Forestal Chileno 2022. <https://wef.infor.cl>
- 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. <https://www.ijdesign.org/index.php/IJDesign/article/view/1965?utm>
- Karana, E., Rognoli, V., & Zeeuw Van Der Laan, A. (2018). *Material experiences: fundamentals of materials and design*. Elsevier.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Prentice Hall.
- Micheloud, A. (s. f.). *Cork | pine resin (low heat) Cor02* [Receta de material]. Materiom Commons. Recuperado el 23 de enero de 2026, de <https://commons.materiom.org/materials-database/recipe/649c36218e0f06dcab0b7cf2>
- Ministerio del Medio Ambiente. (s. f.). Hoja de ruta para un Chile circular al 2040. [economicircular.mma.gob.cl/hoja-de-ruta](http://economicircular.mma.gob.cl/hoja-de-ruta)
- Organización de Naciones Unidas (ONU). (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Pieroni, M., McAlloone, T. C., & Pigosso, D. C. (2019). Business model innovation for circular economy and sustainability: A review of approaches. *Journal of Cleaner Production*, 215, 198-216. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.036>
- Seguí, L., Medina, R., & Guerrero, H. (2018). Gestión de residuos y economía circular. *EAE Business School*. [https://www.diarioabierto.es/wp-content/uploads/2018/09/Gestion\\_residuos\\_EAE.pdf](https://www.diarioabierto.es/wp-content/uploads/2018/09/Gestion_residuos_EAE.pdf)
- Schwarz, T. (s. f.). *Sawdust | dextrin Saw05* [Receta de material]. Materiom Commons. Recuperado el 23 de enero de 2026, de <https://commons.materiom.org/materials-database/recipe/649c36218e0f06dcab0b7d02>
- Weiss Münchmeyer, A. J., & Besoain Narvaez, M. J. (2022). Biomateriales basados en el territorio: Metodología para la creación de una paleta biomaterial situada. *Base Diseño e Innovación*, 7(7), 7-25. <https://doi.org/10.52611/bdi.num7.2022.797>

TRINIDAD LAZCANO ALVARADO

tlazcano@udd.cl

UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO, SANTIAGO, CHILE

ORCID ID: 0009-0009-8050-0614

DISEÑADORA CON MENCIÓN EN ESPACIOS Y OBJETOS POR LA UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO CON CERTIFICACIÓN EN HUMANIDADES. SE DESEMPEÑA COMO ASISTENTE DE INVESTIGACIÓN EN EL LABORATORIO DE MATERIALES SOSTENIBLES, DONDE COLABORA EN PROYECTOS DE BIODISEÑO, BIOMATERIALES Y DISEÑO SOSTENIBLE. SU TRABAJO INTEGRA INVESTIGACIÓN APLICADA, DESARROLLO MATERIAL Y APOYO ACADÉMICO, CON FOCO EN INNOVACIÓN, SUSTENTABILIDAD Y PROCESOS COLABORATIVOS EN DISEÑO.